Європейська Комісія

ЗВІТ СПІЛЬНОГО ДОСЛІДНИЦЬКОГО ЦЕНТРУ ЗА ПРОЄКТОМ "НАУКА ДЛЯ ПОЛІТИКИ"

Довідкова документація за найкращими доступними технологіями (НДТ) (BAT - Best Available Techniques) для підприємств кольорової металургії

Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю)

Джанлука Кузано, Мігель Родріго Гонсало, Френк Фарреллл, Райнер Ремус, Серж Рудьє, Луїс Дельгадо Санчо

2017 р.



EUR 28648 EN

Довідкова документація за найкращими доступними технологіями (НДТ) для підприємств кольорової металургії

Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю)

Автори:
Джанлука Кузано
Мігель Родріго Гонсало
Френк Фаррелл
Райнер Ремус
Серж Рудьє
Луїс Дельгадо Санчо

2017 р.

Ця публікація є звітом за проєктом "Наука для політики" Спільного дослідницького центру внутрішньої науково-дослідної служби Європейської Комісії. Її метою є надання процесу реалізації політики в Європі наукової підтримки на основі фактичних даних. Наведені наукові результати не вказують на політичну позицію Європейської Комісії. Ні Європейська Комісія, ні будь-яка особа, яка виступає від імені Комісії, не несе відповідальності за можливе використання цієї публікації.

Контактна інформація
Назва: Європейське бюро з комплексного запобігання та контролю забруднення
Адреса: Іспанія, Севілья E-41092, Едіфісіо Експо c/Інка Гарсіласо 3, Спільний дослідницький центр
(Joint Research Centre, Edificio Expo c/ Inca Garcilaso 3, E-41092 Seville, Spain)
Електронна адреса: JRC-B5-EIPPCB@ec.europa.eu
Телефон: +34 95 4488 284
Науковий центр СДЦ
https://ec.europa.eu/jrc

JRC107041

EUR 28648 EN

PDF	Міжнародний стандартний номер книги 978-92-79-69655-8	Міжнародний стандартний серійний номер 1831-9424	Ідентифікатор цифрового об'єкта: 10.2760/8224

Люксембург: Бюро публікацій Європейського Союзу, 2017 р.
© Європейський Союз, 2017 р.

Використання матеріалів дозволяється лише за умови наявності активного посилання на джерело.

Як цитувати цей звіт: Автор(и); Джанлука Кузано, Мігель Родріго Гонсало, Френк Фаррелл, Райнер Ремус, Серж Рудьє, Луїс Дельгадо Санчо; Назва; Довідкова документація за найкращими доступними технологіями (НДТ) для основних підприємств кольорової металургії, EUR 28648, ідентифікатор цифрового об'єкта: 10.2760/8224

Усі зображення © Європейський Союз, 2017 р., за винятком: 1. Зображення на обкладинці, джерело інформації: Алюмінієвий завод у комуні Сунндал: © Hydro, 2 Стан ландшафту перед захороненням відходів © Asturiana de Zinc, S.A.U., 3. Відновлення ландшафту із застосуванням технології Jarofix © Asturiana de Zinc, S.A.U.

Назва Довідкова документація за найкращими доступними технологіями (НДТ) для підприємств кольорової металургії
Анотація:
Довідкова документація за найкращими доступними технологіями (НДТ) (ДДНДТ) (BREF - Best Available Technique Reference Document) під назвою "Підприємства кольорової металургії" є частиною серії, яка представляє результати обміну інформацією між країнами-членами ЄС, відповідними експертами, що представляють промисловий сектор, недержавними організаціями, які сприяють охороні довкілля, та Комісією, для складання, перегляду і, у разі потреби, оновлення довідкової документації за найкращими доступними технологіями, відповідно до вимог статті 13(1) Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди. Цей документ опублікований Європейською Комісією відповідно до статті 13(6) Директиви. Ця довідкова документація НДТ для "Підприємств кольорової металургії" стосується діяльності, зазначеної в Розділах 2 і 6.8 Додатку I до Директиви 2010/75/ЄС, а саме:

- 2.1: Випалювання або агломерація металевої руди (у тому числі сульфідної руди);
- 2.5: Обробка кольорових металів:
  (a) виробництво чорнових кольорових металів із руди, концентратів або вторинної сировини за допомогою металургійної, хімічної або електролітичної обробки;
  (b) плавлення, у тому числі легування, кольорових металів, у тому числі відновлених продуктів, та робота заводів із лиття кольорових металів із плавильною потужністю, що перевищує 4 тонни на день для свинцю та кадмію та 20 тонн на день для всіх інших металів;
- 6.8: Виробництво вуглецю (обпаленого вугілля) або електрографіту за допомогою спалювання або графітизації.

Цей документ також охоплює:

- виробництво оксиду цинку з випарів під час виробництва інших металів;
- виробництво сполук нікелю з розчину під час виробництва металу.
- виробництво силікокальцію (CaSi) і кремнію (Si) у тій самій печі, де здійснюється виробництво феросиліцію;
- виробництво оксиду алюмінію з бокситів перед виробництвом первинного алюмінію, де це є невіддільною частиною
- виробництва металу;
- перероблення алюмінієвого сольового шлаку.

Важливими проблемами у впровадженні Директиви 2010/75/ЄС у виробництві кольорових металів є викиди в повітря пилу, металів, органічних сполук (що згодом може призвести до утворення ПХДД/Ф (поліхлоридний дібензопарадіоксин/фуран)) та діоксиду сірки; дифузні викиди в повітря; викиди металів у воду (наприклад, Hg, Cd, Cu, Pb, Zn); ефективність використання ресурсів; та запобігання забрудненню ґрунтів та підземних вод. Ця Довідкова документація за найкращими доступними технологіями містить 12 глав. Глави 1 і 2 надають загальну інформацію про кольорову металургію і про загальні виробничі процеси та технології, які використовуються у всьому секторі. У Главах 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 і 10 розглянуті такі виробничі сектори: мідь, алюміній, свинець і/або олово, цинк і/або кадмій, нікель і/або кобальт та вуглець і графіт. Стосовно кожного конкретного виробничого сектору, ці вісім глав надають інформацію та дані щодо процесів та технологій, що застосовуються; екологічні характеристики установок, що розраховуються на підставі поточних викидів, споживання сировини, води та енергії й утворення відходів; технології для запобігання або, якщо це неможливо, для зменшення впливу на довкілля установками, що працюють у цих секторах, які були враховані у визначенні найкращих доступних технологій; і перспективні технології відповідно до визначення, наведеного в статті 3(14) Директиви. Глава 11 містить висновки щодо найкращих доступних технологій відповідно до визначення, наведеного в статті 3(12) Директиви. Глава 12 присвячена прикінцевим зауваженням та рекомендаціям для подальшої роботи.

Надруковано у м. Іспра *(Італія)*

Подяки

Цей звіт було підготовлено Європейським бюро комплексного запобігання та контролю забруднення (ЄБКЗКЗ) (EIPPCB - The European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau) при Спільному дослідницькому центрі Європейської Комісії — Директорат B: Розвиток та інновації під керівництвом Сержа Рудьє (керівник Європейського бюро комплексного запобігання та контролю забруднення) та Луїс Дельгадо Санчо (Керівник підрозділу економіки замкненого циклу та промислового лідерства).

Авторами цієї Довідкової документації за найкращими доступними технологіями були Джанлука Кузано, Мігель Родріго Гонсало, Френк Фаррелл і Райнер Ремус.

Цей звіт було складено в межах впровадження Директиви про промислові викиди (2010/75/ЄС), і він є результатом обміну інформацією, наданою в статті 13 Директиви.

Основними джерелами інформації стали:

- серед країн-членів ЄС: Австрія, Бельгія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Греція, Італія, Польща, Португалія, Іспанія, Швеція, Нідерланди та Сполучене Королівство; Норвегія також надала цінну інформацію.
- у сфері промисловості: Європейська асоціація виробників феросплавів (Euroalliages), Європейська асоціація алюмінію (ЄАА) (EAA — European Aluminium Association), Європейська асоціація гірничодобувної промисловості, металевих руд та промислових мінералів (Eurominеs), Європейська асоціація виробників вуглецю і графіту (ЄАВВГ) (ECGA — European Carbon and Graphite Association), Європейський інститут міді (ЄІМ) (ECI — European Copper Institute), Європейська асоціація виробників кольорових металів (Eurometaux), Європейська федерація дорогоцінних металів (ЄФДМ) (EPMF — European Precious Metals Federation), Міжнародна асоціація виробників свинцю (МАВС) (ILA — International Lead Association), Міжнародна цинкова асоціація (МЦА) (IZA — International Zinc Association), Інститут нікелю.

Весь колектив Європейського бюро комплексного запобігання та контролю забруднення зробив свій внесок та рецензування.

Цей документ є одним із серії документів, перелічених нижче (на час написання не всі документи були складені):

Довідкова документація за найкращими доступними технологіями	**Код**
Керамічна промисловість	CER
Загальні принципи очищення відхідних газів у хімічній промисловості	WGC
Системи очищення/управління стічними водами та відхідними газами загального характеру в хімічній промисловості.	CWW
Викиди зі складів	EFS
Енергоефективність	ENE
Обробка чорних металів	FMP
Виробництво харчових продуктів, напоїв та молочної продукції	FDM
Промислові системи охолодження	ICS
Інтенсивне птахівництво і свинарство	IRPP
Виробництво чавуну та сталі	IS
Великі спалювальні установки	LCP
Неорганічна хімічна промисловість у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива	LVIC-AAF
Неорганічна хімічна промисловість у великих обсягах — тверді та інші речовини	LVIC-S
Органічна хімічна промисловість у великих обсягах.	LVOC
Поводження з відходами та порожніми породами гірничодобувної промисловості	MTWR
Виробництво скла	GLS
Виробництво продуктів тонкого органічного синтезу	OFC
Кольорова металургія	*NFM*
Виробництво цементу, вапна та оксиду магнію	CLM
Виробництво хлору та лугів	CAK
Виробництво полімерів	POL
Виробництво целюлози, паперу й картону	Поліпропілен
Виробництво спеціальних неорганічних хімічних продуктів	SIC
Перероблення нафти та природного газу	REF
Скотобійні та побічні продукти тваринного походження	SA
Ковальське та ливарне виробництво	SF
Обробка поверхонь металів і пластмас	STM
Обробка поверхонь із використанням органічних розчинників, у тому числі хімічний захист деревини та деревних продуктів	STS
Дублення шкір	TAN
Текстильна промисловість	TXT
Спалювання відходів	WI
Перероблення відходів	WT
Виробництво дерев'яних панелей	WBP
Довідкова документація	
Економічні аспекти та питання впливу на різні компоненти довкілля	ECM
Моніторинг викидів з установок, на які поширюється дія Директиви про промислові викиди (ДПВ) (IED - Industrial Emissions Directive)	ROM

Електронні версії проєктів і допрацьованих документів є загальнодоступними, і їх можна завантажити на сайті http://eippcb.jrc.ec.europa.eu.

ПЕРЕДМОВА

1. Статус цього документа

Якщо не зазначено інше, посилання на «Директиву» в документі відносяться до Директиви 2010/75/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю) (в новій редакції).

Оригінальну Довідкову документацію за найкращими доступними технологіями (ДДНДТ) щодо кольорових металів було прийнято Європейською Комісією у 2001 році. Цей документ є результатом перегляду тієї Довідкової документації за найкращими доступними технологіями. Перегляд розпочався у 2007 році.

Ця довідкова документація за найкращими доступними технологіями для підприємств кольорової металургії є частиною серії, яка представляє результати обміну інформацією між країнами-членами ЄС, відповідними експертами, що представляють промисловий сектор, недержавними організаціями, які сприяють охороні довкілля, та Комісією для складання, перегляду і, у разі потреби, оновлення довідкової документації за найкращими доступними технологіями, відповідно до вимог статті 13(1) Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди. Цей документ опублікований Європейською Комісією відповідно до статті 13(6) Директиви.

Як зазначено в статті 13(5) Директиви, виконавче рішення Комісії (ЄС) 2016/1032 щодо висновків за найкращими доступними технологіями, що містяться в Главі 11, було прийняте 13 червня 2016 року та опубліковане 30 червня 2016 року[1].

2. Учасники обміну інформацією

Відповідно до вимог статті 13(3) Директиви, Комісія створила форум для сприяння обміну інформацією, який складався з представників із країн-членів, відповідних експертів, що представляють промисловий сектор, недержавних організацій, які сприяють охороні довкілля (Рішення Комісії від 16 травня 2011 року про створення форуму для обміну інформацією відповідно до статті 13 Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди (2011/C 146/03), Офіційний вісник ЄС OJ C 146, 17.05.2011 р., стор. 3).

Члени форуму призначили технічних експертів, які сформували технічну робочу групу (ТРГ), яка була основним джерелом інформації для складання цього документа. Роботу ТРГ очолило Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднення (Спільного дослідницького центру Європейської Комісії).

3. Структура та зміст документа

Виробництво 42 кольорових металів та виробництво феросплавів було ідентифіковано в країнах, які зобов'язані впровадити Директиву про промислові викиди. Було виділено вісім груп металів з аналогічними методами виробництва. У процесі дослідження було зібрано дані на основі цих груп, і структура цього документа враховує ці дані. Документ також враховує, що цей процес має важливе значення в секторі кольорової металургії та може викликати екологічні проблеми, й обмін інформацією був особливо цінним для операторів та регулюючих органів.

До груп металів відносяться:

- мідь та її сплави;
- алюміній та його сплави та перероблення солі та алюмінію із сольового шлаку;
- свинець і олово;
- цинк і кадмій;
- дорогоцінні метали;
- феросплави (наприклад, FeCr, FeSi, FeMn, SiMn, FeTi, FeMo, FeV, FeB);

[1] Офіційний вісник ЄС OJ L 174, 30.06.2016 р., стор. 32.

- нікель і кобальт;
- вугільні й графітові електроди.

Детальніше, Довідкова документація за найкращими доступними технологіями для підприємств кольорової металургії має таку структуру.

Глава 1 надає загальну інформацію про відповідні галузі виробництва кольорових металів. Глава 2 надає інформацію про загальні виробничі процеси та технології, системи зниження викидів і загальні технології, які використовуються в секторі. Загальні технології, які слід враховувати у визначенні найкращих доступних технологій (тобто технології, які слід враховувати, що широко застосовуються в цьому секторі), наведені в Главі 2, а Глави 3–10, містять інформацію про процеси, що застосовуються, поточні рівні викидів та споживання, технології, які слід враховувати у визначенні найкращих доступних технологій та перспективні технології для груп металів, які представлені в цих главах. Глава 11 містить висновки щодо найкращих доступних технологій відповідно до визначення, наведеного в статті 3(12) Директиви, як загальні, так і щодо конкретного металу.

У Главах 3–10 відомості надаються щодо групи металів у главі відповідно до такої структури.

Розділ 1 описує процеси та технології, що застосовуються для конкретної групи металів.

Розділ 2 надає дані та інформацію стосовно поточних рівнів викидів та споживання, що відбивають ситуацію на існуючих установках.

Розділ 3 більш детально описує технології для запобігання або, якщо це неможливо, для зменшення впливу на довкілля установок, що працюють у цих секторах, які були враховані у визначенні найкращих доступних технологій. Ця інформація включає, де це актуально, рівні екологічної ефективності (наприклад, рівні викидів та споживання), які можуть бути досягнуті за допомогою технологій, відповідні питання моніторингу, витрат і впливу на різні компоненти довкілля, пов'язані із застосуванням цих технологій.

Розділ 4 надає інформацію про "перспективні технології" відповідно до визначення, наведеного в статті 3(14) Директиви.

Прикінцеві зауваження та рекомендації для подальшої роботи представлені в главі 12.

4. Джерела інформації та походження найкращих доступних технологій

Цей документ ґрунтується на інформації, зібраній із низки джерел, зокрема, з ТРГ, яка була створена спеціально для обміну інформацією відповідно до статті 13 Директиви. Інформацію було зібрано та оцінено Європейським бюро комплексного запобігання та контролю забруднення (Спільного дослідницького центру Європейської Комісії), яке очолило роботу над визначенням найкращих доступних технологій, керуючись принципами технічної компетентності, прозорості та нейтралітету. Роботу ТРГ та інших співавторів було із вдячністю визнано.

Висновки щодо найкращих доступних технологій було зроблено через ітераційний процес, який включає такі кроки:

- визначення основних екологічних проблем, пов’язаних із сектором кольорової металургії;
- вивчення технологій, найбільш актуальних для розв'язання цих ключових проблем;
- визначення найкращих рівнів екологічної ефективності на основі даних, наявних у Європейському Союзі й у всьому світі;
- вивчення умов, за яких ці рівні екологічної ефективності були досягнуті, таких як витрати, вплив на різні компоненти довкілля, а також основні рушійні сили, залучені у процес впровадження технологій;
- відбір найкращих доступних технологій (НДТ), пов'язаних із ними рівнів викидів (та інших рівнів екологічної ефективності) та відповідний моніторинг для цього сектору відповідно до статті 3(10) Додатку III до Директиви.

Експертна оцінка Європейського бюро комплексного запобігання та контролю забруднення (Спільного дослідницького центру Європейської Комісії) та ТРГ мала велику вагу в кожному з цих кроків і в тому, як інформація представлена в цьому документі.

Де це можливо, економічні дані були надані разом з описом технологій, представлених у розділах, присвячених "Технологіям, які слід враховувати у визначенні найкращих доступних технологій". Ці дані дають приблизне уявлення про величину витрат і вигод. Проте, фактичні витрати та вигоди, пов'язані із застосуванням технологій, можуть сильно залежати від конкретної ситуації на окремій установці, що не може бути повністю оцінено в цьому документі. За браком даних стосовно витрат висновки щодо економічної життєздатності технологій складаються зі спостережень на існуючих установках.

Виробництво сірчаної кислоти в кольоровій металургії знаходиться у сфері застосування Довідкової документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива. Проте, цей перегляд Довідкової документації за найкращими доступними технологіями для підприємств кольорової металургії також зібрав інформацію про технології, які застосовуються в кольоровій металургії для також виробництва сірчаної кислоти. Результат цього збору даних показаний в основному в Главах 2, 3, 5 і 6 цього документа, і стало очевидним, що верхнє значення діапазону BAT-AEL щодо викидів SO_2 від виробництва сірчаної кислоти на установці подвійного контактування/подвійної абсорбції в таблиці 4.24 "Швидкість перетворення та рівні викидів SO_2, пов'язані з найкращими доступними технологіями" в Довідковій документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива (прийнята у 2007 р.) має бути виправлено.

5. Перегляд Довідкової документації за найкращими доступними технологіями (ДДНДТ)

Найкращі доступні технології є динамічною концепцією, і тому перегляд Довідкової документації за найкращими доступними технологіями є безперервним процесом. Наприклад, можуть з’явитися нові заходи та технології, наука й технології постійно розвиваються, і нові та перспективні процеси успішно впроваджуються в промисловості. Для того, щоби відбити такі зміни і їхні наслідки для найкращих доступних технологій, періодично будуть проводитися перегляди цих документів і, у разі необхідності, їхнє відповідне оновлення.

6. Контактна інформація

Усі коментарі та пропозиції слід надсилати до Європейського бюро комплексного запобігання та контролю забруднення при Спільному дослідницькому центрі (СДЦ) за адресою:

Європейська Комісія
Спільний дослідницький центр, Директорат B: Розвиток та інновації
Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднення
Едіфісіо Експо (Edificio Expo/c)
Інка Гарсіласо, 3 (Inca Garcilaso, 3)
Іспанія, Севілья E-41092 (E-41092 Seville, Spain)
Телефон: +34 95 4488 284
Факс: +34 95 4488 426
Електронна адреса: JRC-B5-EIPPCB@ec.europa.eu
Інтернет: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu

ПЕРЕДМОВА I
СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ XLIII
1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ 1
1.1 ОГЛЯД ГАЛУЗІ 1
1.1.1 Кольорові метали та сплави 1
1.1.2 Сфера діяльності галузі 1
1.1.3 Структура галузі 2
1.1.4 Економіка галузі 2
1.1.5 Екологічна ефективність 3
1.2. МІДЬ І ЇЇ СПЛАВИ 4
1.2.1 Загальна інформація 4
1.2.2 Джерела матеріалів 4
1.2.3 Виробництво і використання 5
1.2.4 Виробничі майданчики 8
1.2.5 Основні екологічні проблеми 10
1.3 АЛЮМІНІЙ 11
1.3.1 Загальна інформація 11
1.3.2 Джерела матеріалів 11
1.3.3 Виробництво і використання 11
1.3.4 Виробничі майданчики 13
1.3.5 Основні екологічні проблеми 13
1.4 СВИНЕЦЬ І ОЛОВО 14
1.4.1 Свинець 14
1.4.1.1 Загальна інформація 14
1.4.1.2 Джерела матеріалів 15
1.4.1.3 Виробництво і використання 15
1.4.1.4 Виробничі майданчики 15
1.4.1.5 Основні екологічні проблеми 17
1.4.2 Олово 18
1.4.2.1 Загальна інформація 18
1.4.2.2 Джерела матеріалу 18
1.4.2.3 Виробництво і використання 19
1.4.2.4 Виробничі майданчики 19
1.4.2.5 Основні екологічні проблеми 20
1.5 ЦИНК І КАДМІЙ 21
1.5.1 Цинк 21
1.5.1.1 Загальна інформація 21
1.5.1.2 Джерела матеріалів 22
1.5.1.3 Виробництво і використання 22
1.5.1.4 Виробничі майданчики 24
1.5.1.5 Основні екологічні проблеми 25
1.5.2 Кадмій 25
1.5.2.1 Загальна інформація 25
1.5.2.2 Джерело матеріалів 25
1.5.2.3 Виробництво і використання 26
1.5.2.4 Виробничі майданчики 27
1.5.2.5 Основні екологічні проблеми 28
1.6 ДОРОГОЦІННІ МЕТАЛИ 29
1.6.1 Загальна інформація 29
1.6.2 Джерела матеріалів 29
1.6.3 Виробництво і використання 30

1.6.4 Виробничі майданчики ... 31
1.6.5 Екологічні проблеми ... 31
1.7 Феросплави ... 32
1.7.1 Загальна інформація ... 32
1.7.2 Джерела матеріалів ... 32
1.7.3 Виробництво і використання ... 33
1.7.4 Виробничі майданчики ... 35
1.7.5 Основні екологічні проблеми ... 36
1.8 Нікель і кобальт ... 37
1.8.1 Нікель ... 37
1.8.1.1 Загальна інформація ... 37
1.8.1.2 Джерела матеріалів ... 37
1.8.1.3 Виробництво і використання ... 38
1.8.1.4 Виробничі майданчики ... 39
1.8.1.5 Основні екологічні проблеми ... 40
1.8.2 Кобальт ... 41
1.8.2.1 Загальна інформація ... 41
1.8.2.2 Джерела матеріалів ... 41
1.8.2.3 Виробництво і використання ... 42
1.8.2.4 Виробничі майданчики ... 43
1.8.2.5 Основні екологічні проблеми ... 43
1.9 Вуглець та графіт ... 44
1.9.1 Загальна інформація ... 44
1.9.2 Джерела матеріалів ... 44
1.9.3 Виробництво і використання ... 45
1.9.4 Виробничі майданчики ... 45
1.9.5 Основні екологічні проблеми ... 46
2 ЗАГАЛЬНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ... 47
2.1 Системи управління ... 49
2.1.1 Політика управління та обов'язки ... 49
2.1.2 Розробка та обслуговування ... 50
2.1.3 Навчання ... 50
2.2 Управління енергоспоживанням ... 51
2.2.1 Прикладні процеси та технології ... 51
2.3 Частота ... 55
2.3.1 Точки відбору проб ... 55
2.3.2 Компоненти й параметри ... 56
2.3.3 Вихідні умови ... 56
2.3.4 Безперервні та періодичні вимірювання каналізованих викидів ... 56
2.3.5 Вимірювання дифузних викидів ... 57
2.4 Дифузні викиди ... 60
2.4.1 Джерела дифузних викидів ... 60
2.4.2 Прикладні процеси та технології для запобігання дифузним викидам від зберігання та обробки вихідних матеріалів ... 61
2.4.2.1 Прикладні процеси та технології для руд і концентратів ... 61
2.4.2.2 Прикладні процеси та технології для вторинної сировини ... 63
2.4.2.3 Прикладні процеси та технології для палива ... 63
2.4.2.4 Прикладні процеси та технології для технологічних хімічних сполук і газів ... 65
2.4.3 Прикладні процеси та технології для запобігання дифузним викидам та уловлювання відхідних газів від процесів виробництва металу ... 66
2.5 Управління сировиною ... 68
2.5.1 Прикладні процеси та технології ... 68
2.5.1.1 Відтавання ... 68
2.5.1.2 Сушіння ... 68
2.5.1.3 Дроблення, зменшення розміру та просіювання ... 69

2.5.1.4 Подрібнення акумуляторів 69
2.5.1.5 Усереднення 69
2.5.1.6 Брикетування, гранулювання та інші методи агломерації 70
2.5.1.7 Спікання та кальцинація 70
2.5.1.8 Процеси ф'юмінгування 71
2.5.1.9 Видалення покриття та знемаслювання 71
2.5.1.10 Спалювання та піроліз 71
2.5.1.11 Процедури вилуговування та промивання 72
2.5.1.12 Технології розділення 72
2.5.1.13 Системи транспортування і завантаження 73
2.6 Процеси виробництва металу 74
2.7 Діоксид сірки 75
2.7.1 Прикладні процеси та технології 75
2.7.2 Поточні рівні викидів та споживання 80
2.8 Водокористування та очищення стічних вод 85
2.8.1 Основні джерела рідких відходів 85
2.8.1.1 Стічні води від очищення відхідних газів 86
2.8.1.2 Стічні води в результаті гранулювання штейну або шлаку та виробництва металевого дробу та поділу за щільністю 87
2.8.1.3 Вода для охолодження 88
2.8.1.4 Поверхневі стоки 89
2.8.1.5 Стічні води від гідрометалургійного процесу 89
2.8.1.6 Інші технологічні води 90
2.8.1.7 Інші джерела 91
2.8.2 Прикладні процеси та технології 91
2.9 Управління відходами 92
2.9.1 Прикладні процеси та технології для залишків, що утворюються в процесі виплавки 93
2.9.2 Прикладні процеси та технології для залишків систем боротьби з викидами 95
2.9.3 Прикладні процеси та технології для залишків, що утворюються під час очищення рідких відходів 96
2.9.4 Прикладні процеси та технології для залишків, що утворюються від гідрометалургійних процесів отримання кольорових металів 96
2.9.5 Прикладні процеси та технології для інших залишків, що утворюються під час виробництва кольорових металів 97
2.9.6 Приклади переробки та повторного використання 97
2.10 Зняття з експлуатації 100
2.11 Питання безпеки 101
2.11.1 Принцип запобігання 101
2.11.2 Розгляд комплексних систем у переробній промисловості 101
2.11.3 Доцільність засобів 101
2.12 Загальні технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ 102
2.12.1 Системи екологічного управління 102
2.12.2 Управління енергоспоживанням 105
2.12.2.1 Використання збагачення киснем в повітрі для згорання 105
2.12.2.2 Використання регенеративного пальника 107
2.12.2.3 Використання регенеративного допалювача 109
2.12.2.4 Використання низькопотенційного тепла 110
2.12.2.5 Використання відходів у якості палива або відновника 112
2.12.3 Моніторинг та управління процесом 113
2.12.3.1 Технології управління технологічним процесом 113
2.12.3.2 Технології розробки та контролю для очисної установки 115
2.12.3.3 Технології управління технологічним процесом очищення стічних вод 117
2.12.4 Дифузні викиди 118
2.12.4.1 Технології запобігання дифузним викидам, що утворюються під час зберігання, обробки та транспортування сировини 118
2.12.4.2 Технології запобігання дифузним викидам, що утворюються під час

попередньої обробки сировини 121
2.12.4.3 Технології запобігання дифузним викидам та уловлювання відхідних газів від процесів виробництва металів 122
2.12.5 Каналізовані викиди в повітря 128
2.12.5.1 Технології зниження викидів пилу, металів та твердих часток 128
2.12.5.1.1 Електростатичні фільтри 128
2.12.5.1.2 Мокрий електростатичний фільтр 130
2.12.5.1.3 Циклони 132
2.12.5.1.4 Тканинні або рукавні фільтри 133
2.12.5.1.5 Керамічні та металеві сітчасті фільтри 138
2.12.5.1.6 Мокрий скрубер для видалення пилу 140
2.12.5.1.7 Огляд технологій зменшення викидів пилу 142
2.12.5.2 Технології зменшення викидів газоподібних сполук 143
2.12.5.2.1 Пристрої/камери допалювання 143
2.12.5.2.2 Мокрий скрубер для газу 145
2.12.5.2.3 Сухі та напівсухі скрубери 146
2.12.5.2.4 Системи рекуперації газу 147
2.12.5.2.5 Киснево-паливне спалювання 148
2.12.5.2.6 Технології видалення вуглеводнів і ЛОС 150
2.12.5.2.7 Видалення інших домішок 151
2.12.5.2.7.1 Інші метали 151
2.12.5.3 Технології зменшення викидів ПХДД/Ф 152
2.12.5.4 Технології зменшення викидів діоксиду сірки 155
2.12.5.4.1 Установки з виробництва сірчаної кислоти з подвійним контактуванням/подвійною абсорбцією, що працюють за різних характеристик газу 155
2.12.5.4.2 Модернізовані установки з виробництва сірчаної кислоти з нижчими коливаннями концентрації SO_2 на вході, пов'язані з виробництвом кольорових металів 158
2.12.5.4.3 Виробництво рідкого діоксиду сірки з відхідних газів із високим вмістом SO_2 160
2.12.5.4.4 Використання десульфуризації димових газів для відхідних газів із низьким вмістом SO_2 162
2.12.5.4.5 Процес абсорбції/десорбції на поліефірній основі для уловлювання сірки з відхідних газів із низьким вмістом SO_2 (< 1 %) 163
2.12.5.5 Технології зменшення викидів ртуті 164
2.12.6 Водокористування та очищення стічних вод 168
2.12.6.1 Інтегровані у технологічний процес заходи 168
2.12.6.2 Технології очищення відпрацьованих вод 171
2.12.6.2.1 Хімічне осадження 174
2.12.6.2.2 Обробка слабкої кислоти та технічної води 176
2.12.6.2.3 Біологічне очищення 179
2.12.6.2.4 Седиментація та флотація 180
2.12.6.2.5 Фільтрування 181
2.12.6.2.6 Електроліз 182
2.12.6.2.7 Зворотний осмос 183
2.12.6.2.8 Іонний обмін 184
2.12.6.2.9 Активоване вугілля 185
2.12.7 Управління відходами 186
2.12.8 Шум та вібрація 188
2.12.9 Запах 188
2.12.10 Зняття з експлуатації 189
2.13 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ 192
2.13.1 Процеси LUREC та BAYQIK 192
3 ПРОЦЕСИ ОТРИМАННЯ МІДІ ТА ЇЇ СПЛАВІВ ІЗ ПЕРВИННОЇ ТА ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ 195
3.1 ПРИКЛАДНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ 195

3.1.1 Виробництво первинної міді 195
3.1.1.1 Пірометалургійний спосіб 195
3.1.1.1.1 Концентрат для виплавки на штейн 195
3.1.1.1.2 Конвертування 200
3.1.1.1.3 Вогняне рафінування (анодна піч) 202
3.1.1.1.4 Електролітичне рафінування 203
3.1.1.1.5 Обробка шлаків із високим вмістом міді 204
3.1.1.2 Гідрометалургійний спосіб 205
3.1.2 Виробництво вторинної міді 206
3.1.2.1 Етап виплавки вторинної міді 207
3.1.2.2 Конвертування, вогняне рафінування, обробка шлаку, електролітичне рафінування та перероблення чистого брухту сплавів 207
3.1.3 Виробництво катанки 209
3.1.3.1 Процес Southwire 209
3.1.3.2 Процес Contirod 211
3.1.3.3 Процеси Properzi та Secor 211
3.1.3.4 Процес Upcast 211
3.1.3.5 Процес витягування з розплаву на затравці 212
3.1.4 Виробництво напівфабрикатів із міді та мідних сплавів 212
3.1.4.1 Процес плавлення 213
3.1.4.2 Лиття 213
3.1.4.3 Виготовлення труб, профілів та прутків 215
3.1.4.4 Виготовлення листів та стрічок 216
3.1.5 Виробництво виливків міді та мідних сплавів 217
3.1.5.1 Лігатури 218
3.1.6 Операції травлення 219
3.1.6.1 Некислотне травлення мідної катанки 219
3.1.6.2 Кислотне травлення мідної катанки та напівфабрикатів із міді та мідних сплавів 219
3.2 Поточні рівні викидів та споживання 220
3.2.1 Споживання енергії під час виробництва міді 220
3.2.2 Дані про викиди та споживання 221
3.2.2.1 Вхідні та вихідні потоки у виробництві первинної міді 221
3.2.2.2 Вхідні та вихідні потоки у виробництві вторинної міді 223
3.2.2.3 Викиди в повітря 225
3.2.2.3.1 Чадний газ 226
3.2.2.3.2 Пил та металовмісні сполуки 227
3.2.2.3.3 Органічні сполуки вуглецю 229
3.2.2.3.4 ПХДД/Ф 229
3.2.2.3.5 Діоксид сірки 230
3.2.2.3.6 Дифузні викиди 231
3.2.2.3.7 Оксиди азоту 232
3.2.2.3.8 Висновки щодо викидів у повітря 232
3.2.2.4 Викиди у воду 234
3.2.2.4.1 Завислі тверді частки та металовмісні сполуки 235
3.2.2.4.2 Мастило 237
3.2.2.5 Технологічні залишки 237
3.2.2.6 Експлуатаційні дані деяких процесів виробництва міді 242
3.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ 248
3.3.1 Процес приймання, зберігання та поводження з матеріалом 248
3.3.1.1 Технології зменшення дифузних викидів від приймання, зберігання та поводження з первинними та вторинними матеріалами 248
3.3.1.2 Технології зменшення дифузних викидів під час транспортування дрібнодисперсних та пилоподібних матеріалів 251
3.3.2 Процеси попередньої обробки матеріалу 253
3.3.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів під час попередньої обробки первинних та вторинних матеріалів, такої як усереднення, сушіння, змішування, гомогенізація, просіювання та гранулювання 253

3.3.2.2 Технології видалення мастила зі стружки перед етапом виплавки у виробництві вторинної міді 258
3.3.2.3 Технології зниження викидів, що утворюються під час сушіння концентрату 260
3.3.2.4 Технології зниження викидів первинних відхідних газів від випалювання мідного концентрату 264
3.3.3 Виробництво первинної та вторинної міді 266
3.3.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів під час завантаження печей/конвертерів у виробництві первинної та вторинної міді 266
3.3.3.2 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря з металоплавильних печей у виробництві первинної міді 268
3.3.3.3 Технології запобігання та зменшення викидів з конвертерних печей у виробництві первинної міді 276
3.3.3.4 Обробка шлаку з високим вмістом міді 283
3.3.3.4.1 Технології запобігання та зменшення викидів від обробки шлаку з високим вмістом міді шляхом повільного охолодження, дроблення, помелу та флотації (концентратор шлаку) 283
3.3.3.4.2 Технології запобігання та зменшення викидів, що утворюються під час обробки у печі шлаку з високим вмістом міді (електрична піч або випарювання шлаку) 286
3.3.3.5 Технології запобігання та зменшення викидів від процесу виплавки та вогняного рафінування (анодна піч) у первинному та вторинному виробництві міді 291
3.3.3.6 Централізоване уловлювання та зниження вторинних викидів від печей та допоміжних пристроїв у виробництві первинної міді 299
3.3.3.7 Технології запобігання та зменшення викидів, що утворюються у процесі лиття анодів, у виробництві первинної міді 303
3.3.3.8 Оптимізований електроліз у виробництві первинної та вторинної міді 304
3.3.3.9 Видалення діоксиду сірки з відхідних газів з низьким вмістом SO_2 у виробництві первинної та вторинної міді 309
3.3.3.10 Технології запобігання та зменшення викидів від установки вилучення розчинником, залученої у гідрометалургійний процес виробництва міді з концентрату або вторинних матеріалів 314
3.3.4 Виробництво вторинної міді 317
3.3.4.1 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря з металоплавильних печей у виробництві вторинної міді 317
3.3.4.1.1 Зменшення викидів ПХДД/Ф через використання первинних та вторинних заходів у виробництві вторинної міді 325
3.3.4.1.2 Зменшення викидів з печей шляхом використання регенеративного допалювача у виробництві вторинної міді. 327
3.3.4.1.3 Зменшення викидів NO_X з печей через використання первинних та вторинних заходів у виробництві вторинної міді 329
3.3.4.2 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря з печей витримки у виробництві вторинної міді 331
3.3.4.3 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря з конвертерних печей у виробництві вторинної міді 333
3.3.4.4 Технології запобігання та зменшення вторинних викидів у повітря з допоміжних пристроїв у виробництві вторинної міді 337
3.3.5 Обробка міді 339
3.3.5.1 Технології зменшення викидів під час плавлення та лиття для виробництва форм, виливків та катанки з міді та мідних сплавів 339
3.3.5.2 Технологія запобігання та зменшення викидів під час некислотного та кислотного травлення мідної катанки та напівфабрикатів з міді та мідних сплавів 344
3.3.5.3 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря під час вилучення свинцю та олова з проміжних продуктів зі вторинної міді 349
3.3.6 Стічні води 350
3.3.6.1 Запобігання утворенню стічних вод 350
3.3.6.2 Очищення та повторне використання відпрацьованих вод у виробництві первинної та вторинної міді 352

3.3.7 Технологічні залишки 366
3.3.7.1 Варіанти використання або обробки технологічних залишків 366
3.3.8 Енергія 369
3.3.8.1 Технологія зниження споживання енергії під час виробництва первинної міді 369
3.3.8.2 Технологія зниження споживання енергії під час виробництва вторинної міді 372
3.4 Перспективні технології 375
4 ПРОЦЕСИ ОТРИМАННЯ АЛЮМІНІЮ З ПЕРВИННОЇ ТА ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ, У ТОМУ ЧИСЛІ ВИРОБНИЦТВО ГЛИНОЗЕМУ І АНОДІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЮ 377
4.1 Прикладні процеси та технології 377
4.1.1 Глинозем 377
4.1.2 Аноди для виробництва алюмінію 379
4.1.3 Первинний алюміній 383
4.1.3.1 Плавлення та обробка розплавленого металу 386
4.1.3.2 Лиття 387
4.1.4 Вторинний алюміній 387
4.1.4.1 Виробничі процеси 387
4.1.4.1.1 Попередня обробка 388
4.1.4.1.2 Процес плавлення 389
4.1.4.1.3 Обробка розплавленого металу та процес лиття 390
4.1.5 Сольовий шлак 390
4.1.5.1 Відновлення сольового шлаку 391
4.2 Поточні рівні викидів та споживання 392
4.2.1 Глинозем 392
4.2.1.1 Викиди у повітря від виробництва глинозему 392
4.2.1.2 Червоний шлам 392
4.2.1.3 Викиди у воду 393
4.2.2 Аноди для виробництва алюмінію 393
4.2.2.1 Огляд масового потоку та дані про вхідний/вихідний потік 393
4.2.2.2 Викиди у повітря під час виробництва анодів 393
4.2.2.2.1 ЛОС, вуглеводні та ПАВ 395
4.2.2.2.2 Пил 396
4.2.2.2.3 Газоподібні продукти згорання 396
4.2.2.2.4 Діоксид сірки 396
4.2.2.2.5 Фториди (виробництво анодів з використанням анодних недогарків) 396
4.2.2.2.6 ПХДД/Ф 396
4.2.2.3 Викиди у воду 396
4.2.2.4 Технологічні залишки 397
4.2.3 Первинний алюміній 397
4.2.3.1 Огляд масового потоку та дані про вхідний/вихідний потік 397
4.2.3.2 Викиди в повітря 398
4.2.3.2.1 Уловлювання газів 399
4.2.3.2.2 Фториди 400
4.2.3.2.3 Перфторовані органічні (ПФО) сполуки 401
4.2.3.2.4 Смола та ПАВ 401
4.2.3.2.5 Діоксид сірки та сполуки сірки 402
4.2.3.2.6 Пил 403
4.2.3.2.7 Метали 404
4.2.3.2.8 Оксиди азоту 404
4.2.3.2.9 Чадний газ 404
4.2.3.2.10 Вуглекислий газ 404
4.2.3.2.11 Короткий огляд основних забруднювачів повітря 404
4.2.3.3 Викиди у воду 406

4.2.3.4 Технологічні залишки ... 406
4.2.3.4.1 Відпрацьоване футерування електролізера ... 407
4.2.3.4.2 Інші матеріали ... 408
4.2.4 Вторинний алюміній ... 409
4.2.4.1 Викиди в повітря ... 410
4.2.4.1.1 Уловлювання та запобігання викидам ... 410
4.2.4.1.2 Пил і метали ... 411
4.2.4.1.3 Органічні сполуки (ЗОВ, ПХДД/Ф) та CO ... 411
4.2.4.1.4 Діоксид сірки та оксиди азоту ... 412
4.2.4.1.5 HF, HCl та хлор ... 413
4.2.4.2 Викиди у воду ... 413
4.2.4.3 Технологічні залишки ... 414
4.2.4.4 Споживання енергії ... 416
4.2.4.5 Огляд масового потоку та дані про вхідний/вихідний потік ... 417
4.2.5 Сольовий шлак ... 420
4.2.5.1 Пил та інші викиди у повітря ... 421
4.2.5.2 Вода та тверді відходи ... 421
4.2.5.3 Використання енергії ... 422
4.3 ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ НЕОБХІДНО ВРАХОВУВАТИ У ВИЗНАЧЕННІ НДТ ... 423
4.3.1 Глинозем ... 423
4.3.1.1 Технології зниження викидів пилу під час зберігання, поводження та транспортування бокситів та глинозему ... 423
4.3.1.2 Технології зниження викидів із сушильних печей, котлів та печей кальцинації у виробництві глинозему. ... 424
4.3.1.3 Технології запобігання та мінімізації залишків бокситів у виробництві глинозему ... 426
4.3.1.4 Технології зниження споживання енергії під час виробництва глинозему з бокситів ... 427
4.3.2 Аноди для виробництва алюмінію ... 429
4.3.2.1 Технології зниження викидів під час зберігання, поводження та транспортування первинної та вторинної сировини ... 429
4.3.2.2 Технології зниження викидів пилу та ПАВ на етапах подрібнення, змішування та формування ... 431
4.3.2.3 Технології зниження викидів від обпалювання у виробництві анодів ... 435
4.3.3 Первинний алюміній ... 443
4.3.3.1 Технології зниження викидів під час зберіганні, поводження та транспортування сировини, що використовується для виробництва первинного алюмінію ... 443
4.3.3.2 Технології зниження викидів перфторвуглеців у виробництві первинного алюмінію ... 444
4.3.3.3 Технології запобігання або уловлювання дифузних викидів як з електролізних камер, так і з електролізного корпусу у виробництві первинного алюмінію з використанням технології Сьодерберга ... 445
4.3.3.4 Технології запобігання або уловлювання дифузних викидів з електролітичних камер у виробництві первинного алюмінію з використанням попередньо обпалених анодів ... 446
4.3.3.5 Технології зниження вмісту пилу та фторидів у газах з камер ... 448
4.3.3.6 Технології зниження вмісту пилу та фторидів у газах з камери та газах від процесу виробництва анодів ... 456
4.3.3.7 Технології запобігання викидам SO_2 з газів від камери ... 456
4.3.3.8 Технології зниження вмісту SO_2 у газах з електролітичних камер та систем вентиляції електролізного корпусу ... 459
4.3.3.9 Технології зниження викидів під час плавлення, обробки розплавленого металу та лиття на заводах з виплавки первинного алюмінію ... 462
4.3.3.10 Технології повторного використання відпрацьованого футерування електролізера ... 463
4.3.4 Вторинний алюміній ... 464
4.3.4.1 Технології зниження викидів під час зберігання, поводження та транспортування сировини, що використовується для виробництва вторинного

алюмінію 464
4.3.4.2 Технології розділення неметалевих компонентів та металів, крім алюмінію, та зменшення їх розміру перед етапом плавлення 465
4.3.4.3 Технології видалення мастила та органічних сполук зі стружки перед етапом плавлення 466
4.3.4.4 Вибір відповідних печей для плавлення вторинного металу 470
4.3.4.5 Технології зниження дифузних викидів в повітря з плавильних печей під час виробництва вторинного алюмінію 474
4.3.4.6 Технології зменшення викидів пилу у повітря в процесі плавлення 476
4.3.4.7 Технології зменшення викидів у повітря органічного вуглецю з плавильної печі 479
4.3.4.8 Технології зменшення викидів у повітря кислих газів та органічного вуглецю, в тому числі ПХДД/Ф 481
4.3.4.9 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря в результаті обробки розплавленого металу у виробництві вторинного алюмінію 484
4.3.4.10 Технології запобігання та зменшення викидів під час переплавлення 486
4.3.4.11 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря від знімання/дросу 488
4.3.4.12 Технології запобігання або зменшення утворення сольового шлаку 489
4.3.4.12.1 Застосування перекачування або системи перемішування металу для підвищення ефективності та зменшення споживання солі. 489
4.3.4.12.2 Технологія підвищення ефективності та мінімізації використання сольового покриття 491
4.3.5 Сольовий шлак 492
4.3.5.1 Повне перероблення сольового шлаку 492
4.3.5.2 Часткове перероблення сольового шлаку 494
4.3.5.3 Технології зменшення викидів у повітря під час обробки сольового шлаку 495
4.3.5.3.1 Фільтри для вловлювання пилу у процесі дроблення та сухого помелу сольового шлаку 495
4.3.5.3.2 Фільтр з активованим вугіллям 497
4.3.5.3.3 Мокрий кислотний скрубер 498
4.3.5.3.4 Допалювач 499
4.3.6 Стічні води 500
4.4 Перспективні технології 501
5 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА СВИНЦЮ ТА ОЛОВА 503
5.1 Прикладні процеси та технології 503
5.1.1 Первинний свинець 503
5.1.1.1 Спіканні/виплавка в доменній печі або металоплавильній печі Imperial 504
5.1.1.2 Пряма виплавка 504
5.1.2 Первинне олово 505
5.1.3 Виробництво вторинних свинцю та олова 505
5.1.3.1 Відновлення свинцю зі свинцево-кислотних акумуляторів 506
5.1.3.2 Вилучення свинцю із залишків та брухту 508
5.1.3.3 Вилучення свинцю та олова із залишків та димового пилу від процесу виплавки міді 509
5.1.3.4 Вилучення олова зі сталевого брухту 510
5.1.3.5 Вилучення свинцю, олова та інших металів з вторинної сировини та відходів 510
5.1.4 Рафінування первинного та вторинного свинцю та олова 510
5.1.5 Процеси плавлення та легування свинцю 513
5.2 Поточні рівні викидів та споживання 514
5.2.1 Енергія 516
5.2.2 Викиди в повітря 516
5.2.2.1 Діоксид сірки та інші сполуки сірки 518
5.2.2.2 Оксиди азоту 519
5.2.2.3 Пил і метали 519
5.2.2.4 Органічні сполуки (ЛОС, ПХДД/Ф) та CO 521
5.2.3 Викиди у воду 521

5.2.3.1 Відпрацьовані води з установок з очищення ... 521
5.2.3.2 Стічні води від процесу відновлення акумуляторів ... 522
5.2.4 Технологічні залишки ... 524
5.2.4.1 Пірометалургійні шлаки та залишки ... 525
5.2.4.2 Пластмаси з процесу обробки акумуляторів ... 528
5.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ ... 529
5.3.1 Отримання сировини, поводження з нею та зберігання ... 529
5.3.2 Попередня обробка матеріалу ... 529
5.3.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів під час підготовки первинних та вторинних матеріалів (за винятком акумуляторів) ... 529
5.3.2.2 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря від сушіння первинних та вторинних матеріалів ... 532
5.3.2.3 Технології запобігання та зменшення викидів в результаті розбирання, спікання, брикетування та гранулювання ... 536
5.3.2.4 Технології запобігання та зменшення викидів під час підготовки акумуляторів ... 537
5.3.2.5 Технологія зменшення викидів сірчистого газу від процесу виплавки ... 541
5.3.3 Виробництво свинцю з використанням первинних та вторинних матеріалів (заводи з виплавки первинного металу) ... 544
5.3.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря технологічних газів заводу з виплавки первинного металу ... 544
5.3.3.2 Технології запобігання та зменшення дифузних викидів у виробництві первинного свинцю внаслідок завантаження, випускання та попереднього видалення міді ... 549
5.3.3.3 Технології запобігання та зменшення дифузних викидів у повітря у виробництві первинного свинцю від обробки шлаку ... 551
5.3.4 Виробництво свинцю та олова з використанням вторинних матеріалів (заводи з виплавки вторинного металу) ... 553
5.3.4.1 Технології запобігання та зменшення дифузних викидів у повітря у виробництві вторинного свинцю та олова. ... 553
5.3.4.2 Технології зменшення каналізованих викидів запиленого повітря з відхідного газу заводу з виплавки вторинного металу ... 557
5.3.4.3 Технології зменшення викидів SO_2 з печей заводів з виплавки вторинного металу ... 564
5.3.4.4 Використання допалювачів для видалення чадного газу та органічного вуглецю, в тому числі ПХДД/Ф ... 569
5.3.4.5 Використання регенеративного термічного окисника (РТО) для видалення органічного вуглецю, в тому числі ПХДД/Ф ... 572
5.3.4.6 Технології запобігання та зменшення викидів ПХДД/Ф у повітря ... 574
5.3.5 Переплавлення та рафінування, легування та лиття у виробництві свинцю та олова ... 578
5.3.5.1 Технології запобігання та зменшення викидів під час переплавлення, рафінування та лиття під час виробництва первинного та вторинного свинцю та олова ... 578
5.3.6 Стічні води ... 584
5.3.6.1 Технології для запобігання утворенню стічних вод ... 584
5.3.6.2 Процес неорганічного очищення стічних вод ... 585
5.3.7 Технологічні залишки ... 591
5.3.7.1 Технології запобігання та мінімізації утворення залишків та відходів з заводів з виплавки первинного металу ... 591
5.3.7.2 Зовнішнє або внутрішнє використання кислоти та пластмас від обробки акумуляторів ... 593
5.3.7.3 Технології запобігання та мінімізації утворення залишків та відходів з заводів з виплавки вторинного металу ... 596
5.3.8 Енергія ... 597
5.3.8.1 Рекуперація тепла з технологічних газів у виробництві первинного свинцю та виробництві вторинного свинцю та олова ... 597
5.4 Перспективні технології ... 599
6 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА ЦИНКУ ТА КАДМІЮ ... 601

6.1 ПРИКЛАДНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ 601
6.1.1 Первинний цинк 601
6.1.1.1 Екологічні проблеми 601
6.1.1.2 Пірометалургійний спосіб 601
6.1.1.3 Гідрометалургійний спосіб 605
6.1.1.3.1 Випалювання 607
6.1.1.3.2 Обробка обпаленого матеріалу 608
6.1.1.3.3 Вилуговування 609
6.1.1.3.4 Очищення 611
6.1.1.3.4.1 Очищення з використанням хімічних речовин 612
6.1.1.3.4.2 Очищення з використанням технології вилучення розчинником 614
6.1.1.3.5 Електроліз 615
6.1.1.3.6 Обробка залишків від вилуговування нейтральним розчинником та утилізація залишків заліза 616
6.1.1.3.6.1 Пірометалургійна обробка залишку від вилуговування нейтральним розчинником 616
6.1.1.3.6.2 Гідрометалургійна обробка залишку від вилуговування нейтральним розчинником 616
6.1.2 Вторинний цинк 620
6.1.2.1 Загальні процеси 620
6.1.2.2 Процеси вилучення розчинником вторинного цинку 622
6.1.2.3 Вельц-печі 622
6.1.2.4 Процеси випарювання шлаку 624
6.1.2.4.1 Процес плазмово-дугового випарювання 624
6.1.2.4.2 Процес ф'юмінг-печі для виробництва вторинного ZnO на міделавильному заводі 625
6.1.2.5 Переплавлення та рафінування 625
6.1.3 Процеси плавлення, легування та лиття цинку 625
6.1.3.1 Процеси плавлення та легування цинку 625
6.1.3.2 Процеси лиття цинку 626
6.1.3.3 Виробництво цинкового порошку («цинковий пил») 626
6.1.4 Кадмій 627
6.1.4.1 Виробництво кадмію в процесі виробництва первинного цинку 627
6.1.4.2 Виробництво вторинного кадмію, переважно з акумуляторів 632
6.1.4.3 Виробництво інших металів (In, Ge, Ga) 633
6.2 ПОТОЧНІ РІВНІ ВИКИДІВ ТА СПОЖИВАННЯ 634
6.2.1 Енергія 636
6.2.2 Викиди в повітря 637
6.2.2.1 Діоксид сірки та інші сполуки сірки 639
6.2.2.2 Оксиди азоту 639
6.2.2.3 Пил і метали 640
6.2.2.4 ПХДД/Ф 641
6.2.3 Викиди у воду 642
6.2.3.1 Відпрацьовані води з установок з очищення 642
6.2.3.2 Стоки злитого електроліту 643
6.2.3.3 Стічні води з інших джерел 643
6.2.4 Технологічні залишки 644
6.2.4.1 Залишки від вилуговування 647
6.2.4.2 Пірометалургійні шлаки та залишки 648
6.3 ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ НЕОБХІДНО ВРАХОВУВАТИ У ВИЗНАЧЕННІ НДТ 650
6.3.1 Виробництво цинку з використанням первинних та вторинних матеріалів 650
6.3.1.1 Технології зменшення викидів від приймання, поводження та зберігання сировини 650
6.3.1.2 Гідрометалургійне виробництво цинку 651
6.3.1.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів в результаті випалювання первинних матеріалів 651
6.3.1.2.2 Технології запобігання та зменшення викидів під час обробки обпаленого матеріалу 655

6.3.1.2.3 Технології запобігання та зменшення викидів від вилуговування та розділення твердої та рідкої фаз 658
6.3.1.2.4 Технології запобігання та зменшення викидів в результаті очищення розчинів з використанням цинкового пилу та хімічних добавок 662
6.3.1.2.5 Технології запобігання та зменшення викидів від електролізу 666
6.3.1.2.5.1 Технології запобігання та зменшення викидів від електролізних холодильників 666
6.3.1.2.5.2 Технології запобігання та зменшення утворення туману від електровідновленню всередині цеху електролізу 668
6.3.1.2.5.3 Технології запобігання та зменшення кількості стічних вод з цеху електролізу 670
6.3.1.2.6 Технології запобігання утворенню стічних вод від гідрометалургійного виробництва цинку 671
6.3.1.2.7 Технології запобігання та мінімізації утворення залишків та відходів з заводів з гідрометалургійного виробництва цинку 673
6.3.1.2.8 Технології вдосконалення утилізації залишків вилуговування гідрометалургійного виробництва цинку 676
6.3.1.2.8.1 Пірометалургійна обробка для вдосконалення утилізації залишків вилуговування гідрометалургійного виробництва цинку 676
6.3.1.2.8.2 Методи інертизації та ущільнення для вдосконалення утилізації залишків вилуговування у гідрометалургійному виробництві цинку 679
6.3.1.2.8.2.1 Процес Jarofix 679
6.3.1.2.8.2.2 Процес сульфідування 682
6.3.1.2.8.2.3 Ущільнення залишків заліза 684
6.3.1.2.9 Технології регенерації тепла у гідрометалургійному виробництві цинку. 686
6.3.1.3 Пірометалургійне виробництво цинку 687
6.3.1.3.1 Технології зменшення викидів у повітря у пірометалургійному виробництві цинку 687
6.3.1.3.2 Технології зменшення викидів SO_2 та діоксинів у пірометалургійному виробництві цинку 691
6.3.2 Виробництво первинного та вторинного цинку з використанням способів перероблення 692
6.3.2.1 Перероблення металевих потоків 692
6.3.2.1.1 Технології зменшення викидів від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків 692
6.3.2.2 Переробка оксидної сировини 693
6.3.2.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів з ф'юмінг-печей 693
6.3.2.2.1.1 Технології запобігання та зниження викидів від процесу плазмово-дугового випарювання 693
6.3.2.2.1.2 Технології запобігання та зменшення викидів з ф'юмнг-печі в процесі виробництва вторинного ZnO на мідеплавильному заводі 695
6.3.2.2.2 Технології запобігання та зменшення викидів від багатоподових печей 697
6.3.2.2.3 Технології запобігання та зниження викидів від процесу роботи обертової вельц-печі 697
6.3.2.2.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів від вторинних матеріалів під час гранулювання 697
6.3.2.2.3.2 Технології запобігання та зниження викидів від плавлення в обертових вельц-печах 698
6.3.2.2.3.3 Технології запобігання та зменшення викидів від обробки шлаку 700
6.3.2.2.3.4 Технології запобігання та зменшення кількості стічних вод у процесі вельц-печі 701
6.3.2.2.3.5 Очищення стічних вод у процесі вельц-печі 703
6.3.2.2.3.6 Технології запобігання та мінімізації залишків та відходів процесу вельц-печі 706
6.3.3 Плавлення, легування та лиття цинкових виливків (первинні, вторинні, гідрометалургійні та пірометалургійні процеси) 706

6.3.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів від плавильних печей, печей для переплавлення, легування, печей витримки та ливарних печей та виробництва цинкового пилу 706
6.3.3.2 Технології запобігання та мінімізації залишків та відходів від процесів плавлення 709
6.3.3.3 Технології для запобігання утворенню стічних вод 711
6.3.4 Очищення стічних вод заводів з виробництва цинку (первинні, вторинні, гідрометалургійні та пірометалургійні процеси) 712
6.3.4.1 Очищення стічних вод гідрометалургійного та пірометалургійного виробництва цинку 712
6.3.5 Способи виробництва та переробки кадмію 719
6.3.5.1 Гідрометалургійне виробництво кадмію 719
6.3.5.1.1 Технології запобігання та зменшення викидів від вилуговування та розділення твердої та рідкої фаз 719
6.3.5.1.2 Технології запобігання викидів від електролізу 719
6.3.5.1.3 Технології запобігання та мінімізації утворення залишків та відходів з заводів з гідрометалургійного виробництва кадмію 720
6.3.5.2 Пірометалургійне виробництво кадмію 722
6.3.5.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів кадмію у пірометалургійному виробництві цинку (ISP) 722
6.3.5.2.2 Технології запобігання та зменшення викидів від брикетування та гранулювання цементного металевого кадмію 722
6.3.5.2.3 Методи зниження викидів під час вилучення кадмію шляхом випарювання/конденсації 723
6.3.5.2.4 Технології запобігання та мінімізації залишків та відходів пірометалургійного виробництва кадмію 724
6.3.5.3 Плавлення, легування та лиття виливків кадмію (первинний та вторинний контури) 724
6.3.5.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів від плавильних печей, печей для переплавлення, легування, печей витримки та ливарних печей 724
6.3.5.3.2 Технології запобігання та мінімізації залишків та відходів у процесі плавлення 726
6.3.5.3.3 Технології для запобігання утворенню стічних вод 726
6.3.5.4 Очищення стічних вод заводів з виробництва кадмію (первинні, вторинні, гідрометалургійні та пірометалургійні процеси) 727
6.4 Перспективні технології 728
7 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА ДОРОГОЦІННИХ МЕТАЛІВ 729
7.1 Прикладні процеси та технології 729
7.1.1 Срібло 732
7.1.1.1 Фотографічні матеріали 732
7.1.1.2 Зола, сміття від підмітання тощо 732
7.1.1.3 Вилучення з виробництва неблагородних металів 733
7.1.1.4 Рафінування 735
7.1.2 Золото 735
7.1.2.1 Процес Міллера 735
7.1.2.2 Електролітичне рафінування 736
7.1.2.3 Інші процеси вилучення золота 736
7.1.3 Метали платинової групи (МПГ) 736
7.2 Поточні рівні викидів та споживання 738
7.2.1 Цикли матеріалів у галузі перероблення дорогоцінних металів 738
7.2.1.1 Неметалеві цикли 738
7.2.1.2 Цикли без дорогоцінних металів 739
7.2.2 Екологічні проблеми процесів виробництва дорогоцінних металів 740
7.2.2.1 Викиди в повітря 740
7.2.2.1.1 Пил і метали 741
7.2.2.1.2 Діоксид сірки 741
7.2.2.1.3 Хлор та HCl 741

7.2.2.1.4 Оксиди азоту ... 742
7.2.2.1.5 ЛОС та ПХДД/Ф ... 742
7.2.2.1.6 Висновки щодо викидів у повітря ... 742
7.2.2.2 Викиди у воду ... 744
7.2.2.3 Технологічні залишки ... 745
7.3 ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ НЕОБХІДНО ВРАХОВУВАТИ У ВИЗНАЧЕННІ НДТ ... 746
7.3.1 Методи запобігання та зменшення викидів пилу від попередньої обробки дорогоцінних металів та операцій з поводження з ним (наприклад, дроблення, просіювання та змішування) ... 746
7.3.2 Технології запобігання та зменшення викидів від операцій виплавки та плавлення дорогоцінних металів (за винятком пов'язаних з виробництвом металу Доре) ... 749
7.3.3 Технології запобігання та зменшення викидів від пірометалургійних процесів виробництва металу Доре ... 752
7.3.4 Технології запобігання та зменшення викидів від (електролітичного) афінажу срібла та золота ... 759
7.3.5 Технології запобігання та зменшення викидів від операцій гідрометалургійних виробництв дорогоцінних металів ... 762
7.3.6 Технології запобігання та скорочення викидів від операцій спалювання, обпалювання та сушіння дорогоцінних металів ... 769
7.3.7 Технології запобігання, обробки та випускання або відновлення відпрацьованих розчинів операцій з афінажу дорогоцінних металів ... 774
7.3.8 Технології запобігання та скорочення викидів від плавлення кінцевих металевих продуктів у процесі афінажу дорогоцінних металів ... 779
7.4 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ... 781
8 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСПЛАВІВ ... 783
8.1 ПРИКЛАДНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ... 784
8.1.1 Ферохром ... 784
8.1.1.1 Сировина ... 784
8.1.1.2 Технології попередньої обробки ... 785
8.1.1.3 Виробництво ферохрому та силікохрому ... 786
8.1.1.3.1 Високовуглецевий ферохром ... 786
8.1.1.3.2 Середньовуглецевий ферохром ... 789
8.1.1.3.3 Низьковуглецевий ферохром ... 789
8.1.1.3.4 Силікохром ... 790
8.1.2 Феросиліцій та кременисті сплави ... 790
8.1.2.1 Сировина ... 790
8.1.2.2 Виробництво феросиліцію, металевого кремнію та силікокальцію ... 791
8.1.3 Феромарганець та марганцеві сплави ... 793
8.1.3.1 Сировина ... 793
8.1.3.2 Технології попередньої обробки ... 794
8.1.3.3 Виробництво феромарганцю та силікомарганцю ... 794
8.1.3.3.1 Високовуглецевий феромарганець ... 794
8.1.3.3.2 Середньовуглецевий феромарганець ... 795
8.1.3.3.3 Низьковуглецевий феромарганець ... 796
8.1.3.3.4 Силікомарганець ... 796
8.1.4 Феронікель ... 797
8.1.4.1 Сировина ... 797
8.1.4.2 Виробництво феронікелю з первинної сировини ... 797
8.1.4.3 Виробництво феронікелю з вторинної сировини ... 798
8.1.5 Феровanадій ... 798
8.1.5.1 Сировина ... 798
8.1.5.2 Виробництво феровanадію ... 799
8.1.5.3 Операції поствиробництва ... 801
8.1.6 Випалювання молібденіту та виробництво феромолібдену ... 801
8.1.6.1 Випалювання молібденіту ... 801
8.1.6.2 Виробництво феромолібдену ... 803

8.1.6.2.1 Сировина 804
8.1.6.2.2 Металотермічне виробництво феромолібдену 804
8.1.7 Феровольфрам 807
8.1.7.1 Виробництво феровольфраму та вольфрамової плавильної основи 807
8.1.8 Феротитан 807
8.1.9 Феробор 810
8.1.10 Фероніобій 811
8.1.11 Виробництво феросплавів з вторинної сировини 811
8.1.11.1 Сировина та її підготовка 811
8.1.11.2 Попередня обробка 813
8.1.11.2.1 Змішування та сушіння (тільки процес плазмової обробки пилу) 813
8.1.11.3 Процес у дуговій печі з зануреною дугою 813
8.1.11.4 Процес плазмової обробки пилу 814
8.1.12 Короткий огляд плавильних систем, що використовуються у феросплавній промисловості 815
8.2 Поточні рівні викидів та споживання 818
8.2.1 Споживання сировини та енергії 818
8.2.2 Викиди в повітря 823
8.2.2.1 Викиди пилу та диму 823
8.2.2.2 Інші викиди у повітря 829
8.2.3 Шумове випромінювання та вібрації 833
8.2.4 Викиди у воду 834
8.2.5 Технологічні залишки 835
8.2.6 Відновлення енергії 839
8.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ 842
8.3.1 Сировина, приймання, поводження з нею та зберігання 842
8.3.1.1 Технології зменшення викидів від приймання, зберігання та поводження з первинними матеріалами 842
8.3.2 Технології попередньої обробки матеріалу 843
8.3.2.1 Технології зниження викидів від дроблення та подрібненні сировини 843
8.3.2.2 Технології зменшення викидів від дозування, змішуванні та усереднення 845
8.3.2.3 Технології запобігання та зменшення викидів в результаті брикетування, гранулювання, спікання сировини 846
8.3.2.4 Технології зменшення викидів внаслідок сушіння руди та іншої сировини 848
8.3.2.5 Технології зниження викидів, що утворюються під час сушіння коксу 848
8.3.2.6 Технології зменшення викидів від термічної обробки прокатної окалини або стружки перед виплавкою 849
8.3.2.7 Підігрівання та попереднє відновлення руди для зниження споживання енергії 850
8.3.3 Відновлення феросплавів 852
8.3.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів від плавильних заводів 852
8.3.3.1.1 Технології запобігання та зменшення викидів з відкритих дугових печей із зануреною дугою 852
8.3.3.1.2 Технології запобігання та зменшення викидів з напівзакритих дугових печей із зануреною дугою 857
8.3.3.1.3 Технології запобігання та зменшення викидів із закритих дугових печей із зануреною дугою 860
8.3.3.1.4 Технології запобігання та зниження викидів від закритого процесу плазмової обробки пилу 864
8.3.3.1.5 Технології запобігання та зменшення викидів з багатоподових печей 865
8.3.3.1.6 Методи запобігання та зменшення викидів з тиглів з вогнетривкою футерівкою 867
8.3.3.1.7 Технології запобігання та зменшення викидів з обертових печей 869
8.3.3.2 Технології зниження викидів у виробництві феросплавів в результаті випускання 870
8.3.4 Лиття, рафінування та легування у виробництві феросплавів 873
8.3.4.1 Технології зниження викидів у виробництві феросплавів від лиття, переміщенні та повторного заповнення. 873

8.3.4.2 Технології зменшення дифузних викидів у виробництві феросплавів під час рафінування та легування ... 874
8.3.5 Операції з феросплавами після печі ... 875
8.3.5.1 Технології зменшення викидів у результаті зменшення розміру продуктів ... 875
8.3.5.2 Технології зменшення дифузних викидів під поводження, зберігання та транспортування дуже дрібних продуктів ... 877
8.3.5.3 Технології зниження викидів у виробництві феросплавів в результаті пакування ... 878
8.3.5.4 Технології зниження викидів у виробництві феросплавів в результаті обробки шлаку ... 879
8.3.6 Стічні води ... 880
8.3.6.1 Технології для запобігання утворенню стічних вод ... 880
8.3.6.2 Очищення відпрацьованих вод ... 881
8.3.7 Технологічні залишки ... 888
8.3.7.1 Технології запобігання та мінімізації залишків та відходів виробництва феросплавів ... 888
8.3.8 Енергія ... 889
8.3.8.1 Технологія регенерації тепла з напівзакритих печей ... 889
8.3.8.2 Регенерація енергії із закритих дугових електропечей ... 892
8.3.8.3 Регенерація енергії з інших печей ... 893
8.4 Перспективні технології ... 895
9 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА НІКЕЛЮ ТА КОБАЛЬТУ ... 897
9.1 Прикладні процеси та технології ... 897
9.1.1 Виробництво нікелю ... 897
9.1.1.1 Окисні руди ... 897
9.1.1.2 Сульфідні руди ... 899
9.1.1.2.1 Традиційний процес зваженої плавки ... 900
9.1.1.2.2 Процес прямої зваженої плавки нікелю Outotec (процес DON). ... 901
9.1.1.3 Процеси рафінування штейну ... 902
9.1.1.3.1 Хлоридне вилуговування штейну з наступним електровідновленням. 903
9.1.1.3.2 Вилуговування на основі сульфату під атмосферним тиском з подальшим електровідновленням/відновленням воднем ... 904
9.1.1.3.3 Вилуговування під тиском аміаком та відновлення воднем ... 907
9.1.1.3.4 Вилуговування хлоридом заліза ... 907
9.1.1.3.5 Карбонільний процес ... 907
9.1.1.3.6 Електролітичне рафінування штейну ... 908
9.1.1.3.7 Вилучення розчинником ... 908
9.1.1.3.8 Процес рафінування нікелевого штейну ... 908
9.1.1.4 Виробництво нікелевих сплавів із вторинних матеріалів ... 910
9.1.2 Виробництво кобальту ... 911
9.2 Поточні рівні викидів та споживання ... 913
9.2.1 Споживання енергії ... 913
9.2.2 Викиди в повітря ... 913
9.2.2.1 Діоксид сірки та інші кислі гази ... 914
9.2.2.2 ЛОС ... 914
9.2.2.3 Пил і метали ... 915
9.2.2.4 Хлор ... 916
9.2.2.5 Водень, чадний газ та карбоніли ... 916
9.2.2.6 Оксиди азоту ... 916
9.2.2.7 Дифузні викиди ... 916
9.2.3 Викиди у воду ... 917
9.2.3.1 Відпрацьовані води з установок з очищення ... 918
9.2.3.2 Інші джерела ... 918
9.2.4 Технологічні залишки ... 920
9.2.4.1 Осади внаслідок процесів очищення ... 920
9.2.4.2 Пірометалургійні шлаки та залишки ... 921
9.2.4.3 Інші матеріали ... 921

9.3 ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ НЕОБХІДНО ВРАХОВУВАТИ У ВИЗНАЧЕННІ НДТ 922
9.3.1 Виробництво нікелю 922
9.3.1.1 Процес приймання, зберігання та поводження з матеріалом 922
9.3.1.1.1 Технології зменшення та запобігання викидам від приймання, зберігання та поводження з матеріалами 922
9.3.1.2 Процеси попередньої обробки матеріалу 923
9.3.1.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів під час підготовки та збагачення 923
9.3.1.2.2 Технології запобігання та зменшення викидів від сушіння нікелевої руди та концентратів 925
9.3.1.3 Процеси пірометалургійного перетворення 926
9.3.1.3.1 Технології зниження викидів від завантаження печей у виробництві первинного нікелю 926
9.3.1.3.2 Технології запобігання та зменшення викидів від процесу DON 927
9.3.1.3.3 Технології запобігання та зменшення викидів від дугових електропечей 930
9.3.1.3.4 Технології запобігання та зменшення викидів від процесу конвертування нікелю 932
9.3.1.4 Гідрометалургійні процеси рафінування нікелю 933
9.3.1.4.1 Технології зниження викидів від атмосферного вилуговування та вилуговування під тиском 933
9.3.1.4.2 Технології зниження викидів від рафінування шляхом вилучення розчинником (сульфатний спосіб) 934
9.3.1.4.3 Технології зниження викидів від процесу рафінування нікелевого штейну з використанням вилуговування хлоридом заліза з хлором (хлорний спосіб) 936
9.3.1.4.4 Технології зниження викидів, що утворюються під час електровідновлення 937
9.3.1.4.5 Технології зменшення викидів у повітря від карбонільного процесу ..938
9.3.1.4.6 Технології зниження викидів від процесів відновлення воднем у виробництві нікелевого порошку та нікелевих брикетів (процеси під тиском) 941
9.3.1.5 Стічні води 942
9.3.1.5.1 Технології запобігання утворенню стічних вод 942
9.3.1.5.2 Очищення відпрацьованих вод 942
9.3.1.6 Технологічні залишки 949
9.3.1.6.1 Технології запобігання та мінімізації утворення залишків та відходів 949
9.3.1.7 Енергоефективність та зниження споживання 950
9.3.2 Виробництво кобальту 953
9.3.2.1 Технології зниження викидів від процесу вилучення розчинником кобальту 953
9.3.2.2 Технології зниження викидів від осадження змішаних гідроксидів та змішаних сульфідів 954
9.3.2.3 Технології зниження викидів, що утворюються під час електровідновлення. 956
9.4 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ 957
9.4.1 Термічне розкладання комплексів нікелю 957
10 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА ВУГІЛЬНИХ І ГРАФІТОВИХ ЕЛЕКТРОДІВ, КАТОДІВ І ФОРМ 959
10.1 ПРИКЛАДНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ 959
10.1.1 Процеси виробництва обпалених матеріалів 960
10.1.2 Процеси виробництва пасти, зелених порошків та зелених форм 961
10.1.3 Процеси виробництва випечених форм. 962
10.1.4 Процеси виробництва просочених форм 965
10.1.5 Процеси виробництва повторно випалених форм із просочених форм 965
10.1.6 Процеси виробництва графітизованих форм 965
10.1.7 Процеси виробництва випечених, повторно випечених або графітизованих продуктів з механічною обробкою 967
10.1.8 Процеси виробництва вуглецевих та графітових продуктів спеціального призначення 967

10.2 Поточні рівні викидів та споживання ... 968
10.2.1 Викиди в повітря ... 968
10.2.1.1 Поліциклічні ароматичні вуглеводні ... 969
10.2.1.2 Пил ... 970
10.2.1.3 Газоподібні продукти згорання ... 971
10.2.1.4 Діоксид сірки ... 971
10.2.1.5 ЛОС (від виробництва вуглецевих та графітових спеціального призначення) ... 971
10.2.1.6 Ціаніди (виробництво вуглецевого волокна на основі поліакрилонітрилу (ПАН)) ... 971
10.2.1.7 ПХДД/Ф ... 971
10.2.1.8 Короткий огляд основних забруднювачів повітря ... 971
10.2.2 Викиди у воду ... 975
10.2.3 Технологічні залишки ... 975
10.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ ... 977
10.3.1 Отримання сировини, поводження з нею та зберігання ... 977
10.3.1.1 Технології зниження викидів під час зберігання, поводження та транспортування твердих речовин ... 977
10.3.1.2 Технології зниження викидів під час зберігання, поводження та транспортування рідкого пеку ... 978
10.3.2 Операції попередньої обробки матеріалу ... 979
10.3.2.1 Технології зниження викидів під час обпалювання вугілля та коксу ... 979
10.3.2.2 Технології зниження викидів від механічної підготовки сировини, такої як подрібнення та просіювання ... 979
10.3.3 Виробництво вуглецю та графіту ... 979
10.3.3.1 Технології зниження викидів пилу та ПАВ від змішування та формування (виробництво зеленої пасти та зелених форм) ... 979
10.3.3.2 Технології зниження викидів під час випікання та повторного випікання ... 983
10.3.3.3 Технології зниження викидів, що утворюються від просочення ... 988
10.3.3.4 Технології зниження викидів, що утворюються під час графітизації ... 991
10.3.3.5 Технології зниження викидів, що утворюються під час механічної обробки 991
10.3.3.6 Технології зниження викидів від процесів виробництва вуглецю спеціального призначення ... 992
10.3.4 Стічні води ... 992
10.3.4.1 Технології запобігання та контролю викидів стічних вод ... 992
10.3.4.2 Технології зменшення викидів стічних вод ... 992
10.3.5 Технологічні залишки ... 992
10.4 Перспективні технології ... 993
11 ВИСНОВКИ ЩОДО НАЙКРАЩИХ ДОСТУПНИХ ТЕХНОЛОГІЙ (НДТ) ... 995
Сфера застосування ... 995
Визначення ... 997
Загальні міркування ... 998
Акроніми ... 998
11.1 Висновки щодо загальних НДТ ... 999
11.1.1 Системи екологічного менеджменту (СЕМ) ... 999
11.1.2 Управління енергоспоживанням ... 1000
11.1.3 Управління технологічним процесом ... 1001
11.1.4 Дифузні викиди ... 1002
11.1.4.1 Загальний підхід до запобігання дифузним викидам ... 1002
11.1.4.2 Дифузні викиди від зберігання, поводження та транспортування сировини 1002
11.1.4.3 Дифузні викиди від виробництва металу ... 1004
11.1.5 Моніторинг викидів у повітря ... 1005
11.1.6 Викиди ртуті ... 1008
11.1.7 Викиди діоксиду сірки ... 1009
11.1.8 Викиди NO_X ... 1009

11.1.9 Викиди у воду, в тому числі їх моніторинг 1010
11.1.10 Шум 1013
11.1.11 Запах 1013
11.2 Висновки щодо НДТ для виробництва міді 1014
11.2.1 Вторинні матеріали 1014
11.2.2 Енергія 1014
11.2.3 Викиди у повітря 1015
11.2.3.1 Дифузні викиди 1015
11.2.3.2 Каналізовані викиди пилу 1019
11.2.3.3 Викиди органічних сполук 1021
11.2.3.4 Викиди діоксиду сірки 1022
11.2.3.5 Викиди кислоти 1023
11.2.4 Ґрунт та підземні води 1023
11.2.5 Утворення відпрацьованих вод 1023
11.2.6 Відходи 1024
11.3 Висновки щодо НДТ для виробництва алюмінію, в тому числі виробництва глинозему та анодів 1025
11.3.1 Виробництво глинозему 1025
11.3.1.1 Енергія 1025
11.3.1.2 Викиди у повітря 1026
11.3.1.3 Відходи 1026
11.3.2 Виробництво анодів 1026
11.3.2.1 Викиди у повітря 1026
11.3.2.1.1 Викиди пилу, ПАВ та фторидів зі змішувально-пресового відділення 1026
11.3.2.1.2 Викиди пилу, діоксиду сірки, ПАВ та фторидів з заводу для обпалювання 1027
11.3.2.2 Утворення відпрацьованих вод 1028
11.3.2.3 Відходи 1028
11.3.3 Виробництво первинного алюмінію 1028
11.3.3.1 Викиди у повітря 1028
11.3.3.1.1 Каналізовані викиди пилу та фторидів 1029
11.3.3.1.2 Загальні обсяги викидів пилу та фторидів 1030
11.3.3.1.3 Викиди діоксиду сірки 1031
11.3.3.1.4 Викиди перфторвуглеців 1032
11.3.3.1.5 Викиди ПАВ та CO 1032
11.3.3.2 Утворення відпрацьованих вод 1032
11.3.3.3 Відходи 1032
11.3.4 Виробництво вторинного алюмінію 1033
11.3.4.1 Вторинні матеріали 1033
11.3.4.2 Енергія 1033
11.3.4.3 Викиди у повітря 1033
11.3.4.3.1 Дифузні викиди 1033
11.3.4.3.2 Каналізовані викиди пилу 1034
11.3.4.3.3 Викиди органічних сполук 1035
11.3.4.3.4 Викиди кислоти 1036
11.3.4.4 Відходи 1037
11.3.5 Процес перероблення сольового шлаку 1037
11.3.5.1 Дифузні викиди 1037
11.3.5.2 Каналізовані викиди пилу 1037
11.3.5.3 Газоподібні сполуки 1038
11.4 Висновки щодо НДТ для виробництва свинцю та/або олова 1039
11.4.1 Викиди у повітря 1039
11.4.1.1 Дифузні викиди 1039
11.4.1.2 Каналізовані викиди пилу 1041
11.4.1.3 Викиди органічних сполук 1042
11.4.1.4 Викиди діоксиду сірки 1043

11.4.2 Захист ґрунту та підземних вод 1044
11.4.3 Утворення відпрацьованих вод та їхнє очищення 1044
11.4.4 Відходи 1044
11.5 Висновки щодо НДТ для виробництва цинку та/або кадмію 1046
11.5.1 Виробництво первинного цинку 1046
11.5.1.1 Гідрометалургійне виробництво цинку 1046
11.5.1.1.1 Енергія 1046
11.5.1.1.2 Викиди у повітря 1046
11.5.1.1.2.1 Дифузні викиди 1046
11.5.1.1.2.2 Каналізовані викиди 1047
11.5.1.1.3 Захист ґрунту та підземних вод 1047
11.5.1.1.4 Утворення відпрацьованих вод 1048
11.5.1.1.5 Відходи 1048
11.5.1.2 Пірометалургійне виробництво цинку 1049
11.5.1.2.1 Викиди у повітря 1049
11.5.1.2.1.1 Каналізовані викиди пилу 1049
11.5.2 Виробництво вторинного цинку 1049
11.5.2.1 Викиди у повітря 1049
11.5.2.1.1 Каналізовані викиди пилу 1049
11.5.2.1.2 Викиди органічних сполук 1050
11.5.2.1.3 Викиди кислоти 1051
11.5.2.2 Утворення відпрацьованих вод та їхнє очищення 1051
11.5.3 Плавлення, легування та лиття цинкових виливків та виробництво цинкового пилу 1052
11.5.3.1 Викиди у повітря 1052
11.5.3.1.1 Дифузні викиди пилу 1052
11.5.3.1.2 Каналізовані викиди пилу 1052
11.5.3.2 Стічні води 1052
11.5.3.3 Відходи 1052
11.5.4 Виробництво кадмію 1053
11.5.4.1 Викиди у повітря 1053
11.5.4.1.1 Дифузні викиди 1053
11.5.4.1.2 Каналізовані викиди пилу 1053
11.5.4.2 Відходи 1054
11.6 Висновки щодо НДТ для виробництва дорогоцінних металів 1055
11.6.1 Викиди у повітря 1055
11.6.1.1 Дифузні викиди 1055
11.6.1.2 Каналізовані викиди пилу 1056
11.6.1.3 Викиди NO_X 1057
11.6.1.4 Викиди діоксиду сірки 1057
11.6.1.5 Викиди HCl та Cl_2 1058
11.6.1.6 Викиди NH_3 1058
11.6.1.7 Викиди ПХДД/Ф 1059
11.6.2 Захист ґрунту та підземних вод 1059
11.6.3 Утворення відпрацьованих вод 1059
11.6.4 Відходи 1059
11.7 Висновки щодо НДТ для виробництва феросплавів 1061
11.7.1 Енергія 1061
11.7.2 Викиди у повітря 1061
11.7.2.1 Дифузні викиди пилу 1061
11.7.2.2 Каналізовані викиди пилу 1062
11.7.2.3 Викиди ПХДД/Ф 1063
11.7.2.4 Викиди ПАВ та органічних сполук 1063
11.7.3 Відходи 1064
11.8 Висновки щодо НДТ для виробництва нікелю та/або кобальту 1065
11.8.1 Енергія 1065
11.8.2 Викиди у повітря 1065

11.8.2.1 Дифузні викиди ... 1065
11.8.2.2 Каналізовані викиди пилу ... 1066
11.8.2.3 Викиди нікелю та хлору ... 1066
11.8.2.4 Викиди діоксиду сірки ... 1067
11.8.2.5 Викиди NH_3 ... 1067
11.8.3 Відходи ... 1068
11.9 Висновки щодо НДТ для виробництва вуглецю та/або графіту ... 1069
11.9.1 Викиди у повітря ... 1069
11.9.1.1 Дифузні викиди ... 1069
11.9.1.2 Викиди пилу та ПАВ ... 1069
11.9.1.3 Викиди діоксиду сірки ... 1071
11.9.1.4 Викиди органічних сполук ... 1071
11.9.2 Відходи ... 1071
11.10 Опис технологій ... 1072
11.10.1 Викиди у повітря ... 1072
11.10.1.1 Викиди пилу ... 1072
11.10.1.2 Викиди NO_X ... 1072
11.10.1.3 Викиди SO_2, HCl та HF ... 1073
11.10.1.4 Викиди ртуті ... 1073
11.10.1.5 Викиди ЛОС, ПАВ та ПХДД/Ф ... 1074
11.10.2 Викиди у воду ... 1075
11.10.3 Інші описи ... 1075
12 ПРИКІНЦЕВІ ЗАУВАЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПОДАЛЬШОЇ РОБОТИ ... 1077
13 ДОДАТКИ ... 1083
13.1 Процеси виробництва металу ... 1083
13.1.1 Печі для випалювання та обпалювання ... 1085
13.1.1.1 Обертові печі (для сушіння, обпалювання тощо) ... 1085
13.1.1.2 Реактор з псевдозрідженим шаром ... 1085
13.1.1.3 Багатоподова піч або піч Херрешоффа ... 1086
13.1.1.4 Печі для спікання ... 1087
13.1.2 Металоплавильні печі ... 1088
13.1.2.1 Відбивні, подові печі або печі із закритим колодязем ... 1088
13.1.2.2 Доменні печі (та плавильна піч Imperial) ... 1089
13.1.2.3 Електричні відновлювальні печі ... 1091
13.1.2.4 Електричні печі (опору) ... 1094
13.1.2.5 Обертова піч ... 1095
13.1.2.6 Шахти та тиглі з вогнетривкою футерівкою ... 1095
13.1.2.7 Печі Ausmelt/ISASMELT та піч KRS ... 1096
13.1.2.8 Обертовий конвертер з верхнім дуттям (TBRC) і нахильна обертова киснево-паливна піч (TROF) ... 1097
13.1.2.9 Процеси Noranda, El Teniente, Baiyin та Ванюкова ... 1098
13.1.2.10 Процес Mitsubishi ... 1100
13.1.2.11 Піч QSL ... 1100
13.1.2.12 Циклонна плавильна піч ... 1101
13.1.2.13 Піч зваженої плавки Outotec ... 1102
13.1.2.14 Піч INCO ... 1103
13.1.2.15 Піч Kivcet (KSS) ... 1104
13.1.3 Конвертери ... 1104
13.1.3.1 Конвертер Пірса-Сміта ... 1104
13.1.3.2 Конвертер Hoboken ... 1106
13.1.3.3 Конвертер зваженої плавки Kennecott-Outotec ... 1107
13.1.3.4 Інші конвертери ... 1107
13.1.4 Печі для плавлення та рафінування ... 1108
13.1.4.1 Індукційні печі ... 1108
13.1.4.2 Котли з непрямим нагрівом ... 1108

13.1.4.3 Шахтні печі для плавлення металу ... 1109
13.1.4.4 Процес Contimelt ... 1109
13.1.4.5 Електронно-променеві печі ... 1110
13.1.4.6 Обертова піч ... 1110
13.1.4.7 Відбивні (із закритим колодязем) печі ... 1111
13.1.5 Короткий огляд печей загального користування ... 1112
13.1.6 Електрохімічні процеси ... 1114
13.1.6.1 Електровідновлення ... 1114
13.1.6.2 Електролітичне рафінування ... 1114
13.1.6.3 Електроліз розплавлених солей ... 1115
13.1.7 Гідрометалургійні процеси ... 1115
13.1.7.1 Купне вилуговування ... 1115
13.1.7.2 Атмосферне вилуговування (відкритий резервуар) ... 1116
13.1.7.3 Вилуговування під тиском (обробка в автоклаві) ... 1116
13.1.7.4 Вилучення розчинником ... 1116
13.2 Практика екологічного моніторингу ... 1118
13.2.1 Приклади практики екологічного моніторингу ... 1118
13.2.1.1 Приклади з країн Північної Європи ... 1118
13.2.1.2 Приклади з інших країн ... 1120
13.2.1.3 Дослідження в Австрії ... 1121
13.2.1.4 Дослідження в Бельгії ... 1121
13.2.2 Екотоксичність та біонакопичення ... 1122
13.3 Дані про окремі витрати на виробництво металу та боротьбу з викидами ... 1125
13.3.1 Вплив на дані про витрати ... 1125
13.3.2 Питомі інвестиційні витрати на мідеплавильні заводи ... 1127
13.3.3 Питомі інвестиційні витрати на процеси виробництва первинного та вторинного алюмінію ... 1130
13.3.4 Питомі інвестиційні витрати на процеси виробництва свинцю та цинку ... 1131
13.3.5 Дані про витрати на методи усунення забруднення довкілля ... 1133
13.3.5.1 Боротьба з викидами в повітря у мідній промисловості ... 1133
13.3.5.2 Боротьба з викидами в повітря — алюмінієва промисловість ... 1142
13.3.5.2.1 Витрати, пов'язані з десульфуризацією (deSO$_X$) ... 1147
13.3.5.3 Установка з виробництва сірчаної кислоти ... 1149
13.3.5.4 Система обробки стічних вод ... 1150
14 ГЛОСАРІЙ ... 1151
I. ISO коди країн ... 1151
II. Грошові одиниці ... 1152
III. Префікси одиниць вимірювання, роздільники чисел та позначення ... 1152
IV. Одиниці вимірювання та фізичні величини ... 1153
V. Хімічні елементи ... 1154
VI. Хімічні формули, які застосовуються в цьому документі ... 1155
VII. Акроніми та визначення ... 1156
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ... 1169

Перелік рисунків

Рисунок 1.1: Світове виробництво міді у 2005 році 6
Рисунок 1.2: Мідні напівфабрикати, вироблені у 2003 році 7
Рисунок 1.3: Кінцеве призначення напівфабрикатів, вироблених у ЄС у 2003 році. 8
Рисунок 1.4: Потужність у галузі рафінування свинцю у Європі у 2007 році. 17
Рисунок 1.5: Світове виробництво цинку з концентратів у 2007 році без урахування Китаю 23
Рисунок 1.6: Використання нікелю у Європі у 2005 році. 38
Рисунок 1.7: Виробництво нікелю у Європі у 2006 році 40
Рисунок 2.1: Енергетичний баланс процесу Contimelt 54
Рисунок 2.2: Система уловлювання «house-in-house» 67
Рисунок 2.3: Типова схема газоочищення для установки з виробництва сірчаної кислоти 77
Рисунок 2.4: Типова установка з виробництва сірчаної кислоти подвійної абсорбції 78
Рисунок 2.5: Порівняння впливу концентрацій SO_2 на вході в стаціонарному та нестаціонарному режимах на ефективність перетворення 79
Рисунок 2.6: Рівняння для розрахунку концентрації на виході та коефіцієнта перетворення 79
Рисунок 2.7: Перетворення SO_2 у сірчану кислоту 80
Рисунок 2.8: Класифікація стічних вод 85
Рисунок 2.9: Гранулювання розплавленого металу 87
Рисунок 2.10: Замкнений водяний контур у системах гранулювання 88
Рисунок 2.11: Різні шляхи переробки в залежності від кількості залишків, що утворюються на деяких заводах із виробництва кольорових металів у Північному Рейні-Вестфалії 93
Рисунок 2.12: Очищення мідного шлаку в електричній печі 94
Рисунок 2.13: Постійне вдосконалення в моделі CEM 103
Рисунок 2.14: Перша половина циклу регенеративного пальника 108
Рисунок 2.15: Друга половина циклу регенеративного пальника 108
Рисунок 2.16: Регенеративний допалювач 109
Рисунок 2.17: Виробництво електроенергії з низькопотенційного тепла 111
Рисунок 2.18: Уловлювання диму з четвертого отвору 123
Рисунок 2.19: Узгоджена система завантаження та випускання 124
Рисунок 2.20: Схема вторинної системи уловлювання диму для процесу виробництва первинної міді 125
Рисунок 2.21: Вторинна витяжна система для конвертера 126
Рисунок 2.22: Уловлювання диму з випускного отвору 126
Рисунок 2.23: Типова конструкція електростатичного фільтра (показано лише дві зони) 129
Рисунок 2.24: Мокрий електростатичний фільтр 131
Рисунок 2.25: Конструкція циклону 132
Рисунок 2.26: Рукавний фільтр зі зворотним потоком повітря (з одним відсіком у циклі очищення) 134
Рисунок 2.27: Система зворотного імпульсного струминного очищення 135
Рисунок 2.28: Система очищення пульсацією повітря низького тиску 136
Рисунок 2.29: Мокрий скрубер із радіальним потоком 140
Рисунок 2.30: Процес виробництва рідкого діоксиду сірки 161
Рисунок 2.31: Викиди ртуті в повітря внаслідок різних процесів виробництва кольорових металів 167
Рисунок 2.32: Приклад системи рециркуляції води для охолодження 170
Рисунок 2.33: Обробка слабкої кислоти 177
Рисунок 2.34: Схема піщаного фільтра 181
Рисунок 2.35: Конструкція простого біофільтру 189
Рисунок 2.36: Процес BAYQIK 192
Рисунок 3.1: Виробництво первинної міді 200
Рисунок 3.2: Схема гідрометалургійного процесу 205
Рисунок 3.3: Загальна схема виробництва вторинної міді 208
Рисунок 3.4: Приклад процесу Southwire 210
Рисунок 3.5: Приклад процесу Contirod 211
Рисунок 3.6: Основна схема виробництва напівфабрикатів 212
Рисунок 3.7: Принцип безперервного або напівбезперервного лиття напівфабрикатів 214
Рисунок 3.8: Загальна схема вхідних та вихідних потоків для виплавки первинної міді 221
Рисунок 3.9: Очищення газів з металоплавильних печей та конвертерів 222
Рисунок 3.10: Загальна схема вхідних та вихідних потоків для виплавки вторинної міді 223
Рисунок 3.11: Приклад схеми вхідних та вихідних потоків з майданчика з виробництва вторинної міді з процесом відновлення олова/свинцю 224
Рисунок 3.12: Metallo Chimique — Зберігання та сушіння матеріалу 256
Рисунок 3.13: Технологічна схема печі для випалювання у псевдозрідженому шарі та системи очищення газу 265
Рисунок 3.14: Місцевий витяжний ковпак для випускання штейну на плавильному заводі Toyo 270
Рисунок 3.15: Вторинна витяжна система для конвертера 277
Рисунок 3.16: Процес безперервного травлення 345
Рисунок 4.1: Загальний принцип процесу Байєра 377

Рисунок 4.2: Процес Байєра ... 379
Рисунок 4.3: Виробництво зелених анодів ... 380
Рисунок 4.4: Конфігурації печей для обпалювання анодів та приблизна кількість заводів ... 382
Рисунок 4.5: Електролітичні камери для первинного алюмінію ... 384
Рисунок 4.6: Типовий процес виробництва вторинного алюмінію ... 388
Рисунок 4.7: Процес обпалювання анодів та очищення диму ... 394
Рисунок 4.8: Вхідні та вихідні потоки виробництва первинного алюмінію ... 397
Рисунок 4.9: Вхідні та вихідні потоки виробництва вторинного алюмінію ... 409
Рисунок 4.10: Процес відновлення знімання/дросу ... 415
Рисунок 4.11: Повний процес перероблення масового потоку сольового шлаку ... 420
Рисунок 4.12: Приклад цілісної системи уловлювання диму ... 475
Рисунок 4.13: Викиди пилу від процесу плавлення на заводах з виробництва вторинного алюмінію ... 477
Рисунок 4.14: Викиди ЗЛОС на заводах з виробництва вторинного алюмінію ... 480
Рисунок 4.15: Викиди HCl на заводах з виробництва вторинного алюмінію ... 482
Рисунок 4.16: Викиди Cl_2 на заводах з виробництва вторинного алюмінію ... 483
Рисунок 4.17: Викиди HF на заводах з виробництва вторинного алюмінію ... 483
Рисунок 4.18: Викиди ПХДД/Ф на заводах з виробництва вторинного алюмінію ... 484
Рисунок 4.19: Приклад системи перекачування металу ... 490
Рисунок 4.20: Приклад процесу повного перероблення сольового шлаку ... 493
Рисунок 5.1: Схема типового процесу відновлення свинцево-кислотних акумуляторів у шахтній печі ... 506
Рисунок 5.2: Схема типового процесу відновлення свинцево-кислотного акумулятора ... 507
Рисунок 5.3: Зразкова схема процесів рафінування свинцю ... 512
Рисунок 5.4: Технологічна схема десульфуризації акумуляторної пасти лужним вилуговуванням ... 542
Рисунок 5.5: Система допалювача, що використовується на плавильному заводі з відновлення цілого акумулятора (процес VARTA) ... 570
Рисунок 5.6: Загальна схема заводу з РТО ... 573
Рисунок 5.7: Схема, що показує методи усунення викидів ПХДД/Ф на заводі Metallo-Chimique у Берсе ... 575
Рисунок 5.8: Порівняння тисків парів свинцю та олова ... 579
Рисунок 6.1: Схема типового процесу Imperial Smelting ... 602
Рисунок 6.2: Схема дистилювання сплаву цинку та кадмію ... 605
Рисунок 6.3: Спрощена схема гідрометалургійного способу ... 606
Рисунок 6.4: Етап очищення газу процесу випалювання 1: сухе очищення газу (застосування циклону необов'язкове) ... 607
Рисунок 6.5: Етап очищення газу процесу випалювання 2: мокре очищення газу ... 608
Рисунок 6.6: Спрощена схема процесу вилуговування ... 609
Рисунок 6.7: Схема процесу вилуговування з інтегрованим прямим вилуговуванням під атмосферним тиском для збільшення потужності заводу ... 611
Рисунок 6.8: Зразкова схема процесу очищення на основі миш'яку для видалення Co та Ni ... 612
Рисунок 6.9: Схема процесу очищення на основі Sb на Заводі D ... 613
Рисунок 6.10: Спрощена схема процесу Modified Zincex™ вилучення розчинником ... 614
Рисунок 6.11: Приклад схеми обробки залишку вилуговування у процесі гетитом ... 617
Рисунок 6.12: Приклад схеми обробки залишку вилуговування у процесі ярозитом ... 618
Рисунок 6.13: Спрощені схеми деяких процесів видалення заліза ... 619
Рисунок 6.14: Схема процесу Вельца ... 623
Рисунок 6.15: Схема виробництва кадмію: Завод A ... 628
Рисунок 6.16: Схема виробництва кадмію: Завод B ... 629
Рисунок 6.17: Схема очищення, що передбачає виробництво кадмію: Завод C ... 630
Рисунок 6.18: Схема виробництва кадмію: Завод D ... 630
Рисунок 6.19: Схема виробництва кадмію: Завод E ... 631
Рисунок 6.20: Схема виробництва кадмію: Завод F ... 632
Рисунок 6.21: Уловлювання та боротьба з викидами від підготовки сировини для печі для випалювання та для процесу випалювання ... 652
Рисунок 6.22: Уловлювання та зменшення викидів від обробки обпаленого матеріалу ... 656
Рисунок 6.23: Єдина система боротьби з викидами з резервуара ... 660
Рисунок 6.24: Центральна система боротьби з викидами з туманоуловлювачем відцентрового типу ... 664
Рисунок 6.25: Відновлення ландшафту за допомогою процесу Jarofix ... 680
Рисунок 6.26: Схема процесу сульфідування ... 682
Рисунок 6.27: Схема процесу плазмово-дугового випарювання ... 694
Рисунок 6.28: Ф'юмінг-піч, об'єднана з клінкерною піччю в процесі виплавки міді ... 696
Рисунок 6.29: Схема триетапного циклу протитечійного промивання оксиду процесу Вельца ... 702
Рисунок 6.30: Схема двоетапного циклу протитечійного промивання оксиду процесу Вельца ... 702
Рисунок 6.31: Схема типової обробки відходів/залишків, що утворюються під час плавлення цинку ... 710
Рисунок 7.1: Приклад загальної схеми вилучення дорогоцінних металів ... 730
Рисунок 7.2: Приклад схеми обробки анодного шламу ... 731

Рисунок 7.3: Вилучення срібла під час виробництва цинку та свинцю 734
Рисунок 7.4: Схема металургійного процесу 782
Рисунок 8.1: Процес спікання на сталевій стрічці 786
Рисунок 8.2: Процес гранулювання шлаку 787
Рисунок 8.3: Виробництво високовуглецевого ферохрому з використанням закритої дугової електропечі з зануреною дугою 788
Рисунок 8.4: Виробництво ферохрому з використанням напівзакритої дугової електропечі з зануреною дугою 789
Рисунок 8.5: Енергетичний баланс процесу виробництва кремнію з регенерацією енергії 792
Рисунок 8.6: Енергетичний баланс процесу виробництва кремнію без регенерації енергії 793
Рисунок 8.7: Закрита дугова електропіч для феромарганцю, що працює з електродами Сьодерберга 795
Рисунок 8.8: Схема виробництва феровanадія 800
Рисунок 8.9: Схема випалювання молібденіту 801
Рисунок 8.10: Випалювання молібденіту та очищення газу (Нідерланди) 802
Рисунок 8.11: Випалювання молібденіту та очищення відпрацьованих вод (Нідерланди) 803
Рисунок 8.12: Схема виробництва феромолібдену 804
Рисунок 8.13: Схема металотермічного випалювання 805
Рисунок 8.14: Виробництво феромолібдену шляхом металотермічного відновлення 806
Рисунок 8.15: Система газоочищення установки знежирення 808
Рисунок 8.16: Схема виробництва феротитану 809
Рисунок 8.17: Процес виробництва феробору та сплаву бору 810
Рисунок 8.18: Плавильний завод з процесом плазмової обробки пилу (Швеція) 815
Рисунок 8.19: Схема виробництва феросплавів із зазначенням можливих точок викидів у повітря 824
Рисунок 8.20: Схема енергії (у МВт теплової енергії) у печі для виробництва кремнію потужністю 10 МВт теплової енергії 839
Рисунок 8.21: Система витяжного ковпака, що використовується в деяких печах для виробництва кремнію та феросиліцію 871
Рисунок 8.22: Регенерація енергії із напівзакритої печі 890
Рисунок 8.23: Пряме використання газу CO для виробництва електроенергії 892
Рисунок 9.1: Загальна схема виробництва нікелю з латеритних руд 898
Рисунок 9.2: Загальна схема виробництва нікелю із сульфідних концентратів 900
Рисунок 9.3: Традиційний процес зваженої плавки 901
Рисунок 9.4: Процес DON 902
Рисунок 9.5: Загальна схема процесу рафінування нікелевого штейну 903
Рисунок 9.6: Процес Falconbridge 904
Рисунок 9.7: Процес вилуговування на основі сульфату 905
Рисунок 9.8: Схема процесу рафінування DON 906
Рисунок 9.9: Процес вилуговування аміаком Шеррітта 907
Рисунок 9.10: Схема процесу вилучення розчинником (BP) 908
Рисунок 9.11: Схема процесу рафінування Eramet 910
Рисунок 9.12: Загальна схема виробництва кобальту 912
Рисунок 9.13: Практична схема виробництва кобальту 912
Рисунок 10.1: Огляд процесу виробництва вуглецю та графіту 960
Рисунок 10.2: Загальний вигляд багатокамерної печі (відкрита кільцева піч) 963
Рисунок 10.3: Загальний вигляд однокамерної печі (піч із висувним подом) 964
Рисунок 10.4: Піч графітизації Кастнера 966
Рисунок 10.5: Піч графітизації Ачесона 966
Рисунок 10.6: Загальна схема викидів процесів виробництва вуглецю та графіту 968
Рисунок 10.7: Сухий адсорбційний скрубер з введенням пилу та видаленням пилу 980
Рисунок 10.8: Біофільтр та біоскрубер 989
Рисунок 13.1: Обертова піч (для сушіння, обпалювання) 1085
Рисунок 13.2: Реактор з псевдозрідженим шаром 1086
Рисунок 13.3: Піч Херрешоффа або багатоподова піч 1087
Рисунок 13.4: Піч для спікання зі сталевою стрічкою 1088
Рисунок 13.5: Приклад нахильної відбивної подової печі, що використовується для вторинних матеріалів 1089
Рисунок 13.6: Доменна піч для виплавки первинної міді 1090
Рисунок 13.7: Доменна піч для виробництва вторинної міді 1091
Рисунок 13.8: Процес в електричній відновлювальній печі та допоміжному обладнанні 1092
Рисунок 13.9: Система з електродом Сьодерберга в дуговій електропечі 1093
Рисунок 13.10: Обертова електрична відновлювальна піч 1094
Рисунок 13.11: Електрична піч для плавки концентрату або обпаленого матеріалу 1095
Рисунок 13.12: Піч Ausmelt (Sirosmelt)/ISASMELT 1096
Рисунок 13.13: Обертовий конвертер з верхнім дуттям (TBRC) і нахильна обертова киснево-паливна піч (TROF) 1098
Рисунок 13.14: Реактор Noranda 1099
Рисунок 13.15: Реактор El Teniente 1099
Рисунок 13.16: Процес Mitsubishi 1100

Рисунок 13.17: Піч QSL 1101
Рисунок 13.18: Процес Contop 1101
Рисунок 13.19: Піч зваженої плавки Outotec 1102
Рисунок 13.20: Піч INCO 1103
Рисунок 13.21: Піч Kivcet 1104
Рисунок 13.22: Конвертер Пірса-Сміта 1105
Рисунок 13.23: Конвертер Hoboken 1106
Рисунок 13.24: Індукційні печі 1108
Рисунок 13.25: Процес Contimelt 1110
Рисунок 13.26: Етапи процесу вилучення розчинником (BP) 1116
Рисунок 13.27: Схема модифікованого процесу Zincex 1117
Рисунок 13.28: Динаміка концентрацій цинку в морській воді поряд з заводу з виплавки цинку з плином часу 1119
Рисунок 13.29: Динаміка концентрацій As та Cd у повітрі, виміряних на острові Ельба в Гамбурзі (Німеччина) 1120
Рисунок 13.30: Динаміка концентрації свинцю в PM_{10} з 2002 по 2011 роки для деяких станцій відбору проб у Фландрії 1122

Перелік таблиць

Таблиця 1.1: Максимально допустимі домішки....4
Таблиця 1.2: Європейське виробництво міді і її сплавів у 2011 році....7
Таблиця 1.3: Виробництво алюмінію в ЄС-27 у 2007 та 2012 роках....11
Таблиця 1.4: Виробництво і споживання первинного алюмінію за країною у 2007 та 2012 роках....12
Таблиця 1.5: Імпорт первинного алюмінію до ЄС-27 у 2007 та 2012 роках....12
Таблиця 1.6: Хімічний склад марок свинцю за Європейським стандартом....14
Таблиця 1.7: Використання свинцю у всьому світі....14
Таблиця 1.8: Річна потужність із виробництва свинцю в ЄС-27 на 2006 рік....16
Таблиця 1.9: Річний видобуток олова у всьому світі у 2006 та 2012 роках....19
Таблиця 1.10: Річне виробництво олова (виплавка) у всьому світі у 2006 та 2012 роках....20
Таблиця 1.11: Використання цинку у всьому світі та Європі....21
Таблиця 1.12: Марки первинного цинку....21
Таблиця 1.13: Марки вторинного цинку....22
Таблиця 1.14: Світове виробництво цинкових концентратів у 2007 році....23
Таблиця 1.15: Світове виробництво рафінованого цинку....24
Таблиця 1.16: Виробництво цинку у Європі з первинної сировини у 2007 році....24
Таблиця 1.17: Установки для переробки цинку з продуктів із вичерпаним строком експлуатації в ЄС (2007 р.)....25
Таблиця 1.18: Основні виробники та споживачі кадмію у 2007 році....26
Таблиця 1.19: Основні європейські виробники первинного та вторинного кадмію у....27
Таблиця 1.20: Видобуток дорогоцінних металів у 2005 та 2012 роках....29
Таблиця 1.21: Річна потужність європейських заводів із переробки у 2006 році....30
Таблиця 1.22: Попит на дорогоцінні матеріали у 2006 році....31
Таблиця 1.23: Виробництво феросплавів масового застосування у Європі з 2006 до 2012 року, у тоннах на рік....34
Таблиця 1.24: Світове виробництво феросплавів за типом печі та типом сплаву з 2003 до 2007 року, у тоннах на рік (вага брутто)....35
Таблиця 1.25: Майданчики з виробництва нікелю в Європі у 2006 році....39
Таблиця 1.26: Виробництво нікелю у Європі з 2006 до 2012 року, у тоннах на рік....39
Таблиця 1.27: Розбивка загального виробництва кобальту за секторами використання....42
Таблиця 1.28: Світове виробництво кобальту....43
Таблиця 1.29: Виробництво деяких основних продуктів із вуглецю і графіту в Європі у 2012 році (тонни)....45
Таблиця 2.1: Процеси, які можуть утворювати інтегровані установки....48
Таблиця 2.2 Порівняння концентрації підданих очищенню викидів пилу та дифузного пилу на заводі з виплавки первинної міді....58
Таблиця 2.3: Установки подвійного контактування/подвійної абсорбції з виробництва сірчаної кислоти, пов'язані з виробництвом кольорових металів....81
Таблиця 2.4: Модернізовані установки з виробництва сірчаної кислоти з нижчими коливаннями концентрації SO_2 на вході, пов'язані з виробництвом кольорових металів....83
Таблиця 2.5: Установки з виробництва сірчаної кислоти однократного контактування, пов'язані з виробництвом кольорових металів....84
Таблиця 2.6: Потенційні джерела рідких відходів гідрометалургійного виробництва кольорових металів....89
Таблиця 2.7: Кількість перероблених, повторно використаних та скинутих залишків, зареєстрована в 1996 році для деяких заводів із виробництва кольорових металів у Північному Рейні-Вестфалії....95
Таблиця 2.8: Кількість перероблених, повторно використаних та скинутих залишків, зареєстрована в 1996 році для деяких заводів із виробництва кольорових металів у Північному Рейні-Вестфалії....96
Таблиця 2.9: Залишки та можливі напрями використання....98
Таблиця 2.10: Інформація за кожною технологією....102
Таблиця 2.11: Техніко-економічне порівняння киснево-паливного пальника з повітряно-паливним пальником....107
Таблиця 2.12: Порівняння різних систем тканинних фільтрів....138
Таблиця 2.13: Огляд технологій зменшення викидів пилу....142
Таблиця 2.14: Викиди оксидів азоту внаслідок кількох технологічних процесів....149
Таблиця 2.15: Дані про витрати, пов'язані зі спалюванням кисневого палива у виробництві вторинного алюмінію....150
Таблиця 2.16: Установки з виробництва сірчаної кислоти, що працюють за різних характеристик газу....156
Таблиця 2.17: Інформація щодо ефективності установки з виробництва сірчаної кислоти, що працює в змінних умовах....157
Таблиця 2.18: Витрати на зміну наявних установок із виробництва сірчаної кислоти....158
Таблиця 2.19: Модернізовані установки з виробництва сірчаної кислоти з нижчими коливаннями концентрації SO_2 на вході, пов'язані з виробництвом кольорових металів....159
Таблиця 2.20: Середньорічні викиди діоксиду сірки компанії Boliden....161
Таблиця 2.21: Ефективність технологій видалення ртуті, які застосовуються в Boliden Rönnskär....166

Таблиця 2.22: Огляд видів відпрацьованих вод та технологій очищення та мінімізації 169
Таблиця 2.23: Приклади переробки та повторного використання 169
Таблиця 2.24: Огляд переваг та недоліків поширених технологій очищення відпрацьованих вод.... 172
Таблиця 2.25: Дані про ефективність обробки слабкої кислоти 178
Таблиця 2.26: Типова проникність мембрани зворотного осмосу для іонів 184
Таблиця 2.27: Порівняння капітальних витрат між додатковим модулем LUREC® та стандартною установкою 193
Таблиця 3.1: Технології виплавки первинної міді 197
Таблиця 3.2: Світове застосування технологій виплавки у виробництві первинної міді 199
Таблиця 3.3: Приклад рівнів видалення домішок під час електролітичного рафінування 203
Таблиця 3.4: Вторинна сировина для виробництва міді 206
Таблиця 3.5: Порівняння експлуатаційних даних для типових вертикальних та горизонтальних установок безперервного лиття 215
Таблиця 3.6: Типові дані для процесу виробництва латунної стрічки 217
Таблиця 3.7: Порівняння концентрації підданих очищенню викидів пилу та дифузного пилу на заводі з виплавки первинної міді 220
Таблиця 3.8: Приклад даних про вхідні та вихідні потоки для заводу з виплавки/рафінування первинної міді 222
Таблиця 3.9: Дані про вхідні та вихідні потоки для виробництва вторинної міді показані на Рисунку 3.11 225
Таблиця 3.10: Відмінності в експлуатаційних параметрах печі KRS і шахтної печі 225
Таблиця 3.11: Значущість потенційних викидів у повітря у процесі виробництва міді 226
Таблиця 3.12: Основні компоненти пилу від процесів виробництва міді 228
Таблиця 3.13: Концентрації пилоподібних компонентів та ПХДД/Ф у очищеному газі всіх основних процесів заводу з виплавки вторинної міді 229
Таблиця 3.14: Питомі викиди у повітря від деяких процесів виробництва первинного та вторинного металу 232
Таблиця 3.15: Досяжні викиди від деяких процесів виплавки вторинного металу та переплавлення/рафінування (з виробництвом напівфабрикатів) 233
Таблиця 3.16: Викиди та експлуатаційні дані конвертерів у виробництві вторинної міді 234
Таблиця 3.17: Значущість потенційних викидів у воду у процесі виробництва міді 234
Таблиця 3.18: Річні концентрації основних компонентів у неочищених стічних водах з заводу з виплавки первинної міді 235
Таблиця 3.19: Приклад вмісту металу в різних стічних водах після очищення 236
Таблиця 3.20: Загальний рівень забруднювальних речовин у стічних водах, що скидаються з двох комплексних заводів з виробництва первинної міді 236
Таблиця 3.21: Річні обсяги забруднювальних речовин, що скидаються у воду з заводу з виробництва мідних напівфабрикатів 236
Таблиця 3.22: Залишки від виробництва міді 237
Таблиця 3.23: Залишки, що утворюються в результаті технологічних процесів виплавки первинної та вторинної міді у Германії 238
Таблиця 3.24: Залишки, що утворюються в результаті деяких процесів переплавлення/рафінування (з виробництвом напівфабрикатів) 239
Таблиця 3.25: Можливі галузі використання та приклади кількості відходів, що утворюються на комплексній установці з виробництва первинної та вторинної міді 240
Таблиця 3.26: Можливі галузі використання та приклади кількості відходів, що утворюються на установці з виробництва вторинної міді 241
Таблиця 3.27: Склад деяких шлаків від процесу виплавки міді перед їх очищенням 241
Таблиця 3.28: Експлуатаційні дані установки електролітичного рафінування міді 242
Таблиця 3.29: Експлуатаційні дані електричної печі 242
Таблиця 3.30: Експлуатаційні дані печі KRS 243
Таблиця 3.31: Експлуатаційні дані анодної відбивної печі 243
Таблиця 3.32: Експлуатаційні дані обертової барабанної печі 244
Таблиця 3.33: Експлуатаційні дані шахтної печі установки безперервного лиття 244
Таблиця 3.34: Експлуатаційні дані шахтної печі ливарно-прокатної установки з виробництва дроту 245
Таблиця 3.35: Експлуатаційні дані тигельних індукційних печей для виробництва мідних сплавів . 245
Таблиця 3.36: Експлуатаційні дані канальних індукційних печей для виробництва мідних сплавів. 246
Таблиця 3.37: Експлуатаційні дані для процесу виробництва вторинної міді (переплавлення) 247
Таблиця 3.38: Інформація про функціонування сушарок Metallo-Chimique 256
Таблиця 3.39: Викиди від чотирьох сушарок для стружки у 2010 році 259
Таблиця 3.40: Дані про ефективність та функціонування для сушіння концентрату (частина 1) 261
Таблиця 3.41: Дані про ефективність та функціонування для сушіння концентрату (частина 2) 262
Таблиця 3.42: Дані про ефективність та функціонування для печей з виплавки первинної міді (частина 1) 273
Таблиця 3.43: Дані про ефективність та функціонування для печей з виплавки первинної міді (частина 2) 274
Таблиця 3.44: Дані про функціонування та ефективність первинних конвертерів 280
Таблиця 3.45: Дані про функціонування та ефективність печей для очищення шлаку 290
Таблиця 3.46: Викиди ЗЛОС від Aurubis, Олен, у 2013 р. 293

Таблиця 3.47: Дані про функціонування та ефективність щодо заводів з плавлення та рафінування первинної міді (частина 1) 295
Таблиця 3.48: Дані про функціонування та ефективність щодо заводів з плавлення та рафінування первинної міді (частина 2) 296
Таблиця 3.49: Дані про функціонування та ефективність щодо заводів з плавлення та рафінування вторинної міді 297
Таблиця 3.50: Актуальні параметри централізованої системи уловлювання та зниження викидів газу на підприємстві Aurubis, Гамбург 300
Таблиця 3.51: Актуальні параметри централізованої системи уловлювання та зниження викидів газу на підприємстві Aurubis, Пирдоп 301
Таблиця 3.52: Викиди від централізованої системи уловлювання та зниження викидів газу на підприємстві Boliden, Гар'явалта 302
Таблиця 3.53: Типова характеристика вторинного рафінату на підприємстві Cobre Las Cruces 315
Таблиця 3.54: Дані про ефективність та функціонування для процесу виплавки вторинної міді (частина 1) 321
Таблиця 3.55: Дані про ефективність та функціонування для процесу виплавки вторинної міді (частина 2) 323
Таблиця 3.56: Викиди та інформація про функціонування щодо викидів NO_X у виробництві міді 330
Таблиця 3.57: Дані про функціонування та ефективність вторинних конвертерів 335
Таблиця 3.58: Технологія зменшення викидів під час некислотного та кислотного травлення мідної катанки та напівфабрикатів з міді та мідних сплавів 347
Таблиця 3.59: Дані про ефективність та функціонування щодо процесу вилучення свинцю та олова з проміжних продуктів із вторинної міді 349
Таблиця 3.60: Дані про ефективність та функціонування щодо обертової печі для свинцевого сплаву 350
Таблиця 3.61: Продуктивність установки з очищення відпрацьованих вод 354
Таблиця 3.62: Склад технологічних вод до та після очищення на підприємстві Aurubis, Пирдоп 355
Таблиця 3.63: Склад технологічних вод до та після очищення на підприємстві Aurubis, Гамбург 356
Таблиця 3.64: Склад поверхневих стоків зі східної території заводу та злитої води прямого охолодження на заводі з лиття анодів до та після обробки на підприємстві Aurubis, Гамбург 356
Таблиця 3.65: Склад поверхневих стоків з території заводу з виплавки вторинної міді, установок лиття у форми та заводу з рафінування свинцю до та після очищення на підприємстві Aurubis, Гамбург 357
Таблиця 3.66: Склад стічних вод після очищення на підприємстві Aurubis, Олен 358
Таблиця 3.67: Склад стічних вод після очищення на підприємстві Montanwerke Brixlegg 359
Таблиця 3.68: Склад відпрацьованих вод перед та після очищення на підприємстві Umicore, Хобокен 360
Таблиця 3.69: Склад стічних вод після очищення на підприємстві Metallo-Chimique, Берсе 361
Таблиця 3.70: Склад відпрацьованих вод після очищення у Легниці, Глогуві 1 і 2 362
Таблиця 3.71: Склад відпрацьованих вод перед та після очищення на підприємстві Atlantic Copper 363
Таблиця 3.72: Склад відпрацьованих вод перед очищенням та після нього на підприємстві Boliden, Гар'явалта 364
Таблиця 3.73: Склад стічних вод після очищення на підприємстві Boliden, Рьоннскяр 364
Таблиця 3.74: Склад стічних вод після очищення на підприємстві Cobre Las Cruces 365
Таблиця 3.75: Проміжні продукти, залишки та відходи від процесу виробництва міді 367
Таблиця 3.76: Перспективні технології плавки у рідкій ванні 375
Таблиця 4.1: Порівняння процесів обпалювання 380
Таблиця 4.2: Категорії виплавки алюмінію 386
Таблиця 4.3: Типовий склад сольового шлаку 390
Таблиця 4.4: Типовий вміст нерозчинної неметалічної частини сольового шлаку 391
Таблиця 4.5: Діапазони витрат для виробництва глинозему 392
Таблиця 4.6: Неочищені гази від виробництва анодів на заводі, пов'язаному із заводом з виплавки первинного алюмінію 394
Таблиця 4.7: Діапазони концентрації викидів для процесів виробництва анодів 395
Таблиця 4.8: Діапазони питомих показників викидів від виробництва попередньо обпалених анодів 395
Таблиця 4.9: Вхідні потоки для електролізу 398
Таблиця 4.10: Дані щодо споживання у ливарному цеху 398
Таблиця 4.11: Викиди у повітря з ливарних цехів з лиття первинного алюмінію 403
Таблиця 4.12: Значення потенційних викидів від виробництва первинного алюмінію 405
Таблиця 4.13: Загальні обсяги викидів (дах + димова труба) у повітря від заводів з виплавки первинного алюмінію з прямими викидами через вентиляційні отвори в атмосферу і без мокрого очищення 405
Таблиця 4.14: Загальні обсяги викидів (дах + димова труба) у повітря від заводів з виплавки первинного алюмінію з посиленою системою всмоктування (BSS) для газів електролізера (завод попереднього обпалювання) або мокрим очищенням газу з вентиляційних отворів даху (модернізований завод Сьодерберга) 405
Таблиця 4.15: Викиди SO_2 у повітря від заводів з виплавки первинного алюмінію з мокрим очищенням, що застосовується для газу з електролізерів 405

Таблиця 4.16: Технологічні викиди у воду від заводів з електролізу первинного алюмінію, що використовують мокрі скрубери для вентиляційного повітря або мокрі скрубери для SO_2 406
Таблиця 4.17: Склад відпрацьованого футерування електролізера 407
Таблиця 4.18: Варіанти зменшення відходів на заводі з виплавки первинного алюмінію 408
Таблиця 4.19: Питома кількість відходів від виробництва первинного алюмінію 408
Таблиця 4.20: Значущість потенційних викидів у повітря 410
Таблиця 4.21: Викиди пилу від виробництва вторинного алюмінію 411
Таблиця 4.22: Викиди ПХДД/Ф та ЗЛОС від виробництва вторинного алюмінію 412
Таблиця 4.23: Викиди NO_X (вимірювані як NO_2) від виробництва вторинного алюмінію 413
Таблиця 4.24: Викиди HCl, Cl_2 та HF від процесу виробництва вторинного алюмінію 413
Таблиця 4.25: Типові залишки виробництва вторинного алюмінію 414
Таблиця 4.26: Викиди від обробки знімання/дросу 416
Таблиця 4.27: Типовий склад пилу з фільтра у виробництві вторинного алюмінію 416
Таблиця 4.28: Діапазон типових заводських, технологічних параметрів та параметрів викидів (неочищений газ) заводів з виплавки алюмінію 418
Таблиця 4.29: Типові результаті процесу відновлення сольового шлаку 420
Таблиця 4.30: Уловлені викиди повітря та пилу від заводів з перероблення сольового шлаку 421
Таблиця 4.31: Викиди від заводів з обпалювання глинозему 425
Таблиця 4.32: Діапазон викидів пилу під час поводження, зберігання та транспортування сировини 430
Таблиця 4.33: Викиди від видалення коксового пилу 432
Таблиця 4.34: Викиди від процесів очищення пеку 433
Таблиця 4.35: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою глиноземного скрубера та рукавного фільтра на Заводі E 436
Таблиця 4.36: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою глиноземного скрубера та рукавного фільтра на заводі в Германії 437
Таблиця 4.37: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою глиноземного скрубера та рукавного фільтра на заводі у Франції 438
Таблиця 4.38: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою мокрого скрубера в поєднанні з сухим інжекційним очищенням на комбінованому заводі з виробництва анодів та алюмінію 439
Таблиця 4.39: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою мокрого скрубера в поєднанні з електростатичним фільтром і сухим скрубером на комбінованому заводі з виробництва анодів та алюмінію 439
Таблиця 4.40: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою РТО у поєднанні з мокрим скрубером з морською водою та електростатичним фільтром 440
Таблиця 4.41: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою РТО на автономних заводах з виробництва анодів (частина 1) 441
Таблиця 4.42: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою РТО на автономних заводах з виробництва анодів (частина 2) 441
Таблиця 4.43: Відхідні гази, уловлені для обробки та вентиляційний повітряний потік на декількох європейських заводах з виробництва первинного алюмінію 447
Таблиця 4.44: Викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів з заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри 449
Таблиця 4.45: Викиди пилу з димових труб (концентрації) від заводу, що використовує камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, протягом 2013 року 450
Таблиця 4.46: Викиди пилу з димових труб (концентрації) від заводу, що використовує камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, протягом 2012 року 450
Таблиця 4.47: Викиди пилу з димових труб (концентрації) від заводу, що використовує камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, протягом 2011 року. 450
Таблиця 4.48: Викиди пилу з димових труб (масове навантаження) з Заводу UK 1 протягом 2012 року. 451
Таблиця 4.49: Викиди пилу з димових труб (концентрації) від німецьких заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри 451
Таблиця 4.50: Викиди HF з димових труб (концентрації) від німецьких заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри 451
Таблиця 4.51: Викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів з заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери, рукавні фільтри та мокрі скрубери 452
Таблиця 4.52: Викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів з заводів, що використовують камери Сьодерберга, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри 453

Таблиця 4.53: Викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів з заводу, що використовує камери Сьодерберга, де застосовується глиноземний скрубер, рукавний фільтр та мокрий скрубер 453
Таблиця 4.54: Загальні викиди пилу та фторидів (з димової труби та даху) від заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують глиноземний скрубер та рукавний фільтр у димовій трубі 454
Таблиця 4.55: Загальні викиди пилу та фторидів (з димової труби та даху) від заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують мокрий скрубер на додаток до глиноземного скрубера та рукавного фільтра 455
Таблиця 4.56: Викиди пилу та HF з дахів німецьких заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри 455
Таблиця 4.57: Викиди SO_2 з димових труб із заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де використовуються аноди з низьким вмістом сірки (але без використання мокрого скрубера) 457
Таблиця 4.58: Викиди SO_2 з димових труб із заводів, що використовують камери Сьодерберга, де використовуються аноди з низьким вмістом сірки (але без використання мокрого скрубера) 458
Таблиця 4.59: Загальні викиди SO_2 (з димової труби та даху) з заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують аноди з низьким вмістом сірки (але без використання мокрого скрубера) 458
Таблиця 4.60: Викиди SO_2 від заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовується мокрий скрубер на додаток до глиноземного скрубера і рукавного фільтра 460
Таблиця 4.61: Викиди SO_2 (з димових труб та даху) від заводу, що використовує камери Сьодерберга, де застосовується мокрий скрубер на додаток до глиноземного скрубера і рукавного фільтра 460
Таблиця 4.62: Загальні викиди SO_2 (з димової труби та даху) від заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують мокрий скрубер на додаток до глиноземних скруберів та рукавних фільтрів 461
Таблиця 4.63: Викиди від транспортування та завантаження матеріалів для виробництва вторинного алюмінію 464
Таблиця 4.64: Викиди пилу на етапі помелу у виробництві вторинного алюмінію 466
Таблиця 4.65: Викиди із сушарок для стружки 467
Таблиця 4.66: Переваги та недоліки печей плавлення вторинного металу 472
Таблиця 4.67: Викиди в процесі плавлення на австрійському заводі 478
Таблиця 4.68: Викиди ЗЛОС, що вимірюються безперервно, на заводі з виробництва вторинного алюмінію 479
Таблиця 4.69: Викиди HCl, Cl_2 та HF від процесу обробки розплавленого металу у виробництві вторинного алюмінію 485
Таблиця 4.70: Викиди пилу на Об'єкті 1 487
Таблиця 4.71: Викиди пилу на Об'єкті 2 487
Таблиця 4.72: Викиди пилу на Об'єкті 3 та Об'єкті 4 488
Таблиця 4.73: Викиди пилу на етапах дроблення та сухого помелу сольового шлаку 496
Таблиця 4.74: Викиди від млина мокрого помелу після фільтру з активованим вугіллям 498
Таблиця 4.75: Викиди від дроблення, вилуговування, фільтрування та промивання сольового шлаку 500
Таблиця 5.1: Діапазони вмісту основних компонентів свинцевого концентрату 503
Таблиця 5.2: Короткий огляд процесів прямої виплавки 505
Таблиця 5.3: Сировина, яка використовується в різних процесах прямої виплавки 505
Таблиця 5.4: Склад типового брухту свинцево-кислотних акумуляторів 506
Таблиця 5.5: Дані про вхідні та вихідні потоки для печі Ausmelt/ISASMELT 514
Таблиця 5.6: Дані про вхідні та вихідні потоки для заводу QSL 514
Таблиця 5.7: Дані про вхідні та вихідні потоки для заводу з відновлення акумуляторів з десульфуризацією (підготовка та обертова піч прискореної дії) 515
Таблиця 5.8: Дані про вхідні та вихідні потоки для заводу з відновлення акумуляторів із плавленням всього акумулятора (шахтна піч) 515
Таблиця 5.9: Потреби в енергії для різних процесів виробництва свинцю 516
Таблиця 5.10: Значущість потенційних викидів у повітря від виробництва свинцю 517
Таблиця 5.11: Значущість дифузних викидів 518
Таблиця 5.12: Утворення діоксиду сірки у кількох процесах виробництва свинцю 519
Таблиця 5.13: Масовий викид металів від деяких європейських процесів 520
Таблиця 5.14: Типові стічні води від процесу газоочищення перед обробкою 522
Таблиця 5.15: Типові результати аналізу стічних вод 523
Таблиця 5.16: Потенційні джерела стічних вод та технології очищення 524
Таблиця 5.17: Твердий матеріал від процесу рафінування свинцевих виливків 525
Таблиця 5.18: Залишки від процесу виробництва свинцю 526
Таблиця 5.19: Залишки від процесів прямої виплавки свинцю 527
Таблиця 5.20: Викиди пилу від попередньої обробки матеріалу 531
Таблиця 5.21: Викиди від сушіння матеріалу у Metallo-Chimique, Берсе 534

Таблиця 5.22: Викиди від сушіння матеріалу на підприємстві Aurubis у Гамбурзі 534
Таблиця 5.23: Викиди від процесу сушіння у виробництві первинних та вторинних свинцю та олова 535
Таблиця 5.24: Викиди у повітря в результаті підготовки акумуляторів 539
Таблиця 5.25: Викиди у воду в результаті підготовки акумуляторів на Заводі 5 540
Таблиця 5.26: Викиди від обертових печей, до яких подається десульфурована сировина 543
Таблиця 5.27: Викиди з печі на Заводі 8 546
Таблиця 5.28: Викиди SO_2 на установці з виробництва мокрої сірчаної кислоти на новому заводі з виробництва свинцю КСМ у Пловдиві 547
Таблиця 5.29: Вторинні викиди в електричної печі на Заводі 18. 550
Таблиця 5.30: Вторинні викиди з печей на Заводі 17. 550
Таблиця 5.31: Викиди пилу з установки для боротьби з дифузними викидами у Metallo-Chimique.. 553
Таблиця 5.32: Викиди пилу та SO_2 після системи «house-in-house» та рукавного фільтра з вдуванням вапна 554
Таблиця 5.33: Вторинні викиди з електричної печі з рукавним фільтром 555
Таблиця 5.34: Викиди пилу та металів від Заводів 6, 15 та 19 555
Таблиця 5.35: Приклад викидів пилу від печей з виплавки вторинного металу 558
Таблиця 5.36: Приклад викидів пилу металоплавильної печі ISASMELT та доменної печі для виробництва вторинного свинцю та олова на заводі Umicore, Хобокен 558
Таблиця 5.37: Викиди пилу та металів із печей для виробництва вторинного свинцю 560
Таблиця 5.38: Дані про продуктивність для прикладів заводів 566
Таблиця 5.39: Викиди SO_2 із заводів з виробництва вторинного свинцю та олова в ЄС-28 567
Таблиця 5.40: Дані про ефективність шахтної печі з допалювачем 571
Таблиця 5.41: Викиди від допалювачів у виробництві вторинного свинцю та олова 571
Таблиця 5.42: Викиди загального C та BaP у головній димовій трубі 573
Таблиця 5.43: Викиди ПХДД/Ф від печей з виробництва свинцю та олова 576
Таблиця 5.44: Викиди від процесу рафінування на заводі Metallo-Chimique у Берсе 580
Таблиця 5.45: Дані про викиди від рафінування та лиття 581
Таблиця 5.46: Викиди у воду від заводів з виробництва свинцю та олова 587
Таблиця 6.1: Витрати основних реагентів та комунальних послуг у модифікованому процесі Modified Zincex™ 615
Таблиця 6.2: Типові дані для німецького заводу, що застосовує процес RLE, з додаванням вторинної сировини 634
Таблиця 6.3: Типовий склад сировини та продуктів для заводу для виробництва цинку, що застосовує процес RLE, з додаванням вторинної сировини 635
Таблиця 6.4: Дані про вхідні та вихідні потоки для заводу, що використовує процес Вельца та процес SDHL 635
Таблиця 6.5: Дані про вхідні та вихідні потоки для процесу промивання оксиду процесу Вельца . 635
Таблиця 6.6: Матеріальний баланс процесу плазмово-дугового випарювання 636
Таблиця 6.7: Середній обсяг цинку та витратних матеріалів 636
Таблиця 6.8: Потреби в енергії для різних процесів виробництва цинку 637
Таблиця 6.9: Значущість потенційних викидів у повітря від виробництва цинку та кадмію 638
Таблиця 6.10: Викиди у повітря від різних заводів, що застосовують процес RLE, у Європі 638
Таблиця 6.11: Утворення діоксиду сірки у кількох процесах виробництва цинку 639
Таблиця 6.12: Масові викиди металів на деяких заводах з виробництва первинного та вторинного цинку в Європі 641
Таблиця 6.13: Типові стічні води від процесу газоочищення перед обробкою 643
Таблиця 6.14: Типові результати аналізу стічних вод 644
Таблиця 6.15: Потенційні джерела стічних вод та технології очищення 644
Таблиця 6.16: Залишки від процесів виробництва цинку 646
Таблиця 6.17: Приклади складу різних типів залишків 647
Таблиця 6.18: Споживання енергії у процесі рафінування цинку в залежності від процесу обробки залишку, що застосовується 648
Таблиця 6.19: Значення елюату гранульованого шлаку печі ISF 648
Таблиця 6.20: Значення елюату для кислого шлаку процесу Вельца 649
Таблиця 6.21: Викиди пилу від підготовки сировини та печі для випалювання 653
Таблиця 6.22: Видалення пилу в секції сухого очищення газу установки з випалювання (решітка ~ 120 $м^2$) перед секцією мокрого очищення газу 654
Таблиця 6.23: Зниження викидів пилу в системі мокрого очищення газу перед перетворенням на установці з виробництва H_2SO_4 654
Таблиця 6.24: Дані про викиди установки для випалювання під час помелу, транспортування та зберігання обпаленого продукту 657
Таблиця 6.25: Дані про викиди з відстійника за умови вилуговування нейтральним розчинником з краплевловлювачем і без нього 661
Таблиця 6.26: Дані про викиди від вентиляції резервуарів для вилуговування 661
Таблиця 6.27: Дані про викиди від прямого вилуговування 662
Таблиця 6.28: Дані про викиди від процесу з ярозитом на Заводі A 662
Таблиця 6.29: Дані про викиди в процесі очищення 665
Таблиця 6.30: Дані про викиди від холодильників, що використовують зовнішнє повітря, у процесі очищення 665

Таблиця 6.31: Дані викидів від охолодження електроліту з використанням зовнішнього повітря.....667
Таблиця 6.32: Дані про викиди від вентиляції будівлі цеху електролізу 669
Таблиця 6.33: Варіанти використання потоків рідких відходів процесу RLE.....672
Таблиця 6.34: Типові потоки відходів та залишки, що утворюються в процесі гідрометалургійного виробництва та обробки цинку 675
Таблиця 6.35: Склад залишку від вилуговування нейтральним розчинником 676
Таблиця 6.36: Склад оксиду процесу Вельца після обробки залишків вилуговування.....677
Таблиця 6.37: Склад шлаку процесу Вельца від обробки залишків вилуговування 677
Таблиця 6.38: Викиди від процесу роботи вельц-печі 678
Таблиця 6.39: Критерії прийнятності відходів для полігонів захоронення для нешкідливих відходів та типові результати випробувань відходів процесу Jarofix відповідно до Рішення Ради 2003/33/ЄС 681
Таблиця 6.40: Критерії прийнятності відходів для полігонів для захоронення шкідливих відходів та типові результати для сульфідованих відходів (ярозит та залишок сірки) 683
Таблиця 6.41: Критерії випробувань на вилуговування та отримані результати для ущільнених залишків заліза 685
Таблиця 6.42: Викиди після очищення за допомогою скруберів Вентурі на пірометалургійному виробництві цинку 689
Таблиця 6.43: Викиди після очищення за допомогою рукавних фільтрів у пірометалургійному виробництві цинку 690
Таблиця 6.44: Викиди після очищення за допомогою напівсухого скрубера відхідних газів з низьким вмістом SO_2 у пірометалургійному виробництві цинку.....691
Таблиця 6.45: Викиди з фільтра з активованим вугіллям на заводі N.....693
Таблиця 6.46: Основні газоподібні компоненти процесу плазмово-дугового випарювання 695
Таблиця 6.47: Основні газоподібні компоненти процесу випарювання цинку 696
Таблиця 6.48: Дані щодо викидів димової труби в повітря з вельц-печей на окремих заводах.....699
Таблиця 6.49: Викиди у повітря, пов'язані з процесом SDHL до та після перетворення 700
Таблиця 6.50: Ефект промивання оксиду процесу Вельца 704
Таблиця 6.51: Відпрацьована вода від процесу промивання оксиду процесу Вельца 704
Таблиця 6.52: Відпрацьована вода від процесу промивання оксиду процесу Вельца 705
Таблиця 6.53: Дифузні та контрольовані викиди у процесах гідрометалургійного виробництва цинку 706
Таблиця 6.54: Викиди від плавлення та лиття цинку на заводах з рафінування цинку (частина 1)....708
Таблиця 6.55: Викиди від плавлення та лиття цинку на заводах з рафінування цинку (частина 2)....708
Таблиця 6.56: Викиди від виробництва цинкового пилу 709
Таблиця 6.57: Викиди від помелу цинкового дросу на заводах з рафінування цинку 711
Таблиця 6.58: Викиди у воду від заводів, що застосовують процес RLE (частина 1).....716
Таблиця 6.59: Викиди у воду від заводів, що застосовують процес RLE (частина 2).....717
Таблиця 6.60: Викиди у воду від заводу, що використовує піч ISF 717
Таблиця 6.61: Викиди у воду під час виробництва вторинного цинку з використанням вилучення розчинником.....718
Таблиця 6.62: Розподіл вихідного потоку кадмію на європейських заводах з рафінування цинку 724
Таблиця 6.63: Викиди від плавильних печей, печей для переплавлення, легування, печей витримки та ливарних печей для обробки кадмію 725
Таблиця 7.1: Категорії гомогенізації сировини.....729
Таблиця 7.2: Значущість потенційних викидів у повітря з основних джерел виробництва дорогоцінних металів 741
Таблиця 7.3: Питомі викиди у повітря від низки процесів виробництва дорогоцінних металів.....742
Таблиця 7.4: Концентрації викидів у повітря від трьох різних процесів виробництва дорогоцінних металів 743
Таблиця 7.5: Уловлені викиди у повітря від двох заводів із виробництва дорогоцінних металів для різних етапів процесу 743
Таблиця 7.6: Джерела потенційних викидів у воду від виробництва дорогоцінних металів 744
Таблиця 7.7: Викиди у воду від п'яти великих заводів 744
Таблиця 7.8: Викиди у воду від двох заводів із виробництва дорогоцінних металів 745
Таблиця 7.9: Приклад кількості відходів осаду з фільтра.....745
Таблиця 7.10: Викиди пилу на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 221.....747
Таблиця 7.11: Викиди пилу на дільниці дроблення шлаку на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 117 748
Таблиця 7.12: Викиди пилу на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 221.....750
Таблиця 7.13: Викиди пилу на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 2426.....750
Таблиця 7.14: Викиди від обертової печі Заводу з виробництва дорогоцінних металів 112 751
Таблиця 7.15: Викиди на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 117 754
Таблиця 7.16: Викиди із центральної системи вентиляції Заводу з виробництва дорогоцінних металів 117 755
Таблиця 7.17: Викиди пилу від вторинних газів на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 121756
Таблиця 7.18: Викиди пилу з кількох джерел (купеляційна піч та вторинні гази) на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 121 756
Таблиця 7.19: Викиди пилу на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 27.....757
Таблиця 7.20: Викиди пилу на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 219.....757

Таблиця 7.21: Викиди з технологічних газів на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 2113 ... 757
Таблиця 7.22: Викиди з вентиляційного повітря будівлі на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 2113 ... 758
Таблиця 7.23: Викиди від процесів очищення у скрубері на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 221 ... 766
Таблиця 7.24: Викиди на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 2113 ... 767
Таблиця 7.25: Викиди від процесів очищення у скрубері на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 113 ... 767
Таблиця 7.26: Викиди від процесів очищення у скрубері на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 112 ... 768
Таблиця 7.27: Викиди від спалювання сміття від підмітання на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 112 ... 771
Таблиця 7.28: Викиди від спалювання відпрацьованого каталізатора на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 102 ... 773
Таблиця 7.29: Викиди у воду на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 221 ... 775
Таблиця 7.30: Концентрація кінцевого фільтрату, отриманого на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 221 ... 775
Таблиця 7.31: Викиди у воду на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 113 ... 776
Таблиця 7.32: Викиди у воду на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 117 ... 776
Таблиця 7.33: Викиди у воду на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 1019 ... 777
Таблиця 7.34: Викиди у воду на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 205 ... 778
Таблиця 8.1: Сировина для виробництва феросиліцію, металевого кремнію та силікокальцію ... 791
Таблиця 8.2: Утворення дрібних часток через вільне падіння ... 791
Таблиця 8.3: Типові кількості оксидів металів у вторинній сировині ... 812
Таблиця 8.4: Короткий огляд плавильних систем, що використовуються у феросплавній промисловості ... 816
Таблиця 8.5: Дані про валове споживання для виробництва ферохрому у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну виробленого сплаву ... 820
Таблиця 8.6: Дані про споживання для відновлення феросплавів із залишків зі сталеливарного заводу у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну відновленого металу ... 821
Таблиця 8.7: Дані про споживання для виробництва феросиліцію, кремнію та силікокальцію у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну виробленого сплаву ... 821
Таблиця 8.8: Дані про споживання для виробництва спеку марганцевої руди, феромарганцю та силікомарганцю у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну виробленого сплаву ... 822
Таблиця 8.9: Дані про споживання для виробництва сплавку феронікелю у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну виробленого сплаву ... 823
Таблиця 8.10: Дані про споживання для виробництва спеціальних феросплавів у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну виробленого сплаву ... 823
Таблиця 8.11: Викиди пилу від виробництва ферохрому з розрахунку на виробництво однієї тонни сплаву ... 825
Таблиця 8.12: Викиди пилу від виробництва феросиліцію та металевого кремнію з розрахунку на виробництво однієї тонни сплаву ... 826
Таблиця 8.13: Викиди пилу від виробництва феромарганцю та силікомарганцю з розрахунку на виробництво однієї тонни сплаву ... 827
Таблиця 8.14: Викиди пилу у повітря (після очищення) від виробництва феросплавів ... 827
Таблиця 8.15: Викиди феронікелю у повітря ... 828
Таблиця 8.16: Джерела викидів феронікелю ... 828
Таблиця 8.17: Викиди від виробництва феровanадія та феромолібдену ... 828
Таблиця 8.18: Викиди у повітря (після очищення) під час виробництва феросплавів масового застосування ... 831
Таблиця 8.19: Викиди металів від виробництва феромарганцю та силікомарганцю ... 832
Таблиця 8.20: Викиди у повітря від виробництва первинного феронікелю ... 832
Таблиця 8.21: Характеристика викидів у повітря від виробництва первинного феронікелю ... 833
Таблиця 8.22: Викиди від процесу виробництва вторинних феросплавів ... 833
Таблиця 8.23: Викиди у воду від відновлення феросплавів із залишків зі сталеливарного заводу з використанням процесу плазмової обробки пилу з мокрим скрубером з подальшим застосуванням мокрого електростатичного фільтра як методу усунення забруднення довкілля ... 835
Таблиця 8.24: Викиди у воду від випалювання молібденіту та феромолібдену на одному заводі ... 835
Таблиця 8.25: Утворення, перероблення, повторне використання та скидання феросплавного шлаку ... 836
Таблиця 8.26: Утворення, перероблення, повторне використання та скидання пилу та осаду із системи боротьби з викидами у повітря ... 838
Таблиця 8.27: Ефективність регенерації енергії для печей для виробництва кремнію та феросиліцію ... 840
Таблиця 8.28: Огляд регенерації енергії у норвезькій феросплавній промисловості ... 841
Таблиця 8.29: Повторне використання енергії під час виробництва феросплавів масового застосування ... 841

Таблиця 8.30: Викиди пилу від приймання, поводження та зберіганні первинних матеріалів 843
Таблиця 8.31: Викиди пилу від дроблення та подрібнення сировини 844
Таблиця 8.32: Викиди пилу від дозування, змішування та усереднення 845
Таблиця 8.33: Викиди від брикетування, гранулювання та спікання 847
Таблиця 8.34: Викиди від відкритих печей із зануреною дугою (концентрації) 854
Таблиця 8.35: Викиди від відкритих печей із зануреною дугою (масове навантаження) 856
Таблиця 8.36: Викиди від напівзакритих дугових печей із зануреною дугою, де використовуються рукавні фільтри 858
Таблиця 8.37: Викиди від напівзакритих дугових печей із зануреною дугою, де використовуються рукавні фільтри з введенням адсорбенту 859
Таблиця 8.38: Викиди від закритих дугових печей з зануреною дугою, де використовуються мокрі скрубери (концентрації) 861
Таблиця 8.39: Викиди від закритих дугових печей з зануреною дугою, де використовуються мокрі скрубери (масове навантаження) 862
Таблиця 8.40: Кореляція між концентраціями та масовими навантаженнями на заводах, що використовують закриті печі 862
Таблиця 8.41: Викиди від закритих дугових електропечей із зануреною дугою, що використовують мокрі скрубери з подальшим застосуванням технологій боротьби з викидами ртуті 863
Таблиця 8.42: Викиди від закритих дугових печей із зануреною дугою, де використовуються рукавні фільтри 863
Таблиця 8.43: Викиди від закритого процесу плазмової обробки пилу 865
Таблиця 8.44: Викиди з тиглів з вогнетривкою футерівкою 868
Таблиця 8.45: Походження пилу в процесі 869
Таблиця 8.46: Викиди пилу під час випускання 872
Таблиця 8.47: Викиди пилу від лиття 874
Таблиця 8.48: Вилучення дуже дрібних продуктів на дробильно-сортувальній станції заводу з виробництва ферохрому 875
Таблиця 8.49: Викиди пилу від зменшення розміру після печі 876
Таблиця 8.50: Викиди пилу від пакування 878
Таблиця 8.51: Викиди у воду від Заводу AB (ферохром) 881
Таблиця 8.52: Викиди у воду від Заводу AC (ферохром) 882
Таблиця 8.53: Викиди у воду від Заводу N (феросиліцій) 882
Таблиця 8.54: Викиди у воду від Заводу U (кремній) 883
Таблиця 8.55: Викиди у воду від Заводу V (кремній) 883
Таблиця 8.56: Викиди у воду від Заводу J (HC FeMn) 883
Таблиця 8.57: Викиди у воду від Заводу Z (HC FeMn) 884
Таблиця 8.58: Викиди у воду з Заводу K (LC FeMn + MC FeMn + SiMn) 884
Таблиця 8.59: Викиди у воду з Заводу M (FeMn + SiMn) 885
Таблиця 8.60: Викиди у воду з Заводу O (LC SiMn + LC FeMn + MC FeMn) 885
Таблиця 8.61: Викиди у воду з Заводу I (LC SiMn + HC SiMn) 886
Таблиця 8.62: Викиди у воду з Заводу Y (силікомарганець) 886
Таблиця 8.63: Викиди у воду з Заводу B (установка для випалювання молібденіту) 887
Таблиця 8.64: Викиди у воду з Заводу X (випалювання та виробництво феромолібдену) 887
Таблиця 8.65: Детальні характеристики ферохромового шлаку 889
Таблиця 8.66: Приклади регенерації тепла з напівзакритих печей 891
Таблиця 9.1: Склад деяких руд 897
Таблиця 9.2: Процеси, що використовуються в ЄС-28 899
Таблиця 9.3: Значущість потенційних викидів у повітря від виробництва кобальту та нікелю 913
Таблиця 9.4: Виробництво діоксиду сірки від деяких процесів виробництва нікелю та кобальту 914
Таблиця 9.5: Викиди пилу та металів з деяких процесів на європейських підприємствах 915
Таблиця 9.6: Викиди у повітря на деяких етапах виробництва кобальту 915
Таблиця 9.7: Значущість вторинного уловлювання диму та дифузних викидів 917
Таблиця 9.8: Типовий склад стічних вод з процесу газоочищення 918
Таблиця 9.9: Короткий огляд потенційних джерел стічних вод та варіантів очищення 919
Таблиця 9.10: Приклади аналізу стічних вод 919
Таблиця 9.11: Масові викиди нікелю на вироблену тонну для європейських процесів 920
Таблиця 9.12: Приклади складу різних типів залишків 920
Таблиця 9.13: Приклади складів типових нікелевих шлаків 921
Таблиця 9.14: Деякі варіанти обробки або повторного використання твердих залишків процесів виробництва нікелю та кобальту. 921
Таблиця 9.15: Викиди пилу від завантаження та транспортуванні на заводі з виробництва нікелю 923
Таблиця 9.16: Викиди від обертової сушарки на заводі з виробництва нікелю 926
Таблиці 9.17: Викиди від процесу DON 929
Таблиця 9.18: Викиди від дугової електричної печі 931
Таблиця 9.19: Викиди газу грануляції зі шлакової льотки та штейнової льотки 931
Таблиця 9.20: Викиди від атмосферного вилуговування та вилуговування під тиском на основі сульфатів 934
Таблиця 9.21: Викиди від атмосферного вилуговування та вилуговування під тиском з використанням газоподібного хлору 934
Таблиця 9.22: Викиди ЛОС від рафінування шляхом вилучення розчинником 935

Таблиця 9.23: Викиди пилу від процесу рафінування нікелевого штейну (хлорний спосіб) на Заводі B 936
Таблиця 9.24: Викиди від процесу електровідновлення 938
Таблиця 9.25: Викиди від карбонільного процесу 940
Таблиця 9.26: Викиди від процесів відновлення воднем у виробництві нікелевого порошку та брикетів 942
Таблиця 9.27: Викиди у воду від Заводу D 945
Таблиця 9.28: Викиди у воду від Заводу A 946
Таблиця 9.29: Викиди від Заводу C 947
Таблиця 9.30: Викиди від Заводу B 947
Таблиця 9.31: Викиди від Заводу E 948
Таблиця 9.32: Типові потоки відходів та залишків, що утворюються у виробництві нікелю на етапах плавки та рафінування 950
Таблиця 9.33: Викиди заводу з виробництва нікелю Kokkola 955
Таблиця 10.1: Огляд матеріалів та етапів процесу для вугільних та графітових продуктів 959
Таблиця 10.2: Загальноприйняті способи повідомлення про викиди ПАВ 970
Таблиця 10.3: Відносна значущість потенційних викидів у повітря від виробництва вуглецю та графіту 972
Таблиця 10.4: Викиди від коксу та вугілля, що обпалюється за допомогою електроенергії 972
Таблиця 10.5: Викиди від коксу та вугілля, що обпалюється за допомогою природного газу 972
Таблиця 10.6: Приклади діапазонів викидів для низки процесів виробництва вуглецю та графіту ... 973
Таблиця 10.7: Ступінь руйнування деяких ПАВ у РТО 974
Таблиця 10.8: Приклад викидів від РТО, що працюють у процесах випікання та повторного випікання вуглецю та графіту 975
Таблиця 10.9: Діапазон викидів на основі заводських даних від поводження, зберіганні та транспортуванні 978
Таблиця 10.10: Діапазон викидів на основі заводських даних для рукавного фільтра на етапі змішування та формування 981
Таблиця 10.11: Діапазон викидів на основі заводських даних для сухого скрубера на етапі змішування та формування 981
Таблиця 10.12: Діапазон викидів на основі заводських даних для фільтра з активованим коксом на етапі змішування та формування 981
Таблиця 10.13: Діапазон викидів на основі заводських даних для термічного окисника на етапі змішування та формування 981
Таблиця 10.14: Діапазон викидів на основі заводських даних для регенеративного термічного окисника на етапі змішування та формування 981
Таблиця 10.15: Діапазон викидів на основі заводських даних для поводження з коксовою засипкою 984
Таблиця 10.16: Діапазон викидів на основі заводських даних для електростатичного фільтра на етапі випікання 984
Таблиця 10.17: Діапазон викидів на основі заводських даних для термічного окисника на етапі випікання 984
Таблиця 10.18: Діапазон викидів на основі заводських даних для регенеративного термічного окисника на етапі випікання 985
Таблиця 10.19: Діапазон викидів на основі заводських даних для термічного окисника та мокрого скрубера на етапі випікання 985
Таблиця 10.20: Діапазон викидів на основі заводських даних для електростатичного фільтра та регенеративного термічного окисника на етапі випікання 985
Таблиця 10.21: Діапазон викидів на основі заводських даних для РТО та сухого скрубера на етапі випікання 985
Таблиця 10.22: Діапазон викидів на основі заводських даних для електростатичного фільтра та фільтра з активованим коксом на етапі випікання 986
Таблиця 10.23: Діапазон викидів на основі заводських даних для рукавного фільтра на етапі повторного випікання 986
Таблиця 10.24: Діапазон викидів на основі заводських даних для термічного окисника на етапі повторного випікання 986
Таблиця 10.25: Діапазон викидів на основі заводських даних для сухого скрубера на етапі просочення 989
Таблиця 10.26: Діапазон викидів на основі заводських даних для термічного окисника на етапі просочення 989
Таблиця 10.27: Діапазон викидів на основі заводських даних для біофільтра та біоскрубера на етапі просочення 990
Таблиця 10.28: Діапазон викидів на основі заводських даних для спеціальних процесів просочення 990
Таблиця 10.29: Діапазон викидів на основі заводських даних для рукавного фільтра на етапі графітизації 991
Таблиця 10.30: Діапазон викидів на основі заводських даних для мокрого скрубера на етапі графітизації 991
Таблиця 10.31: Діапазон викидів на основі заводських даних для рукавного фільтра на етапі механічної обробки 992
Таблиця 11.1: Рівні викидів ртуті в повітря, пов'язані з НДТ (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти) від пірометалургійного процесу з

використанням сировини, що містить ртуть 1009
Таблиця 11.2: Рівні викидів, пов'язані з НДТ, для прямих викидів у приймальне водоймище від виробництва міді, свинцю, олова, цинку (в тому числі стічних вод з етапу промивання у вельц-печі), кадмію, дорогоцінних металів, нікелю, кобальту та феросплавів 1012
Таблиця 11.3: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, у виробництві міді 1020
Таблиця 11.4: Рівні викидів у повітря ЗЛОС, пов'язані з НДТ, від піролітичної обробки мідної стружки, а також сушіння, плавки та плавлення вторинної сировини 1021
Таблиця 11.5: Рівні викидів ПХДД/Ф у повітря, пов'язані з НДТ, в результаті піролітичної обробки мідної стружки, плавки, плавлення, вогняного рафінування та конвертування у виробництві вторинної міді 1022
Таблиця 11.6: Рівні викидів SO_2 у повітря, пов'язані з НДТ (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2 або електростанції) від виробництва первинної та вторинної міді 1023
Таблиця 11.7: Рівні викидів пилу та BaP (як індикатора ПАВ) у повітря, пов'язані з НДТ, від змішувально-пресового відділення 1027
Таблиця 11.8: Рівні викидів пилу, BaP (як індикатора ПАВ) та фторидів у повітря, пов'язані з НДТ, від заводу для обпалювання на заводі з виробництва анодів, інтегрованого з заводом з виплавки первинного алюмінію 1027
Таблиця 11.9: Рівні викидів пилу, BaP (як індикатора ПАВ) та фторидів у повітря, пов'язані з НДТ, від заводу для обпалювання на автономному заводі з виробництва анодів 1028
Таблиця 11.10: Рівні викидів пилу, пов'язані з НДТ, від зберігання, поводження та транспортування сировини 1029
Таблиця 11.11: Рівні викидів пилу та фторидів у повітря, пов'язані з НДТ, від електролітичних камер 1030
Таблиця 11.12: Загальні обсяги викидів пилу та фторидів у повітря, пов'язані з НДТ, з цеху електролізу (вловлені з електролітичних камер та вентиляційних отворів на даху) . 1030
Таблиця 11.13: Рівні викидів пилу у повітря, пов'язані з НДТ, від плавлення, обробки розплавленого металу та лиття у виробництві первинного алюмінію 1031
Таблиця 11.14: Рівні викидів SO_2 у повітря, пов'язані з НДТ, від електролітичних камер 1031
Таблиця 11.15: Рівні викидів пилу, пов'язані з НДТ, від сушіння стружки та видаленні з неї мастила та органічних сполук, від дроблення, помелу та сухого відділення неметалевих компонентів та металів, крім алюмінію, а також від зберігання, поводження та транспортування у виробництві вторинного алюмінію 1034
Таблиця 11.16: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, в результаті процесів у печі, таких як завантаження, плавлення, випускання та обробка розплавленого металу у виробництві вторинного алюмінію. 1035
Таблиця 11.17: Рівні викидів пилу, пов'язані з НДТ, від переплавлення у виробництві вторинного алюмінію 1035
Таблиця 11.18: Рівні викидів ЗЛОС та ПХДД/Ф у повітря, пов'язані з НДТ, внаслідок термічної обробки забрудненої вторинної сировини (наприклад, стружки) та з плавильної печі 1036
Таблиця 11.19: Рівні викидів HCl, Cl_2 і HF у повітря, пов'язані з НДТ, в результаті термічної обробки забрудненої вторинної сировини (наприклад, стружки), плавильної печі, переплавлення та обробки розплавленого металу 1036
Таблиця 11.20: Рівні викидів пилу у повітря, пов'язані з НДТ, від дроблення та сухого помелу, пов'язаних із процесом відновлення сольового шлаку 1037
Таблиця 11.21: Рівні викидів газоподібних речовин у повітря, пов'язані з НДТ, від мокрого помелу та вилуговуванні від процесу відновлення сольового шлаку 1038
Таблиця 11.22: Рівні викидів пилу у повітря, пов'язані з НДТ, від підготовки сировини у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова 1041
Таблиця 11.23: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від підготовки акумуляторів (дроблення, просіювання та розділення) 1041
Таблиця 11.24: Рівні викидів пилу та свинцю в повітря, пов'язані з НДТ, (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2) від завантаження, виплавки та випускання у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова 1041
Таблиця 11.25: Рівні викидів пилу та свинцю в повітря, пов'язані з НДТ, від переплавлення, рафінування та лиття у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова 1042
Таблиця 11.26: Рівні викидів ЗЛОС у повітря, пов'язані з НДТ, від процесу сушіння та плавки сировини у виробництві вторинного свинцю та/або олова 1042
Таблиця 11.27: Рівні викидів ПХДД/Ф у повітря, пов'язані з НДТ, від виплавки сировини для виробництва вторинного свинцю та/або олова 1043
Таблиця 11.28: Рівні викидів SO_2 у повітря, пов'язані з НДТ, (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2) від завантаження, виплавки та випускання у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова 1044
Таблиця 11.29: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від поводження та зберігання сировини, підготовки сухої сировини для печі для випалювання, подання сухої

сировини в піч для випалювання та обробки обпаленого матеріалу 1047
Таблиця 11.30: Рівні викидів цинку та сірчаної кислоти в повітря, пов'язані з НДТ, від вилуговування, очищення та електролізу, а також викиди арсину та стибіну від очищення 1047
Таблиця 11.31: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, (крім тих, що прямуються на установку із виробництва сірчаної кислоти) від пірометалургійного виробництва цинку 1049
Таблиця 11.32: Рівні викидів SO_2в повітря, пов'язані з НДТ, (крім тих, що прямуються на установку із виробництва сірчаної кислоти) від пірометалургійного виробництва цинку 1049
Таблиця 11.33: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від гранулювання та обробки шлаку 1050
Таблиця 11.34: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків, а також від шлаковипарної печі та вельй-печі..... 1050
Таблиця 11.35: Рівні викидів ЗЛОС та ПХДД/Ф в повітря, пов'язані з НДТ, від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків, а також від шлаковипарної печі та вельц-печі 1050
Таблиця 11.36: Рівні викидів HCl та HF в повітря, пов'язані з НДТ, від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків, а також від шлаковипарної печі та вельй-печі 1051
Таблиця 11.37: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від плавлення, легування та лиття цинкових виливків та виробництва цинкового пилу..... 1052
Таблиця 11.38: Рівні викидів пилу та кадмію в повітря, пов'язані з НДТ, у пірометалургійному виробництві кадмію, а також від плавлення, легування та лиття кадмієвих виливків 1053
Таблиця 11.39: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від всіх операцій, що утворюють пил, таких як дроблення, просіювання, змішування, плавлення, виплавка, спалювання, обпалювання, сушіння та рафінування..... 1056
Таблиця 11.40: Рівні викидів NO_X в повітря, пов'язані з НДТ, від гідрометалургійної операції, що передбачає розчинення/вилуговування азотною кислотою 1057
Таблиця 11.41: Рівні викидів SO_2 в повітря, пов'язані з НДТ, (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти) від плавлення та виплавки для виробництва металу Доре, в тому числі від пов'язаних з цим операцій спалювання, обпалювання та сушіння..... 1057
Таблиця 11.42: Рівні викидів SO_2 в повітря, пов'язані з НДТ, від гідрометалургійної операції, в тому числі від пов'язаних з нею операцій спалювання, обпалювання та сушіння 1058
Таблиця 11.43: Рівні викидів HCl та Cl_2 в повітря, пов'язані з НДТ, від гідрометалургійної операції, в тому числі від пов'язаних з нею операцій спалювання, обпалювання та сушіння 1058
Таблиця 11.44: Рівні викидів NH_3 в повітря, пов'язані з НДТ, від гідрометалургійного виробництва з використанням аміаку або хлориду амонію 1058
Таблиця 11.45: Рівні викидів ПХДД/Ф у повітря, пов'язані з НДТ, від операції сушіння, коли сировина містить органічні сполуки, галогени або інші прекурсори ПХДД/Ф, операції спалювання, а також від операції обпалювання..... 1059
Таблиця 11.46: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, у виробництві феросплавів 1063
Таблиця 11.47: Рівні викидів ПХДД/Ф в повітря, пов'язані з НДТ, від печі для виробництва феросплавів..... 1063
Таблиця 11.48: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від поводження та зберігання сировини, процесів попередньої обробки матеріалів (таких як підготовка руди та сушіння руди/концентрату), завантаження печі, виплавки, конвертування, термічного рафінування та виробництва нікелевого порошку та брикетів під час обробки сульфідних руд 1066
Таблиця 11.49: Рівні викидів нікелю та хлору в повітря, пов'язані з НДТ, від процесів атмосферного вилуговування або вилуговування під тиском 1066
Таблиця 11.50: Рівні викидів нікелю в повітря, пов'язані з НДТ, від процесу рафінування нікелевого штейну з використанням хлориду заліза з хлором..... 1067
Таблиця 11.51: Рівні викидів пилу та BaP (як індикатора ПАВ) в повітря, пов'язані з НДТ, від зберігання, поводження та транспортування коксу та пеку, а також від механічних процесів (таких як подрібнення), графітизації та механічної обробки 1069
Таблиця 11.52: Рівні викидів пилу та BaP (як індикатора ПАВ) у повітря, пов'язані з НДТ, від виробництва зеленої пасти та зелених форм..... 1070
Таблиця 11.53: Рівні викидів пилу та BaP (як індикатора ПАВ) у повітря, пов'язані з НДТ, від випікання та повторного випікання..... 1070
Таблиця 11.54: Рівні викидів пилу та BaP (як індикатора ПАВ) у повітря, пов'язані з НДТ, від просочення..... 1071
Таблиця 11.55: Рівні викидів ЗЛОС у повітря, пов'язані з НДТ, від змішування, випікання та просочення..... 1071
Таблиця 12.1: Основні етапи процесу перегляду ДДНДТ для підприємств кольорової металургії. 1077
Таблиця 12.2: Протилежні думки 1079
Таблиця 13.1: Типові галузі застосування печей..... 1084
Таблиця 13.2: Печі для сушіння, випалювання, спікання та обпалювання..... 1112
Таблиця 13.3: Печі виплавки та конвертування 1113
Таблиця 13.4: Печі для плавлення 1114

Таблиця 13.5: Середньорічні концентрації металів в навколишньому повітрі комплексної промислової зони, що має завод з виплавки первинного цинку 1118
Таблиця 13.6: Концентрації деяких металів в PM_{10} у довкіллі на станціях відбору проб у Фландрії 1121
Таблиця 13.7: Деякі курси обміну валют 1125
Таблиця 13.8: Комплекси заводів з виплавки первинної міді та виробництва кислоти 1128
Таблиця 13.9: Проєкт Рьоннскяр 1129
Таблиця 13.10: Заводи з виплавки вторинної міді 1129
Таблиця 13.11: Заводи з електролітичного рафінування міді 1130
Таблиця 13.12: Завод з виробництва мідної катанки 1130
Таблиця 13.13: Процес виробництва свинцю 1132
Таблиця 13.14: Процес виробництва цинку 1132
Таблиця 13.15: Процес виробництв цинку та свинцю 1132
Таблиця 13.16: Залишки цинку 1133
Таблиця 13.17: Непряме охолодження газу 1133
Таблиця 13.18: Сухий електростатичний фільтр 1133
Таблиця 13.19: Рукавний фільтр 1134
Таблиця 13.20: Мокрий електростатичний фільтр 1134
Таблиця 13.21: Мокрий електростатичний фільтр 1135
Таблиця 13.22: Допалювач, реактор та рукавний фільтр 1136
Таблиця 13.23: Допалювач 1137
Таблиця 13.24: Мокра десульфуризація 1138
Таблиця 13.25: Напівсухий скрубер 1139
Таблиця 13.26: Фільтр з активованим вугіллям 1140
Таблиця 13.27: СКВ 1141
Таблиця 13.28: Сухий скрубер та рукавний фільтр 1143
Таблиця 13.29: Напівсухий скрубер та рукавний фільтр 1144
Таблиця 13.30: Напівсухий скрубер та рукавний фільтр 1145
Таблиця 13.31: Мокрий скрубер та електростатичний фільтр 1146
Таблиця 13.32: Напівсухий скрубер, вдування активованого вугілля та рукавний фільтр 1147
Таблиця 13.33: Економічна ефективність за методологією NeR 1148
Таблиця 13.34: Установка з виробництва сірчаної кислоти мідеплавильного заводу 1149
Таблиця 13.35: Установка з виробництва сірчаної кислоти 1150
Таблиця 13.36: Нейтралізація слабкої кислоти 1150

Сфера застосування

Ця Довідкова документація за найкращими доступними технологіями для підприємств кольорової металургії охоплює певні види промислової діяльності, зазначені в Розділі 2.5 і (б) Додатку I до Директиви 2010/75/ЄС, а саме:

"2.5. Обробка кольорових металів:
(a) виробництво чорнових кольорових металів із руди, концентратів або вторинної сировини за допомогою металургійної, хімічної або електролітичної обробки;
(b) плавлення, у тому числі легування, кольорових металів, у тому числі відновлених продуктів, та робота заводів із лиття кольорових металів із плавильною потужністю, що перевищує 4 тонни на день для свинцю та кадмію та 20 тонн на день для всіх інших металів."

Між виробництвом первинних і вторинних кольорових металів є багато спільного, а в деяких випадках неможливо розрізнити технології, що використовуються. У деяких випадках виробництво первинних кольорових металів передбачає включення вторинних сировинної сировини до загального виробничого процесу з метою збереження енергії, мінімізування витрат на виробництво та відновлення важливих матеріалів. Виробництво вторинних кольорових металів передбачає виробництво металу з вторинної сировини (в тому числі з брухту й металомістких матеріалів) та процес переплавлення та легування. Цей документ охоплює технології виробництва як первинних, так і вторинних кольорових металів. Видобуток та обробка руди на об'єктах гірничодобувної промисловості не розглядаються.

Виробництво вуглецевих і графітових анодів (Розділ 6.8 Додатку I до Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди (ДПВ)) включено через схожість частини процесу з виробництвом анодів на деяких алюмінієвих заводах як невіддільної частини виробничого процесу.

Діяльність відповідно до Розділу 2.1 Додатку I до Директиви про промислові викиди — випалювання та агломерація — розглядаються у двох частинах Додатку до цього документа:

- та, яка є частиною Розділу 2.5 (a) Процеси виробництва металу;
- де випалювання й агломерація здійснюються окремо, наприклад, випалювання сульфіду молібдену.

Виробництво радіоактивних металів виключено з цього документа. Виробництво таких компонентів як напівпровідники також виключено.

Існує взаємозв’язок із хімічним сектором, але є конкретні проблеми й розбіжності, які слід враховувати, якщо ці процеси пов’язані з виробництвом металу, або коли металовмісні сполуки виготовляються у якості побічних продуктів виробництва металу. До обсягу цієї роботи включено такі процеси.

- Виробництво оксиду цинку з випарів під час виробництва інших металів;
- Виробництво сполук нікелю з розчину під час виробництва металу.
- Виробництво силікокальцію (CaSi) і кремнію (Si) у тій самій печі, де здійснюється виробництво феросиліцію.
- Виробництво оксиду алюмінію з бокситів перед виробництвом первинного алюмінію. Це є невіддільною частиною виробництва металу на плавильному заводі, а тому включене до цього документа.
- Перероблення алюмінієвого сольового шлаку під час виробництва кольорових металів.

Прокатка, волочіння й обробка тиском кольорових металів, якщо вони безпосередньо пов’язані з виробництвом металу, включені до цього документа. Ливарні процеси не включені до цього документа й розглядаються в Довідковій документації за найкращими доступними технологіями в ковальському та ливарному виробництві [428, COM 2005]

На додаток до основних видів виробничої діяльності, цей документ охоплює відповідні види діяльності, які могли б мати вплив на викиди або забруднення довкілля. Отже, цей документ розглядає діяльність від підготовки сировини до відправки готової продукції.

Основні розглянуті операції:

- зберігання та підготовка сировини;
- зберігання та підготовка палива;
- виробничі процеси, тобто пірометалургійні та гідрометалургійні процеси;
- технології запобігання та зменшення викидів;
- продукція, зберігання та підготовка.

Слід зазначити, що у 2000 році для промислових секторів, охоплених Довідковою документацією за найкращими доступними технологіями для підприємств кольорової металургії 2001 р., дані були зібрані щодо ЄС-15. Крім того, у 2008 і у 2012 роках інформація й дані були оновлені для ЄС-27 у міру можливості.

Інша довідкова документація, актуальна для діяльності, що охоплюється цим документом:

Довідкова документація	Діяльність
Енергоефективність (ENE)	Загальна енергоефективність
Загальні системи обробки/управління відпрацьованими водами та газами в хімічному секторі (CWW)	Методи очищення відпрацьованих вод для зменшення викидів металів у воду
Неорганічна хімічна промисловість у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива (LVIC-AAF)	Виробництво сірчаної кислоти
Промислові системи охолодження (ICS)	Промислові системи охолодження, наприклад, градирні, пластинчасті теплообмінники
Викиди зі складів (EFS)	Зберігання та поводження з матеріалами
Економічні та міжсередовищні наслідки (ECM)	Економічні та міжсередовищні наслідки в результаті застосування технологій
Моніторинг викидів у повітря і воду з установок, на які поширюється дія Директиви про промислові викиди (ROM)	Моніторинг викидів у повітря і воду
Перероблення відходів (WT)	Поводження з відходами та їх обробка
Великі спалювальні установки (LCP)	Генерація пари та енергії за допомогою спалювальних установок із номінальною тепловою потужністю 50 МВт теплової енергії
Поверхнева обробка за допомогою органічних розчинників (STS)	Безкислотне травлення мідної катанки, мідних напівфабрикатів і мідного сплаву
Поверхнева обробка металів та пластмас (STM)	Кислотне травлення мідної катанки, мідних напівфабрикатів і мідного сплаву

Сфера застосування цього документа не включає питання, які стосуються тільки безпеки на робочому місці або безпечності продукції, тому що ці питання не регулюються Директивою. Ці питання розглядаються тільки у випадках, коли вони впливають на питання в межах застосування Директиви.

1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

1.1 Огляд галузі

Європейська кольорова металургія має більшу економічну і стратегічну важливість, ніж свідчать статистичні дані про зайнятість, капітал та оборот. Наприклад, мідь високої чистоти має важливе значення для генерації та розподілу електроенергії, а невелика кількість нікелю покращує корозійну стійкість сталі.

Отже, кольорові метали і їхні сплави посідають центральне місце в сучасному житті, і від них залежить багато розробок у сфері високих технологій, зокрема, у генерації енергії, обчислювальній, електронній, телекомунікаційній і транспортній галузях.

1.1.1 Кольорові метали та сплави

Усі кольорові метали, розглянуті в цьому документі, мають свої індивідуальні властивості й галузі застосування. Однак, у низці випадків, наприклад, із міддю та алюмінієм, сплави мають більше галузей застосування, ніж чисті метали, тому що вони можуть бути виготовлені в такий спосіб, щоби забезпечувати певну міцність, ударну в'язкість тощо для задоволення вимог до конкретних сфер застосування.

Метали за своєю природою добре піддаються переробці та можуть раз за разом перероблятися без втрати своїх властивостей. Отже, вони роблять значний внесок у сталий розвиток. Зазвичай неможливо відрізнити рафінований метал, який був виготовлений із первинної сировини, від металу, виготовленого зі вторинної сировини (наприклад, брухту).

1.1.2 Сфера діяльності галузі

Продукція промисловості одержується з різноманітної первинної та вторинної сировини. Первинна сировина отримується з руд, які добуваються, а потім обробляються, наприклад, промиваються та відсаджуються, щоби скоротити кількість відходів, перш ніж вони будуть оброблені металургійним шляхом для отримання чорнового металу. Обробка руд здійснюється поряд з об'єктами гірничодобувної промисловості, як усе частіше і виробництво металу. Вторинною сировиною є відповідний брухт та інші відходи.

Більшість металевих концентратів імпортується до Європи з різних джерел по всьому світу. Неможливо переоцінити важливість використання вторинної сировини, такої як брухт і інші відходи. Метал, що перероблюється, є важливим компонентом постачання сировини у промисловості.

У мідній промисловості вторинна сировина застосовується у виробництві приблизно 40% міді ЄС, але в деяких випадках, таких як виробництво латунних прутків, продукт зроблений повністю з переробленої міді та латуні з лише невеликим введенням первинного цинку. Коли мідні катоди виробляються з перероблених матеріалів, економиться приблизно 650 000 тонн CO_2, оскільки конкретні прямі викиди на заводах із виплавки вторинних металів у чотири рази нижче, ніж на заводах із виплавки первинних металів.

В алюмінієвій промисловості виробництво й переробка вторинного алюмінію також значно менш вибагливі з погляду енергоспоживання, при цьому споживання на кілограм виробленого алюмінію (Al) складає приблизно 5 % відсотків енергії, необхідної для виробництва первинного алюмінію.

Продукцією промисловості є або рафінований метал, або так звані напівфабрикати, тобто литі злитки з металу й металевих сплавів або форми, отримані в результаті обробки тиском, екструдовані форми, фольга, стрічки, прутки тощо.

Заводи лиття кольорових металів, які виробляють литі металеві вироби, не були включені до цього документа, але охоплені в Довідковій документації за найкращими доступними технологіями в ковальському та ливарному виробництві. Збір, сортування й постачання

вторинної сировини для промисловості належить до галузі переробки металу, що також не розглядається в цьому документі.

Попри явну суперечність у термінах, виробництво феросплавів, які переважно використовуються у якості лігатури в чорній металургії, вважається галуззю кольорової металургії. Їхні легуючі елементи, тобто тугоплавкі метали, хром, кремній, марганець і нікель — це все кольорові метали.

У межах цього документа промисловість дорогоцінних металів також вважається частиною кольорової металургії.

1.1.3 Структура галузі

Структура галузі варіюється залежно від металу. Не існує компаній, які виробляють усі або більшість кольорових металів, хоча є декілька загальноєвропейських компаній, які виробляють декілька металів, наприклад, мідь, свинець, цинк і кадмій.

Розміри компаній, які виробляють кольорові метали та сплави у Європі, варіюються від декількох компаній, які мають понад 5000 співробітників, до великої кількості компаній, у яких працює від 50 до 200 співробітників.

Форма власності варіюється від загальноєвропейських та національних металургійних груп, промислових холдингових груп, автономних державних компаній до приватних компаній.

1.1.4 Економіка галузі

Ключові статистичні дані європейської кольорової металургії, визначені в рамках цього документа:

- оборот: 120 мільярдів євро (77% виготовлення/перетворення, 21% рафінування, 2% видобуток);
- робочі місця (безпосередньо): 500 000 (безпосередньо) (> 2 мільйонів опосередковано);
- позиція на світовому ринку: 1/5 світового виробництва:
  - 30% від світової обробки першого етапу,
  - 22% від світового виробництва рафінованого металу,
  - 4% від світової гірничодобувної промисловості. [429, Eurometaux 2016]

Багато рафінованих кольорових металів є товарами міжнародного значення. Основні метали (алюміній, мідь, свинець, нікель, олово й цинк) торгуються на одному з двох ф'ючерсних ринків, Лондонській біржі металів або біржі COMEX у Нью-Йорку. На додаток до Нью-Йоркської товарної біржі (NYMEX), дорогоцінні метали також можуть торгуватися на Лондонському ринку дорогоцінних металів (LBMA), Токійській товарній біржі (TOCOM), Цюрихському золотому пулі, Дубайському багатотоварному центрі (DMCC) і в компанії Bullion Vault. У сукупності іменовані «малі» метали не мають центрального ринку; рівні цін призначаються або виробниками, або торговцями на вільному ринку. У більшості галузей застосування той чи інший кольоровий метал конкурує з іншими матеріалами, особливо з керамікою, пластмасами та іншими чорними й кольоровими металами.

Рентабельність кожного металу або групи металів, і, відповідно, економічна життєздатність промисловості як абсолютна, так і короткострокова, залежить від широкого круга економічних факторів, таких як узгоджена плата за обробку (збагачення та переробку), яка застосовується в деяких секторах між об'єктом гірничодобувної промисловості та заводом.

Однак, застосовується загальне економічне правило, тобто чим більше матеріал або продукт відповідає умовам світового ринку і статусу товару міжнародного значення, тим нижче прибуток на вкладений капітал.

1.1.5 Екологічна ефективність

За останні 30 років із моменту прийняття Директиви 84/360/ЄЕС про боротьбу із забрудненням повітря промисловими підприємствами спостерігається неухильне зростання екологічної ефективності та енергоефективності промисловості.

Коефіцієнт переробки у галузі дуже високий. Метали часто виробляються з меншими затратами на енергію з використанням маршрутів переробки. Наприклад, виплавка вторинної міді в порівнянні з плавкою первинної міді виділяє в 4 рази менше діоксиду вуглецю, споживає в 3 рази менше електроенергії й у 2,5 раза менше палива для спалювання. Однак, для захисту довкілля й підвищення енергоефективності потребуються додаткові зусилля з переробки низькоякісних металомістких відходів.

1.2. Мідь і її сплави

1.2.1 Загальна інформація

Мідь використовується вже багато століть; вона має дуже високу теплопровідність та електропровідність і є відносно стійкою до корозії. Використана мідь може бути перероблена без втрати якості. Мідь часто легується Zn, Sn, Ni, Al і іншими металами для виробництва різних марок латуні й бронзи [35, COM 1997].

У виробництві міді використовуються мідні катоди класу A, тобто 99,95% мідь (Cu). Найменування класу A походить зі словника Лондонської біржі металів для катодів і належить до Британського стандарту. Він був замінений стандартом Європейського комітету зі стандартизації EN 1978, де якість позначено як Cu CATH1 або CR001A у новій абетково-цифровій системі.

Максимально допустимі домішки у відсотках представлені у Таблиці 1.1:

Таблиця 1.1: Максимально допустимі домішки

Елемент/и	Відсоток (%)
Ag	0,0025
As	0,0005
Bi	0,00020
Fe	0,0010
Pb	0,0005
B	0,0015
Sb	0,0004
Se	0,00020
Te 0,00020 з As+Cd+Cr+Mn+P+Sb	0,0015
Bi+Se+Te	0,0003
Se+Te	0,0003
Ag+As+Bi+Cd+Co+Cr+Fe+Mn+Ni+P+Pb+S+Sb+Se+Si+Sn+Te+Zn	0,0065

1.2.2 Джерела матеріалів

Очищена мідь виробляється з первинної та вторинної сировини порівняно невеликою кількістю заводів із переробки міді, що випускають катодну мідь. Її плавлять, сплавляють та піддають подальшій обробці для виготовлення прутків, профілів, дротів, листів, стрічки, труб тощо. Цей етап може виконуватися на заводі з очищення міді, але часто здійснюється в іншому місці.

Значущий об'єкт видобутку міді знаходиться в Польщі (KGHM Polska Miedź S.A. у м. Любін, Польковице-Серошовице та Рудна), де за 2011 рік було видобуто 426 700 тонн міді. Іншими значними гірничодобувними країнами ЄС є Іспанія (початок діяльності з видобутку та гідрометалургійного виробництва мідних катодів у Лас-Крусесі у 2009 році потужністю 72 000 тонн міді), Португалія (початок видобутку в Невес-Корво в 1989 році, 80 000 тонн міді у 2011 році), Швеція (83 000 тонн) та Болгарія (115 000 тонн) [363, Brown et al. 2013].

На країни ЄС-28 припадає близько 5% загального обсягу видобутку міді у світі, при цьому приблизно 835 000 тонн міді було здобутої з місцевих руд у 2011 році. [363, Brown et al. 2013].

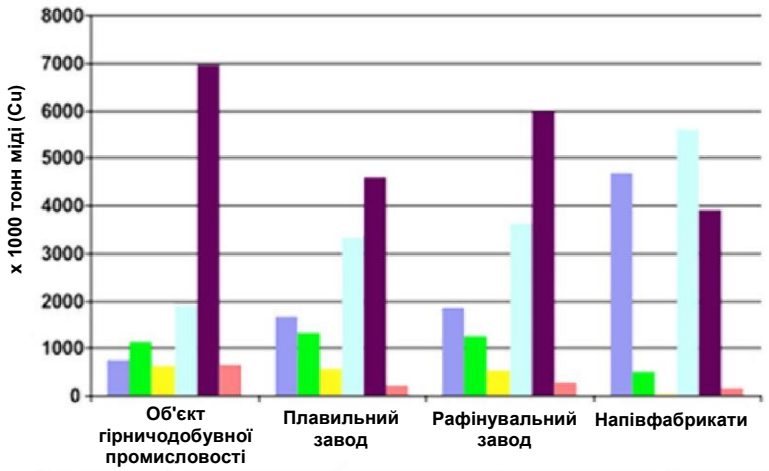
1.2.3 Виробництво і використання

Продукція рафінувальних заводів є основною сировиною для виробників напівфабрикатів. Виробляючи у два рази більше продукції, ніж рафінувальні заводи ЄС, виробники напівфабрикатів ЄС-28 використовують значний обсяг брухту в межах 1 млн тонн на рік. Вони також мають вийти на міжнародний ринок для забезпечення належного постачання очищеної міді. За оцінками, близько 60% їхньої сировини надходять із первинних джерел, інші 40% — з прямого використання брухту та інших вторинних матеріалів [238, ECI 2012].

У 2005 році випуск міді й мідних сплавів у ЄС-27 перевищив 5,2 млн тонн (близько 4,8 млн тонн мідного еквівалента). Це складало більше чверті світового виробництва. Попри такий відносно великий відсоток, це був найнижчий рівень у цьому столітті, на 10% нижче середнього показника за минулі шість років і на 20% нижче, ніж у пік у 2000 році. На Німеччину, Італію і Францію припадає приблизно дві третини продукції ЄС-28. Асортимент продукції, що постачається виробниками напівфабрикатів, дуже широкий, але складається насамперед із прутків, профілів, дротів, листів, стрічки та труб. Галузі застосування напівфабрикатів різноманітні, вони використовуються у таких секторах як електротехніка, автомобілі, будівництво, сантехніка, машинобудування, суднобудування, авіаційна промисловість, точні інструменти, годинники тощо.

Потужність виробництва напівфабрикатів ЄС перевищує попит. Хоча цифри 2005 року показують, що ЄС є нетто-експортером близько 500 000 тонн на рік, ця надлишковість робить галузь та її економічний добробут дуже чутливими до циклічних змін у попиті.

Сектор із виробництва електричного дроту складає приблизно половину виробництва напівфабрикатів. Близько 20 компаній, у яких зайнято приблизно 3000 осіб, належать до цього сектору. У той час як його частиною є інтегрована вихідна продукція заводів з переробки міді (наприклад, KGHM і Aurubis AG), значна частина — це інтеграція виробників дроту та кабелю (наприклад, Nexans і Prysmian). На Рисунку 1.1 показане виробництво міді у всьому світі у 2005 році, при цьому напівфабрикати включають заготовки, бруски, зливки та пластини, а також катанки.



	Об'єкт гірничодобувної промисловості	Плавильний завод	Рафінувальний завод	Напівфабрикати
ЄС	751	1662	1854	4700
Країни, що не є членами ЄС	1135	1310	1271	500
Африка	642	562	531	20
Азія	1884	3330	3630	5600
Америка	6952	4586	6000	3900
Океанія	672	208	271	150

Джерело: [238, ECI 2012].

Рисунок 1.1: Світове виробництво міді у 2005 році

Набагато більше компаній беруть участь в інших галузях виробництва мідних напівфабрикатів. Майже 80 компаній, у яких приблизно 35 000 співробітників у всьому ЄС-28 виробляють прутки з міді й мідних сплавів, виливки, дроти, профілі, труби, пластини, листи та стрічку. Цей сектор очолюють дві великі компанії — KME Group SpA (Італія), з великою виробничою діяльністю у Франції, Німеччини, Італії та Іспанії, та Wieland-Werke (Німеччина), що веде свою діяльність у Сполученому Королівстві. Підприємства з виробництва напівфабрикатів компанії Boliden (Швеція) були придбані компанією Outokumpu (Фінляндія) у 2004 році. У 2006 році їхня значна частина була перетворена в нову компанію Luvata. Іншими великими компаніями є Diehl (Німеччина), Carlo Gnutti (Італія) і Halcor (Греція). Близько 30 компаній у цьому секторі інтегрували ливарні заводи у виробництво брусків і заготовок та інших первинних форм для подальшої обробки. Інші купують їх або у плавильних/рафінувальних заводів, або у виробників напівфабрикатів [238, ECI 2012].

У Таблиці 1.2 показане виробництво міді у ЄС (і Європейській економічній зоні (ЄЕЗ)), а на Рисунку 1.2 і Рисунку 1.3 показана ця продукція.

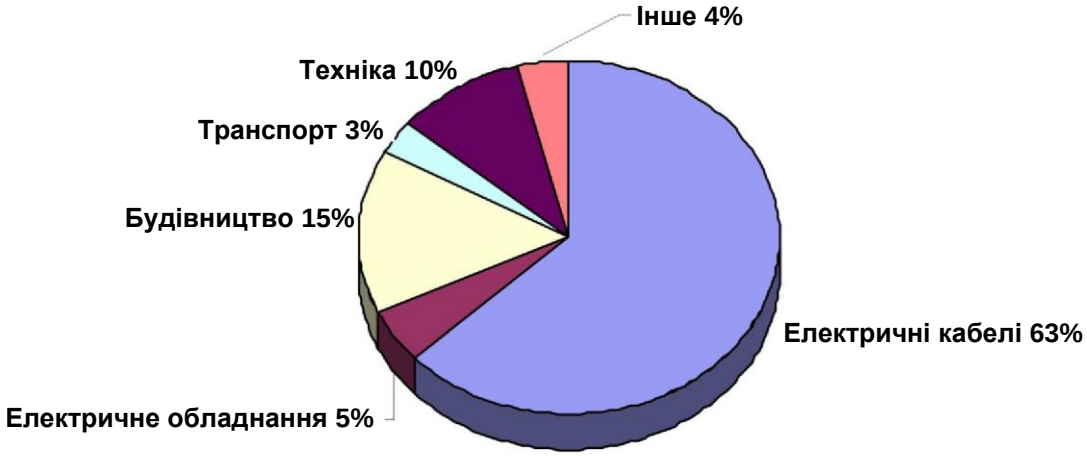
Таблиця 1.2: Європейське виробництво міді і її сплавів у 2011 році

Країна	Виробництво міді, видобуток (кт)	Виробництво міді, виплавка (кт)	Виробництво міді, рафінована мідь (кт)
Австрія	0	0	95
Бельгія	0	0	402
Болгарія	118	264	226
Кіпр	4	0	4
Фінляндія	25	125	129
Німеччина	0	352	686
Італія	0	0	8
Норвегія	0	38	38
Польща	427	467	566
Португалія	74	0	0
Румунія	6	0	0
Іспанія	98	295	407
Швеція	82	207	214
Всього	835	1748	2774
Джерело: [363, Brown et al. 2013]			



Джерело: [238, ECI 2012].

Рисунок 1.2: Мідні напівфабрикати, вироблені у 2003 році



Джерело: [238, ECI 2012].

Рисунок 1.3: Кінцеве призначення напівфабрикатів, вироблених у ЄС у 2003 році.

1.2.4 Виробничі майданчики

У 2011 році річне виробництво рафінованої міді у ЄС-28 досягнуло 2,7 млн тонн, що складає 13,6% світового виробництва. Найбільші об'єкти знаходяться в Німеччині, Польщі, Іспанії, Швеції, Фінляндії, Бельгії та Болгарії. Кінцева продукція рафінування — мідні катоди — виготовляються за допомогою електролітичної обробки. Їх часто плавлять і відливають на території підприємства у форми, які називаються брусками та брикетами. Деякі заводи з рафінування міді також виготовляють катанку або у себе, або в іншому місці [238, ECI 2012]

Близько 45% постачання вихідного матеріалу для заводів із рафінування міді в ЄС-28 закуповується на міжнародному ринку у вигляді мідних концентратів, чорнової міді, анодів або брухту. Інші 55% складають мідні концентрати, відходи, що містять мідь, і брухт, що виробляються в ЄС.

Європейська діяльність із плавки та переробки міді змогла вирости, перш за все, завдяки забезпеченню сировиною на міжнародному ринку і внаслідок «внутрішнього видобутку». Вона складається з мідного брухту та інших відходів, що утворюються споживачами й обробниками, а також із відходів у результаті зносу будівель і утилізації (наприклад, транспортних засобів і електричних та електронних відходів). Доступ до первинних і вторинних вихідних матеріалів стає дедалі важчим. Це частково відбувається через те, що країни, які видобувають мідь, розвивають свої власні плавильні та переробні заводи, але в основному — через набагато сильнішу конкуренцію зі сторони таких країн як Китай та Індія, які шукають мідну сировину для задоволення потреб своєї швидкої індустріалізації.

У 2007 році в ЄС-27 було 15 основних заводів із рафінування міді з кількістю співробітників близько 10 000 осіб.

Основні зміни [238, ECI 2012]:

- включення KGHM, Польща;
- реорганізація підприємств із виробництва міді Olen і Pirdop компанії Umicore (Union Minière) у нову компанію Cumerio;
- злиття компанії Hüttenwerke Kayser із компанією Norddeutsche Affinerie AG;
- злиття компаній Norddeutsche Affinerie AG і Cumerio із компанією Aurubis AG;
- злиття компаній Outokumpu Harj avalta і Pori з компанією New Boliden AB;

- злиття компанії Krompachy з компанією Montanwerke Brixlegg;
- закриття мідеплавильних заводів, які виробляють вторинну мідь, компанії IMI Refiners і MKM.

У результаті структура європейської промисловості в галузі плавки та переробки має такий вигляд:

- Atlantic Copper S.A. у м. Уельва, Іспанія;
- New Boliden AB з майданчиками в Гар'явалті та Порі, Фінляндія, та Рьоннскярі, Швеція;
- Aurubis AG з майданчиками в Гамбурзі та Люнені, Німеччина; Pirdop, Болгарія, і Olen, Бельгія;
- KGHM Polska Miedź S A. з майданчиками у Глогуві (1 і 2) та Легниці, Польща;
- Metallo-Chimique у Бресе, Бельгія, з дочірньою компанією Elmet S.L. у Беранго, Іспанія;
- Montanwerke Brixlegg, Австрія, з дочірньою компанією Krompachy, Словаччина;
- Umicore S A. у Хобокені, Бельгія.

Деякі з них — це плавильні заводи з виробництва виключно первинної міді (Atlantic Copper, KGHM, Pirdop та Harjavalta), які використовують мідні концентрати як основну сировину. Решта — це плавильні заводи з виробництва тільки вторинної міді (Metallo-Chimique, Montanwerke Brixlegg та Aurubis Lünen), де основною сировиною є брухт із ланцюга створення доданої вартості, а також перероблені продукти після закінчення терміну їхньої експлуатації. Деякі з них можуть обробляти як первинну, так і вторинну сировину, наприклад, Boliden Rönnskär, KGHM Legnica й Aurubis AG Hamburg.

Нові установки, об'єкти та технологічні інновації, які розвивалися й розроблялися з 2000 року [238, ECI 2012]:

- плавильний завод із виробництва міді з вторинних матеріалів із системою переробки Kayser у Люнені;
- піч ISASMELT у поєднанні з установкою з вилуговування та електровідновлення в Хобокені;
- концепція house-in-house для уловлювання дифузних викидів у Гамбурзі;
- хімічні заводи з виробництва гіпсу, який отримують у процесі виплавки первинних матеріалів, як складова багатостадійного процесу (Уельва і Пирдоп);
- новий ставок хвостосховища фаялітових шлаків (Pirdop).

Дві компанії мають потужність близько або понад 500 000 тонн рафінованої міді на рік: KGHM з трьома майданчиками в Польщі, Глогув I та II та Легниця; та Aurubis AG з майданчиками в Гамбурзі та Люнені (Німеччина), а також Олені (Бельгія) і Пірдопі (Болгарія).

Дві інших мають потужність майже 300 000 тонн: Boliden у Рьоннскярі (Швеція) і Гар'явалті/Порі (Фінляндія), куплені в компанії Outokumpu у 2003 році, і Atlantic Copper в Уельві (Іспанія)

Montanwerke в м. Брикслегг (Австрія) і Кромпахах (Словаччина) виробляє майже 100 000 тонн, а виробництво Metallo-Chimique в Берсе, Бельгія, і в Elmet у Беранго, Іспанія, становить менше ніж 50 000 тонн (у якості катодів, але понад 100 000 тонн у якості анодів).

Umicore (раніше Union Minière) у Хобокені (Бельгія), OMG у Кокколі (Фінляндія) та Cyprus Copper, Кіпр, також виробляють рафіновану мідь із використанням прямого електрохімічного способу виробництва, і мають потужність від 5000 до 50 000 тонн.

У нових країнах-членах є ще кілька менших об'єктів (наприклад, у Бая-Маре, Румунія), але жодної інформації не було надано.

Не всі компанії мають збалансовані потужності з виплавки та електролітичного рафінування. Деякі компанії відправляють значну частину своїх анодів (> 99% міді) на рафінування для кінцевого виробництва катодів (> 99.9% міді).

Залежно від джерел брухту (з ЄС або імпортного), потужності ЄС із виплавки та рафінування міді можуть задовольнити менше половини попиту кінцевих споживачів. Очікується, що цей структурний дефіцит рафінованої міді в ЄС триватиме, водночас ЄС залишиться великим нетто-імпортером.

1.2.5 Основні екологічні проблеми

Історично, головною екологічною проблемою, пов'язаною з виробництвом міді з первинних джерел, був викид діоксиду сірки в повітря в результаті випалювання та плавки сульфідних концентратів. Цю проблему було ефективно розв’язано плавильними заводами ЄС, які зараз досягають у середньому 98,9% уловлювання сірки та виробляють сірчану кислоту й рідкий діоксид сірки.

Основні екологічні проблеми, пов'язані з виробництвом вторинної міді, також пов'язані з димовими газами від різних використовуваних печей. Існує також потенціал утворення ПХДД/Ф (поліхлоридний дібензопарадіоксин/фуран) через наявність невеликої кількості хлору у вторинній сировині, й усунення ПХДД/Ф є проблемою, яка зараз вирішується [219, VDI 2007].

Дифузні або невловлені викиди також стають усе більш важливими для виробництва як первинного, так і для вторинного металу. Для уловлювання технологічних газів необхідно ретельно спроєктувати установку та відповідний технологічний процес.

Перероблений матеріал є важливою складовою сировини для підприємств із рафінування та виробництва міді. Мідь може бути вилучена з більшості сфер застосування і повернена до процесу виробництва без втрати якості під час переробки. Маючи дуже обмежений доступ до внутрішніх первинних джерел міді, промисловість ЄС традиційно приділяє багато уваги так званим відкритим рудникам, покладаючись значною мірою на брухт для зменшення великого дефіциту торгового балансу своєї мідної сировини.

Майже 100% нового або обробленого мідного брухту переробляється, і відповідно до деяких досліджень, було підраховано, що 95% вивільненого старого мідного брухту, також переробляється.

Загалом, вторинна сировина застосовується у виробництві приблизно 40% міді ЄС, але в деяких випадках, таких як виробництво латунних електродів, продукт зроблений повністю з переробленої міді та латуні з лише невеликим введенням первинного цинку.

Якість вторинної сировини дуже різна й багато джерел цієї сировини не придатні для прямого використання виробниками напівфабрикатів. На брухтопереробну промисловість покладаються для надання класифікованого матеріалу належної чистоти для промисловості, і хоча існують узгоджені специфікації для брухту, трапляються значні відхилення. Можуть знадобитися додаткові системи обробки або боротьби з викидами.

Мідна промисловість ЄС розробила передові технології та зробила значні інвестиції, щоби мати можливість обробляти широкий асортимент мідного брухту, у тому числі комплексного, низькосортні відходи, і водночас дотримуватись усе більш суворих екологічних стандартів.

Здатність галузі збільшити цей високий коефіцієнт переробки залежить від низки комплексних чинників.

1.3 Алюміній

1.3.1 Загальна інформація

Алюміній [35, COM 1997] — це матеріал із великим спектром застосування, зокрема в транспортній, будівельній та пакувальній промисловості, секторі електроенергетики, у всіх високовольтних системах розподілу електроенергії, побутовій техніці, у механічному та сільськогосподарському секторах. Він легкий, має хорошу електропровідність та при контакті з повітрям утворює поверхневий оксидний, що запобігає подальшій корозії. Алюміній має високу реакційну здатність, особливо у формі порошку, він використовується в алюмотермічних реакціях для отримання низки інших металів.

Алюмінієва промисловість є наймолодшою та найбільшою в кольоровій металургії; виплавка алюмінію почалася тільки наприкінці XIX століття. Алюмінієва промисловість ЄС являє собою робочу силу близько 255 000 осіб, а її річний оборот у 2013 році склав приблизно 40 000 млн євро.

1.3.2 Джерела матеріалів

Первинний алюміній виготовляється з бокситу, що перетворюється на глинозем; 100 тонн бокситу дають 40–50 тонн глинозему (оксид алюмінію), з якого потім можна виробити 20–25 тонн алюмінію. Більша частина бокситу видобувається за межами Європи, але в Європі існує декілька підприємств із видобутку глинозему.

Виробництво вторинного алюмінію залежить від джерел брухту. Брухт можна називати «новим брухтом», який утворюється під час виробництва та виготовлення литої продукції, а також продукції, що отримується шляхом обробки тиском, або «старим брухтом», який отримують із виробів після закінчення терміну їхнього використання. Коефіцієнт переробки "нового брухту" складає 100% від виробленої кількості.

1.3.3 Виробництво і використання

Європейська алюмінієва промисловість включає гірничодобувну промисловість та виробництво глинозему, виплавку первинного і вторинного алюмінію та переробку металу в напівфабрикати (наприклад, виливки, профілі, дроти, листи, фольгу, труби) і продукти спеціального призначення (наприклад, пудру, спеціальні сплави). У Таблиці 1.3 показані різні матеріали, що виробляються алюмінієвим сектором у ЄС-27.

Таблиця 1.3: Виробництво алюмінію в ЄС-27 у 2007 та 2012 роках.

Вироблений матеріал	2007 (Мт)	2012 (Мт)
Виробництво металу		
Видобуток бокситів	2,81	2,2
Виробництво глинозему	6,9	5,8
Виробництво первинного металу	3,1	2,1
Виробництво вторинного металу (рафінування + переплавлення)	5.1	4,1
Напівфабрикати		
Катані вироби	4,5	3,9
Екструдовані вироби	3,2	2,5
Інше	1	1,2
Всього напівфабрикатів	8,7	7,6
Лиття	33	2,9
Джерело [380, European Aluminium Association 2012]		

У 2007 році на ЄС-27 припадало майже 8% загального світового виробництва первинного алюмінію, але вони були нетто-імпортером алюмінію. У Таблиці 1.4 показане виробництво і споживання в регіонах світу.

Таблиця 1.4: Виробництво і споживання первинного алюмінію за країною у 2007 та 2012 роках.

	Виробництво (кт)		Споживання (кт)	
	2007	**2012**	**2007**	**2012**
ЄС-27	3093	2070	7739	6486
Решта Європи	2058	2111	528	469
US	2560	2070	5774	4869
Росія	3949	4028	1130	934
Канада	3083	2781	742	517
Китай	12 559	22 197	12 100	21 674
Австралія	1963	1855	410	359
Бразилія	1655	1436	854	1033
Індія	1223	1714	1150	1784
Близький Схід	1738	3709	НД	1143
Решта світу	4154	3907	7642	8080
Всього	41 128	47 878	45 808	47 348
Примітка: НД = немає даних. *Джерело* [380, European Aluminium Association 2012]				

У Таблиці 1.5 показані джерела первинного алюмінію, що імпортується до ЄС-27 у відсотках від загального обсягу імпорту.

Таблиця 1.5: Імпорт первинного алюмінію до ЄС-27 у 2007 та 2012 роках

	Імпорт до ЄС-27 (% від загального обсягу імпорту)	
	2007	**2012**
Азія	3	5
Північна Америка	5	4
Близький Схід	6	11
Латинська Америка	9	1
Африка	16	15
Росія	17	12
Решта Європи (без Росії)	44	52
Джерело [380, European Aluminium Association 2012]		

У країнах ЄС-27 виробництво алюмінію зі вторинної сировини у 2007 році складає близько однієї третини світового виробництва вторинного алюмінію.

1.3.4 Виробничі майданчики

У 2007 році в ЄС-27 працювало 25 заводів з виплавки первинного алюмінію (18 у 2012 році), і ще 10 — у ЄЕЗ. Кількість компаній значно менше і включає Rio Tinto Alcan (Сполучене Королівство, Франція та Ісландія), Alcoa Europe (Іспанія, Італія та Ісландія), Hydro Aluminium (Норвегія та Німеччина), Zalco (Нідерланди), Trimet (Німеччина), Alro (Румунія), Slovalco (Словаччина), Talum (Словенія), Mytilineos (Греція), Rusal (Швеція) і Century (Ісландія). Деякі з цих компаній мають дочірні компанії або філії в інших частинах світу або є частиною міжнародних корпорацій.

Інша ситуація в секторі виробництва вторинного алюмінію, де понад 130 компаній виробляють понад 1000 тонн вторинного алюмінію кожного року. Прокатна діяльність добре інтегрована з виробничими процесами, але екструзійна промисловість інтегрована набагато менше, близько 300 виробничих майданчиків розкидано територією ЄС. Багато видів виробничої діяльності інтегровано, але низка виробників ЄС зосереджує свою діяльність на лише на одному конкретному сегменті, такому як переробка та виплавка вторинного металу або напівфабрикати.

1.3.5 Основні екологічні проблеми

Основними екологічними проблемами, пов'язаними з первинним алюмінієм, є утворення поліфторованих вуглеводнів і фторидів під час електролізу, утворення твердих відходів з електролізерів і утворення твердих відходів під час виробництва глинозему. Утворення SO_2 із сірки, що міститься в анодах, є проблемою в Нідерландах. Галузь досягла прогресу в скороченні цих викидів, зокрема, шляхом застосування технології Prebake для більшості плавильних заводів і модернізації решти плавильних заводів Søderberg з метою покращення їхньої екологічної та енергетичної ефективності.

Що стосується виробництва вторинного алюмінію, існують потенційні викиди пилу та ПХДД/Ф із печей, що неправильно експлуатуються, та внаслідок неповного спалювання, а також утворення твердих відходів (сольовий шлак, відпрацьована футерівка печі, окалина, пил із фільтрів).

Основні витрати на виробництво первинного алюмінію — це електроенергія, і, як наслідок, виробництво має тенденцію концентруватися там, де доступна дешева електроенергія, що є одним з основних чинників, що визначають географічний розподіл виробничих майданчиків. Європейська алюмінієва промисловість доклала значних зусиль для зменшення споживання електроенергії. Зараз у середньому споживання досягає 15 кВт-год на кілограм. Виробництво та переробка вторинного алюмінію потребують набагато менше витрат енергії, оскільки на 1 кг витрачається близько 5% енергії, необхідної для виробництва первинного алюмінію.

Існує багато ініціатив, спрямованих на покращення показників повернення алюмінієвого брухту, і підприємства галузі беруть активну участь у цій сфері. Прикладом цього є переробка використаних банок від напоїв (UBCs (used beverage cans)). Зібраний матеріал переробляється в замкнутому циклі для виробництва більшої кількості банок для напоїв із тією ж специфікацією сплаву. У вторинній промисловості велика увага приділяється виробництву правильного складу сплаву, і попереднє сортування брухту є важливим аспектом. Прикладами цього є відокремлення брухту, що отримується під час екструзії, для збереження відповідного сплаву.

1.4 Свинець і олово

1.4.1 Свинець

1.4.1.1 Загальна інформація

Свинець [35, COM 1997] — це метал, який міститься у великій кількості в земній корі й використовується протягом багатьох століть. Він міститься в чистих сульфідних рудах або в змішаних рудах, де він поєднаний із цинком і невеликою кількістю срібла й міді. Свинець — м'який метал; він має низьку температуру плавлення і є стійким до корозії. Ці властивості надають йому велику функціональну цінність як у чистому вигляді, так і у вигляді сплавів або сполук.

Свинець класифікується за складом продукту. У Таблиці 1.6 показано хімічний склад марок свинцю відповідно до Європейського стандарту.

Таблиця 1.6: Хімічний склад марок свинцю за Європейським стандартом

Найменування марки	Pb мін.	1 Bi макс.	2 Ag макс.	3 Cu макс.	4 Zn макс.	5 Ni макс.	6 Cd макс.	7 Sb макс.	8 Sn макс.	9 As макс.	Всього для елементів з 1 до 9, макс.
PB 990R	99,990	0,010	0,0015	0,0005	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,010
PB 985R	99,985	0,015	0,0025	0,0010	0,0002	0,0005	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,015
PB 970R	99,970	0,030	0,0050	0,0030	0,0005	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,030
PB 940R	99,940	0,060	0,0080	0,0050	0,0005	0,0020	0,0020	0,0010	0,0010	0,0010	0,060
Примітка: Німецький стандарт DIN 1719 є основою для Європейського стандарту EN 12659.											

У характері використання свинцю відбулися серйозні зміни. Зараз акумуляторна промисловість споживає близько 85% рафінованого металевого свинцю, і з роками цей показник неухильно росте. Інші види використання свинцю, які включають пігменти й сполуки, оболонку кабелю, дріб і нафтові присадки, знаходяться в занепаді. Використання металевого свинцю в прокаті та екструдованій продукції, такій як свинцеві листи, було досить стабільним протягом багатьох років (див. Таблицю 1.7).

Таблиця 1.7: Використання свинцю у всьому світі

Комерційне використання	1973 (%)	1983 (%)	1993 (%)	2003 (%)	2011 (%)
Акумулятори	29	36	60	66	82
Свинцевий лист	8	6	5	5	6
Оболонка кабелю	7	4	3	1	0,9
Дріб/боєприпаси	2	2	2	2	1
Сплави	5	3	3	2	1
Пігменти та інші сполуки	9	9	10	8	5
Присадки до бензину	7	3	1	0,2	0,1
Інше	2	2	4	3	2
Джерело: [377, ILA 2013]					

1.4.1.2 Джерела матеріалів

Рафінований свинець отримують із первинного матеріалу у вигляді свинцевих або змішаних металевих рудних концентратів, а також вторинного матеріалу у вигляді брухту та інших відходів. З 1998 року баланс між виробництвом первинного і вторинного свинцю зсунувся, й у 2011 році вторинні джерела становили понад 77% виробництва ЄС. [377, ILA 2013]
Для виробництва первинного свинцю необхідна плавка свинцевих руд для отримання зливку свинцю, який потім рафінується. Економіка видобутку первинної свинцевої руди пов'язана з вмістом срібла та цинку в рудних тілах. Оскільки більшість рудних тіл складається зі сполук із сіркою (існують також рудні тіла, які містять карбонат свинцю), для виробництва металевого свинцю необхідний вміст сірки в рудах, який підлягає обробці для отримання сірчаної кислоти. Більшість заводів із виплавки первинного свинцю, мають пов’язаний із ними складний процес очищення, а також процеси відновлення вмісту срібла у вигляді сплаву срібла й золота (де зустрічається золото, оскільки багато рудних тіл мають низький вміст золота). Тому первинне очищення пов'язане з економікою видобутку свинцево-цинкових руд.

У 2012 році країни ЄС-27 виробили 200 000 тонн свинцевого концентрату проти 350 000 у 1996 році, основними виробниками були Ірландія, Швеція й Польща. Основними світовими видобувачами свинцевої руди є Китай, Австралія, США, Перу та Мексика. Загальний світовий видобуток у 2012 році склав 5,2 мільйона тонн. Світове виробництво очищеного металевого свинцю у 2012 році склало 10,6 мільйона тонн. [377, ILA 2013]

Галузь вторинної переробки зараз забезпечує більшу частину споживаного свинцю. Свинцево-кислотні акумулятори є основним джерелом брухту для вторинної переробки. У галузі робляться позитивні кроки для заохочення переробки цих акумуляторів; цей показник зростає разом зі збільшенням кількості автомобілів у світі та зростанням темпів повернення старих акумуляторів. Для вторинного виробництва також потрібні установки з видалення сірки та інші очисні установки, оскільки вторинна сировина може містити небажані сполуки.

1.4.1.3 Виробництво і використання

У 2012 році в ЄС-27 було вироблено 1 770 000 тонн очищеного металевого свинцю, з яких приблизно 77% випадає на виробництво вторинного свинцю. [377, ILA 2013]

Споживання свинцю пов'язане з виробництвом і використанням свинцево-кислотних акумуляторів, і за оцінками на нього припадає 80–85% виробництва. Інші галузі застосування свинцю включають покрівельні матеріали та радіаційний захист. Використання свинцю в певних галузях застосування обмежено кількома Регламентами ЄС.

1.4.1.4 Виробничі майданчики

З 1998 року в процесах виробництва свинцю, відбулися серйозні зміни. Усі двоступеневі процеси агломераційної/шахтної печі тепер закриті, також закриті всі плавильні печі Imperial (ISF (Imperial Smelting Furnace), окрім однієї в Польщі, яка працює на планово-періодичній основі для виплавки сульфідних, а потім окисних матеріалів для відновлення свинцю та цинку. У 2008 році в країнах ЄС-27 використовувалося тільки три процеси прямої виплавки: два в Німеччині та один в Італії. Виробництво свинцю, яке є частиною складного металургійного процесу вилучення міді та дорогоцінних металів, залишається незмінним.

У Таблиці 1.8 представлена річна потужність із виробництва свинцю в ЄС-27 на 2006 рік.

Таблиця 1.8: Річна потужність із виробництва свинцю в ЄС-27 на 2006 рік.

	Виплавка свинцю з первинних ресурсів або комбінована виплавка з первинних і вторинних ресурсів. (тонн/рік)	Виплавка з вторинних ресурсів		Всього свинцю
		Шахтна піч (тонн/рік)	Обертова або інша піч (тонн/рік)	Стадія рафінування (тонн/рік)
Австрія	0	0	32 000	32 000
Бельгія	30 000	50 000	40 000	120 000
Болгарія	70 000	30 000	0	100 000
Чехія	0	35 000	0	35 000
Франція	0	0	120 000	120 000
Німеччина	210 000	50 000	100 000	360 000
Італія	100 000	0	160 000	260 000
Нідерланди	0	0	20 000	20 000
Польща	35 000	0	55 000	90 000
Португалія	0	0	10 000	10 000
Румунія	40 000	0	0	40 000
Іспанія	15 000	0	110 000	125 000
Швеція	65 000	45 000	0	110 000
Сполучене Королівство ([1])	180 000	0	85 000	265 000
Інше	30 000	0	30 000	60 000
Всього	775 000	210 000	762 000	1 747 000
([1])Включає у плавку первинного металу зливки з країн, що не входять у ЄС.				

З 1997 року виробнича потужність знизилась на 500 000 тонн/рік, а решта заводів прямої виплавки споживають усе більше й більше вторинної сировини для підвищення своєї продуктивності з 50 000 тонн/рік до понад 100 000 тонн/рік.

Галузь виробництва вторинного свинцю характеризується великою кількістю невеликих установок, багато з яких є незалежними. У ЄС є близько 30 заводів із виплавки/рафінування вторинної сировини з продуктивністю від 5000 тонн/рік до 65 000 тонн/рік. Вони переробляють і рафінують брухт, що утворюється у їх районі. Кількість цих рафінувальних заводів зменшується, оскільки великі багатонаціональні компанії, а також основні групи виробників акумуляторів, купують менші вторинні підприємства або створюють власні підрозділи з переробки. На Рисунку 1.4 показано потужність у галузі рафінування свинцю у Європі у 2007 році.

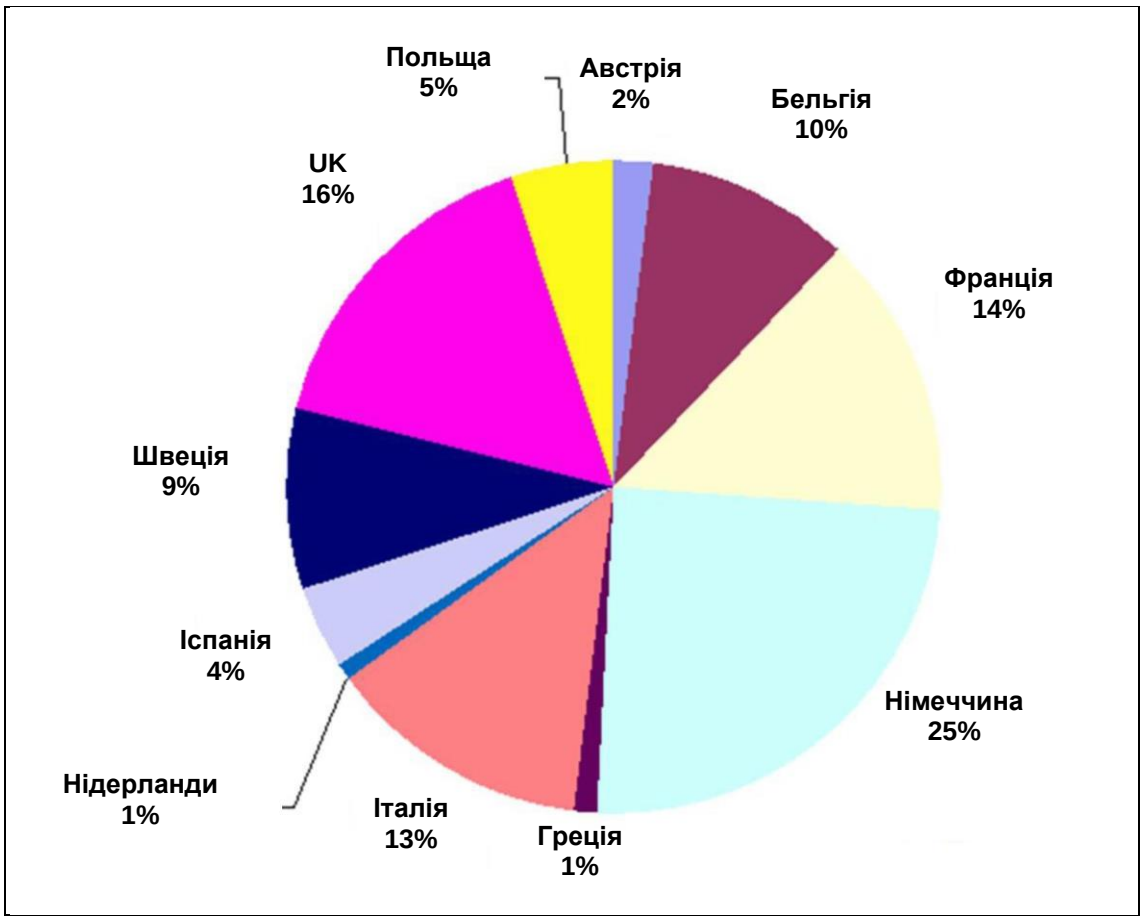


Рисунок 1.4: Потужність у галузі рафінування свинцю у Європі у 2007 році.

З 1998 року кількість виробничих майданчиків зменшилася, а загальна виробнича потужність впала на 200 000 тонн/рік.

1.4.1.5 Основні екологічні проблеми

Історично, головною екологічною проблемою, пов'язаною з виробництвом свинцю з первинних джерел, був викид діоксиду сірки в повітря в результаті випалювання та плавки сульфідних концентратів. Цю проблему було ефективно розв’язано плавильними заводами ЄС, які зараз досягають високого ступеня уловлювання сірки та виробляють сірчану кислоту і/або рідкий діоксид сірки. Викиди пилу та металів із доріг, складів та старих звалищ також є потенційною проблемою. [254, VDI 2004].

Основні екологічні проблеми, пов'язані з виробництвом вторинного свинцю, також пов'язані з відпрацьованими газами від різних печей, що використовуються. Існує також потенціал утворення ПХДД/Ф (поліхлоридний дібензопарадіоксин/фуран) через наявність невеликої кількості хлору у вторинній сировині; й усунення ПХДД/Ф є проблемою, яка наразі вирішується [254, VDI 2004].

Свинець являє собою велику небезпечність для довкілля, і багато сполук свинцю класифікуються як токсичні. Загальна політика, як правило, полягає в обмеженні викидів до мінімальних можливих рівнів з урахуванням рівня технологій, а переробка зазвичай проводиться, коли це обґрунтовано та економічно доцільно. Більшість заходів контролю стосується загалом впливу на людей і тварин. Особливе значення мають заходи із захисту дітей, які живуть поблизу плавильних заводів. Законодавство в області захисту довкілля вимагає інвестицій для зниження рівня викидів свинцю в повітря. За останні роки було розроблено і впроваджено кілька нових технологій, які пропонують більш ефективні методи плавки свинцевих концентратів. Ці процеси також знизили рівень викидів у довкілля. Наявні процеси були вдосконалені за допомогою найсучасніших систем контролю й боротьби з викидами.

Акумулятори, на які припадало понад 80% рафінованого металевого свинцю, що використовувався в країнах ЄС-27 у 2012 році, переробляються з дуже високою ефективністю. Директива ЄС 2006/66/ЕС Про акумулятори від вересня 2006 року заохочує високі показники збору, забороняє утилізацію свинцевих акумуляторів і встановлює, починаючи з 2010 року, коефіцієнт відновлення 65% від середньої ваги свинцево-кислотних акумуляторів. Регламенти Про транспортні засоби із вичерпаним строком експлуатації (2000/53/ЄС) та електричне та електронне обладнання (2002/96/ЄС) обмежують використання свинцю в деяких виробах.

Регламенти, що стосуються свинцю, поділяються на чотири основні категорії: професійний вплив, викиди (якість навколишнього повітря), контроль харчових продуктів і води та контроль продукції. Граничні значення доповнюються правилами щодо захисту робочої сили, що передбачають використання захисного одягу, респіраторів, рукомийників або зазначенням правил щодо їжі, пиття, паління тощо.

Вміст свинцю в загальній атмосфері обмежений Директивою 2008/50/ЄС Про якість атмосферного повітря та чистого повітря для Європи, яка встановлює граничні рівні вмісту свинцю в повітрі на всій території ЄС. Ці граничні значення переглядаються. Рівні вмісту свинцю у воді також регулюються низкою директив, що стосуються води, залежно від її типу та використання, наприклад, вода, призначена для споживання людиною, вода для купання, вода для риболовлі, та від матеріалів, що контактують із харчовими продуктами та питною водою. Зокрема, свинець визначено як пріоритетну речовину в Додатку X до Директиви 2000/60/ЄС, що встановлює основу для громадської діяльності у сфері водної політики.

1.4.2 Олово

1.4.2.1 Загальна інформація

Олово є одним із найдавніших металів у світі, згадки про його використання відносяться до 3500 року до нашої ери. Серед різних мінералів, що містять олово, які містяться в земній корі, важливе значення має лише каситерит (SnO_2). Каситерит зустрічається як у глибоких шахтах із твердими породами, так і в неглибоких алювіальних відкладах, і його можна відносно легко видобувати за допомогою промислових методів або основних і простих інструментів. На відміну від багатьох інших металів, видобуток каситериту здійснюється кустарними та невеликими копальнями, а також великими виробниками.

Олово — це м'який, податливий метал, який легко піддається холодній обробці шляхом прокату, екструзії та центрифугування. Олово легко утворює сплави з іншими металами, надаючи їм твердість та міцність. Через свою амфотерну природу олово реагує із сильними кислотами та сильними основами, але залишається відносно стійким до нейтральних розчинів.

У 2011 році олово використовувалось здебільшого в таких сферах: припій, 52%, жерсть,17%: хімічні сполуки з вмістом олова, 15%; та інші, 16% [294, ITRI 2012]. У більшості випадків олово використовується на або в матеріалі, що виготовляється, у невеликій кількості. Олово використовується в різних областях застосування в литих виробах або в отриманих у результаті обробки тиском, отриманих у процесі прокатки, волочіння, екструзії, розпилювання й лиття; жерсть, наприклад, листи або штаби з низьковуглецевої сталі, прокатані до товщини 0,15–0,25 мм і тонко покриті чистим оловом; олов’яні покриття та покриття з олов’яного сплаву, що наносяться на готові вироби (на противагу листам або штабам) зі сталі, чавуну, міді, сплавів на основі міді та алюмінію; олов’яні метали та сполуки олова.

1.4.2.2 Джерела матеріалу

У 2011 році було видобуто приблизно 253 000 тонн олова, переважно в Китаї (110 000 тонн), Індонезії (51 000 тонн), Перу (34 600 тонн), Болівії (20 700 тонн) і Бразилії (12 000 тонн) [294, ITRI 2012]. Вторинне олово або брухт олова також є важливим джерелом металу. Відновлення олова шляхом виробництва з вторинних ресурсів або переробка брухту олова стрімко зростає.

З огляду на повторне використання сплавів із відновленого олова, особливо припоїв, латуні, бронзових і свинцевих сплавів, вторинні матеріали становлять понад 30% від загального використання олова в будь-який типовий рік. Ці сплави можуть бути повторно використані без потреби в повторному очищенні до чистого олова. Однак, останнім часом відбувається зростання виробництва вторинного рафінованого олова, яке перевищило 50 000 тонн на рік, що еквівалентно приблизно 16–17% від загального обсягу виробництва очищеного металу, й у 2011 році склало понад 65 000 тонн.

Брухт сплаву, що містить олово, обробляється заводами з виплавки вторинного металу як частина їхнього виробництва первинних металів та сплавів; заводи з обробки свинцю приймають припій, олов'яні дроси, бабіт та типографський метал. Цей тип лому переплавляється, домішки, такі як залізо, мідь, сурма та цинк видаляються, і брухт повертається на ринок у вигляді бінарного або потрійного сплаву. Отриманий у результаті очищення металобрухту дрос повертається до процесу рафінування первинного металу.

1.4.2.3 Виробництво і використання

Іспанія та Португалія є єдиними країнами ЄС-28, які видобувають олово, і лише в незначних кількостях. У Таблиці 1.9 наведено огляд кількості олова, що видобувається у всьому світі.

Таблиця 1.9: Річний видобуток олова у всьому світі у 2006 та 2012 роках.

Країна	Виробництво олова (тонн вмісту олова у руді)	
	2006	**2012**
Австралія	2783	6158
Болівія	17 669	19 700
Бразилія	9528	10 800
Бірма	900	700
Бурунді	44	69
Китай	126 300	115 900
Демократична Республіка Конго	5485	2462
Індонезія	80 933	91 000
Лаос	600	965
Малайзія	2398	3726
Нігер	13	0
Нігерія	1400	1800
Перу	38 470	26 105
Португалія	25	42
Росія	2600	600
Руанда	3013	3500
Іспанія	0	69
Таїланд	225	199
В'єтнам	5400	5400
Джерело: [363, Brown et al. 2013]		

1.4.2.4 Виробничі майданчики

Що стосується виплавки олова, то Бельгія є єдиним виробником із ЄС-28 зі світовою часткою 3,5%.У Таблиці 1.10 наведено огляд діяльності з виплавки олова у всьому світі.

Таблиця 1.10: Річне виробництво олова (виплавка) у всьому світі у 2006 та 2012 роках.

Країна	Виробництво олова (тонни)	
	2006	2012
Австралія	572	0
Бельгія	8000	11 400
Болівія	14 089	14 300
Бразилія	8780	9600
Китай	132 100	148 100
Індонезія	65 357	50 000
Японія	854	1133
Малайзія	22 850	37 822
Перу	40 495	24 811
Росія	3700	1400
Таїланд	27 540	19 996
В'єтнам	2665	4000
Джерело: [363, Brown et al. 2013]		

1.4.2.5 Основні екологічні проблеми

Температура плавлення олова (232 °C) є низькою в порівнянні зі звичайними конструкційними металами, тоді як температура кипіння (2625 °C) перевищує температуру кипіння більшості металів, окрім вольфраму та металів платинової групи. Втрати від випаровування під час плавлення та під час легування іншими металами є незначними. Оксид олова є нерозчинним, а руда має високу стійкість до атмосферних впливів, тому кількість олова в ґрунтах та природних водах невелика. Концентрація в ґрунтах знаходиться в діапазоні 1–4 ppm, але деякі ґрунти містять менше ніж 0,1 ppm, а інші, такі як торф — 300 ppm [295, Gaver C. Jr 2013]. Олово у вигляді окремих атомів або молекул не дуже токсичне для організмів; токсичною є органічна форма. Органічні сполуки олова можуть залишатися в довкіллі протягом тривалого часу. Органічне олово може розповсюджуватися через воду та завдавати шкоди водним екосистемам. Воно дуже токсичне для грибів, водоростей і фітопланктону.

1.5 Цинк і кадмій

1.5.1 Цинк

1.5.1.1 Загальна інформація

Цинк [35, COM 1997], [117, Krüger, J. 1999] займає третє місце за використанням кольорових металів після алюмінію й міді. Він має відносно низьку температуру плавлення і використовується у виробництві низки сплавів, таких як латунь. Його можна легко наносити на поверхню інших металів, таких як сталь (гальванізація) та, коли він використовується у якості металевого покриття, цинк піддається корозії переважно у якості протекторного покриття. Цинк також використовується у фармацевтичній, харчовій, будівельній, акумуляторній і хімічній промисловостях. Див. Таблицю 1.11.

Таблиця 1.11: Використання цинку у всьому світі та Європі.

Комерційне використання цинку	У всьому світі 1995 (%)	У всьому світі 2000 (%)	У всьому світі 2005 (%)	Європа 2005 (%)
Гальванізація	47,9	48,6	51,4	44,4
Легування цинком	12,9	15,7	16,4	14,5
Латунь і бронза	20,7	19,3	17,0	20,4
Цинкові напівфабрикати	6,5	6,2	5,7	12,6
Хімічні сполуки	8,5	7,0	6,1	6,5
Цинковий пил та порошок	0,5	0,2	0,2	0,2
Інше	3,1	3,0	1,4	1,4
Джерело: [229, IZA plant data 2008]				

На ринок постачається цинк різної якості, найвищу якість має високосортний цинк спеціального призначення (SHG (special high-grade)) або Z1, який містить 99,995% цинку, тоді як звичайний комерційний сорт найнижчої якості (GOB (good ordinary brand)) або Z5 має чистоту близько 98%. Сектор виробляє екструзійні вироби, такі як виливки, прутки та дріт (в основному латунь); прокатні вироби, такі як листи та штаби; ливарні сплави; а також порошки та хімічні сполуки, такі як оксиди (див. Таблицю 1.12 та Таблицю 1.13).

Таблиця 1.12: Марки первинного цинку

Класифікація марок	Кольоровий код	Номінальний вміст цинку	1 Pb макс.	2 Cd макс.	3 Fe макс.	4 Sn макс.	5 Cu макс.	6 Al макс.	Всього від 1 до 6, макс.
Z1	Білий	99,995	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005
Z2	Жовтий	99,99	0,005	0,003	0,003	0,001	0,002	-	0,01
Z3	Зелений	99,95	0,03	0,005	0,02	0,001	0,002	-	0,05
Z4	Синій	99,5	0,45	0,005	0,05	-	-	-	0,5
Z5	Чорний	98,5	1,4	0,005	0,05	-	-	-	1,5
Джерело: [1, CEN 2003]									

Таблиця 1.13: Марки вторинного цинку

Якість	Номінальний вміст цинку	1 Pb макс.	2 Cd макс.	3 Fe макс.	4 Sn макс.	5 Cu макс.	6 Al макс.	Всього від 1 до 6, макс.	Примітки
ZSA	98,5	1,3	0,02	0,05	- ([1])	-	0,05	1,5	Отримується в основному з цинковмісного виробничого лому (наприклад, згар Zn)
ZS1	98,0	1,3	0,04	0,05	0,7 ([1])	-	0,1	2,0 ([2]) 1,5	Отримується переважно шляхом переробки брухту.
ZS2	97,5	1,5	0,05	0,12	0,7 ([1])	-	-	2,5 ([2]) 2,0	Також використані продукти

([1]) Sn макс. 0,3% для виготовлення латуні.
([2]) Для гальванізації, EN ISO 1461: цинкова ванна має містити менше ніж 1,5% легуючих елементів (крім Fe та Sn) та 2,0% (включно з Fe та Sn).
Джерело: [1, CEN 2003]

Кінцеве використання включає широкий спектр галузей застосування, найбільш важливим з яких є захист сталі від іржі в автомобільній, будівельній промисловостях і промисловості побутових приладів і машин. Цинкові сплави (наприклад, латунь, бронза, сплави для лиття під тиском) та цинкові напівфабрикати є відповідно другою та третьою основними галузями споживання, які також застосовуються у будівельній, автомобільній промисловостях і промисловості побутових приладів і машин.

1.5.1.2 Джерела матеріалів

Метал отримують із низки цинкових концентратів за допомогою пірометалургійних та гідрометалургійних процесів. Деякі концентрати містять велику кількість свинцю, і ці метали також відновлюються. Цинк також поєднується з кадмієм, і концентрати є джерелом цього металу.

Наприкінці 1980-х років концентрати ЄС задовільняли понад 45% потреб рафінувальних заводів ЄС. Протягом наступного десятиліття цей показник знизився до 25%. Після приєднання 12 нових країн-членів (2004 рік) концентрати ЄС становили 38% попиту. Дефіцит поповнюється завдяки збільшенню імпорту, оскільки продуктивність гірничодобувної промисловості зростає в Північній Америці, Австралії та деяких країнах Південної Америки.

Використовується вторинна сировина, така як відходи гальванізації (згар, шлак, осад тощо), і перероблені продукти (наприклад, оксид Вельца) з цинковмісних відходів (наприклад, димовий пил із металургійних заводів). Джерелами цинку також є брухт від обробки латуні та лиття під тиском, а також покрівельні вироби із вичерпаним строком експлуатації. У 1994 році виробництво металу з вторинних джерел становило понад 8% від загального виробництва рафінованого цинку в ЄС. Переробка цинку й цинкових продуктів є ключовою проблемою для галузі.

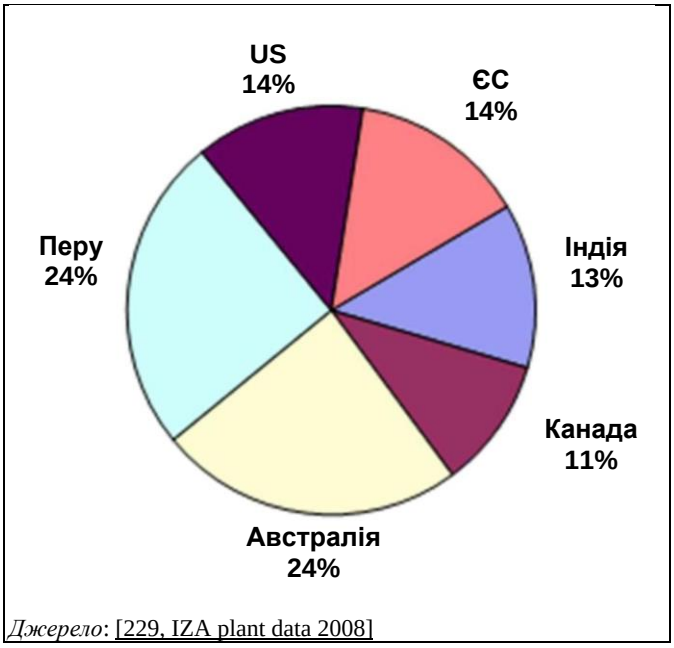
1.5.1.3 Виробництво і використання

Видобування в ЄС в основному припадає на Ірландію, Швецію й Польщу, та у 2007 році склало 818 000 тонн цинкових концентратів. Це збільшення з 400 000 тонн у 1998 році є результатом оптимізації процесу, відкриття нових гірничодобувних підприємств і приєднання Польщі. Виробництво металу впало нижче позначки 1,8 мільйона тонн, яку воно перевищило в 1992 році, тоді як споживання рафінованого цинку зросло з 1 640 000 тонн до 1 770 000 тонн, що становить 30% попиту на цинк у країнах із ринковою економікою. Див. Таблицю 1.14, Таблицю 1.15, і Рисунок 1.5

Таблиця 1.14: Світове виробництво цинкових концентратів у 2007 році

	Виробництво у 1995 році (кт)	Виробництво у 2000 році (кт)	Виробництво у 2005 році (кт)	Виробництво у 2007 році (кт)
Індія	НД	НД	НД	745
Канада	1121	1002	667	619
Австралія	882	1380	1329	1402
Перу	692	910	1202	1444
US	644	852	748	787
ЄС	555	676	841	818

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [229, IZA plant data 2008]



Джерело: [229, IZA plant data 2008]

Рисунок 1.5: Світове виробництво цинку з концентратів у 2007 році без урахування Китаю

Після Китаю ЄС займає друге місце у світі за виробництвом цинку, значно випереджаючи Канаду і Японію, які займають третє і четверте місця відповідно. У 2007 році обсяг виробництва первинних металів у ЄС склав 2 160 000 тонн, що складає близько 20% від загального обсягу ринкової економіки, що складає 11 мільйонів тонн. Крім того, після Китаю, ЄС є основним споживачем цинку серед країн з ринковою економікою. 2 500 000 тонн цинку, спожитого у 2007 році, були на 30% нижче, ніж повідомив Китайський ринок і більше ніж удвічі перевищили третій за величиною споживчий ринок США.

Таблиця 1.15: Світове виробництво рафінованого цинку

	Виробництво у 1995 році (кт)	Виробництво у 2000 році (кт)	Виробництво у 2005 році (кт)	Виробництво у 2007 році (кт)
Китай	НД	НД	НД	3700
ЄС	1999	2016	2034	2160
Канада	720	780	724	802
Індія	НД	НД	НД	745
Японія	664	654	638	598
US	363	371	350	266
Австралія	322	494	457	502
СНД	410	538	608	668

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [229, IZA plant data 2008]

1.5.1.4 Виробничі майданчики

Первинний цинк здебільшого виробляють за допомогою процесів випалювання–вилуговування–електровідновлення (RLE (roast-leach-electrowin)) та процесу дистиляції у плавильній печі Imperial (ISF (Imperial Smelting Furnace). У Таблиці 1.16 показане розташування і продуктивність майданчиків у Європі.

Таблиця 1.16: Виробництво цинку у Європі з первинної сировини у 2007 році.

Країна	Компанія	Місцезнаходження	Процес	Потужність (тонн/рік)
Бельгія	Nyrstar	Бален-Оверпельт	Процес RLE	260 000
Болгарія	KCM OCK	Пловдив Кирджалі	Процес RLE Процес RLE	75 000 45 000
Фінляндія	Boliden	Коккола	Процес RLE	305 000
Франція	Nyrstar	Обі	Процес RLE	130 000
Німеччина	Ruhr-Zink ([1]) Xstrata	Даттельн Норденгам	Процес RLE Процес RLE	150 000 140 000
Італія	Glencore	Портовесме (Сардинія)	Процес RLE	100 000
Нідерланди	Nyrstar	Будель-Дорплейн	Процес RLE	240 000
Норвегія	Boliden	Одда	Процес RLE	165 000
Польща	ZGH Bolesław HC Miasteczko Slaskie	Болеслав Мястечко	Процес RLE піч ISF	90 000 80 000
Румунія	Mytilineos	Копша-Міке	піч ISF	45 000
Іспанія	Xstrata Española del Zinc	Сан-Хуан-де-Ньєва Картахена	Процес RLE Процес RLE	490 000 НД

([1]) Ruhr-Zink припинив свою діяльність 31.12.2008 року.
Примітка:
RLE: випалювання–вилуговування–електровідновлення
ISF: плавильна піч Imperial.
НД = немає даних.
Джерело: [229, IZA plant data 2008]

Цинк перероблюється з продуктів із вичерпаним строком експлуатації, таких як листи, латунь і деталі лиття під тиском, які переплавляють і повторно використовують. Він також переробляється під час переплавлення сталевого брухту в електродугових печах (ЕДП), де цинк випаровується й уловлюється з димовим пилом і відновлюється на спеціалізованих підприємствах.

У Таблиці 1.17 показане розташування і продуктивність майданчиків у Європі.

Таблиця 1.17: Установки для переробки цинку з продуктів із вичерпаним строком експлуатації в ЄС (2007 р.)

Країна	Компанія	Місцезнаходження	Процес	Середній обсяг виробництва у вигляді Zn (кт/рік)
Болгарія	KCM	Пловдив	Вельц-процес	20
Франція	Arcelor-Mittal	Ісберг	MHF ([1])	20
	Recytech	Фук'єр	Вельц-процес	25
Німеччина	Befesa	Дуйсбург	Вельц-процес	20
	Befesa	Фрайберг	Вельц-процес	45
	Recylex	Гослар	Вельц-процес	15
Італія	Pontenossa, SpA	Понте-Носса	Вельц-процес	20
	Glencore	Портовесме	Вельц-процес	20
Люксембург	Arcelor-Mittal	Вейвер	MHF ([1])	25
Норвегія	Eras Metal	Хьойангер	Плазмова обробка	15
Польща	Bolesław recycling	Болеслав	Вельц-процес	25
Іспанія	Befesa	Більбао	Вельц-процес	35

([1]) MHF: Багатоподова піч (Multiple hearth furnace).
Джерело: [229, IZA plant data 2008]

1.5.1.5 Основні екологічні проблеми

Історично, головною екологічною проблемою, пов'язаною з виробництвом цинку з первинних джерел, був викид діоксиду сірки в повітря в результаті випалювання та плавки сульфідних концентратів. Цю проблему було ефективно розв’язано плавильними заводами ЄС, які зараз досягають високого ступеня уловлювання сірки та виробляють сірчану кислоту і рідкий діоксид сірки.

В результаті вилуговування продукту випалу та інших матеріалів, утворюється розчин, що містить залізо. Видалення заліза призводить до утворення значної кількості твердих відходів, які містять різні метали. Утилізація цих відходів вимагає дуже високих стандартів локалізації та моніторингу.

Дифузні викиди від випалювання й кальцинації також є дуже важливими, і їх необхідно враховувати на всіх етапах процесу. Конкретним прикладом цього є дифузні викиди кислотних туманів під час електровідновлення цинку.

Цинк і цинкові вироби можна значною мірою переробити. Оцінки, засновані на попередньому споживанні та строках експлуатації продукції, показують, що рівень відновлення відновлювального цинку досягнув 80%. Система переробки цинку є дуже прогресивною не тільки стосовно металевого цинку, але і для кількох різних форм.

1.5.2 Кадмій

1.5.2.1 Загальна інформація

Кадмій належить до підгрупи цинку періодичної таблиці Менделєєва й був відкритий Фрідріхом Штромеєром у 1817 році під час дослідження $ZnCO_3$. Він поєднаний із цинком у мінералах у співвідношенні 1:300 Cd до Zn. Він фізично схожий на цинк, але м'якший і щільніший і його можна полірувати. На відміну від цинку, він стійкий до лугів. Кадмій також є хорошим поглиначем нейтронів і тому часто використовується у ядерних реакторах. У своїх сполуках він має ступінь окислення 2+. Кадмій поширений у всьому світі з вмістом від 0,1 ppm до 1 ppm у верхньому шарі ґрунту.

1.5.2.2 Джерело матеріалів

Існує лише кілька мінералів, пов'язаних з кадмієм, таких як гринокіт (CdS) і отавіт ($CdCO_3$) і CdO. Жоден із цих мінералів не має промислового значення. Мінерали цинку, які містять кадмій як ізоморфний компонент у концентраціях близько 0,2%, мають економічне значення для вилучення кадмію. Крім того, свинцеві та мідні руди можуть містити невелику кількість кадмію.

1.5.2.3 Виробництво і використання

На відміну від інших металів, кадмій почали очищати та використовувати відносно недавно; виробництво та використання виникли лише за останні 50-60 років. Основними напрямками використання сьогодні є:

- гальванічне кадмієве покриття;
- нікель-кадмієві акумулятори;
- деякі пігменти та стабілізатори для пластмас;
- сплави для спеціалізованих застосувань у сфери тепло- та електропровідності, електроконтактні сплави та ядерні регулюючі стрижні;
- невелика кількість використовується для сонячних батарей.

З 1988 року світове виробництво кадмію постійно знижувалось із 20 000 тонн/рік до 18 000 тонн/рік. Використання кадмію в різних сферах застосування змінювалося з 1970 року, і на нього впливали технічні, економічні та екологічні чинники. Це вплинуло на ціни на метал. Ціни на метал у 1970-х роках досягли 3 доларів США за фунт, а в 1980-х роках коливалися від 1,1 до 6,9 долара США за фунт. З того часу ціна на кадмій впала до 1 долару США за фунт і навіть опустилася до 0,45 долара США за фунт, що еквівалентно рівню цін на цинк.

Основні країни-виробники та споживачі кадмію наведені у Таблиці 1.18.

Таблиця 1.18: Основні виробники та споживачі кадмію у 2007 році

Країна	Виробництво (тонни/рік) (Cd та сполуки Cd)	Споживання (тонни/рік) (Cd та сполуки Cd)
Корея	3704	100
Китай	3000	5407
Канада	1388	107
Японія	1934	2210
Бельгія	0	4799 (як CdO)
Мексика	1584	140
Сполучені	700	441
Німеччина	575	666
Франція	300	268

Кадмій відновлюється:

- шляхом пірометалургійного відновлення Pb-Cu з димового пилу плавильного виробництва;
- шляхом пірометалургійного відновлення Pb-Zn з димового пилу агломераційних/випалювальних процесів та з чорнового цинку;
- шляхом гідрометалургійного вилучення цинку в цементаті кадмію, отриманому під час очищення електроліту.

Димовий пил, як правило, вилуговується H_2SO_4 для відділення кадмію, який потім осаджується у вигляді $CdCO_3$ або перетворюється на кадмієву губку з вмістом кадмію більше ніж 90%. Губку можна або плавити під NaOH і дистилювати у вакуумі, або розчинити та піддати електролізу.

Чорновий цинк можна дистилювати за методом «Нью-Джерсі» для отримання чистого цинку та сплаву Cd-Zn з вмістом кадмію понад 60%. Сплав Cd-Zn, отриманий у процесі дистилювання за методом «Нью-Джерсі» двічі дистилюють перед тим як отримати чистий кадмій.

Цементи зазвичай розчиняють і піддають електролізу для отримання кадмію високої чистоти (≥ 99,99% кадмію).

1.5.2.4 Виробничі майданчики

У 1990-х роках припинили свою діяльність кілька підприємств ЄС. Кадмій, як і раніше, вилучається з основних процесів виробництва цинку в контрольованих умовах, а відходи виробництва надійно зберігаються відповідно до законодавства про відходи. Переробка відбувається, але у ній бере участь мало підприємств. В основному використані акумулятори переробляються для відновлення кадмію та нікелю (див. Таблицю 1.19).

Таблиця 1.19: Основні європейські виробники первинного та вторинного кадмію у 2007 році

Країна	Компанія	Місцезнаходження	Процес	Потужність (тонн/рік)
Болгарія	KCM OCK	Пловдив Кирджалі	Процес RLE	320 100
Франція	SNAM	Вів'є	Переробка	300
Німеччина	Xstrata Accurec	Норденгам Мюльгайм	Процес RLE Переробка	475 100
Італія	Glencore	Портовесме	Процес RLE	450
Нідерланди	Nyrstar	Бюдел	Процес RLE	575
Норвегія	Boliden	Одда	Процес RLE	100
Польща	H.C. Мястечко Sl.	Мястечко Сльо	піч ISF	350
Швеція	SAFT	Оскарсгамн	Переробка	300
Румунія	Mytilineos	Копша-Міке	піч ISF	100

1.5.2.5 Основні екологічні проблеми

Значний вплив на викиди має стан законодавства щодо сполук кадмію. Рівень кадмію в атмосфері обмежений Директивою 2004/107/ЄС, що стосується миш'яку, кадмію, ртуті, нікелю та поліциклічних ароматичних вуглеводнів у навколишньому повітрі. Кадмій також визначено як пріоритетну небезпечну речовину в Додатку X до Директиви 2000/60/ЄС, що встановлює основу для громадської діяльності у сфері водної політики.

Типовий процес виробництва цинку дає змогу виробляти 600 т кадмію на рік. Виробництво кадмію суворо контролюється для запобігання дифузним викидам та видалення пилу відповідно до дуже високих стандартів. Менш ніж 2% впливу кадмію на населення в цілому відбувається через викиди в довкілля продуктів, що містять кадмій, протягом їхнього загального періоду експлуатації.

У багатьох сферах застосування кадмієві сплави є суттєвими та не можуть бути замінені іншими матеріалами. Так само використання кадмію в акумуляторних батареях також може бути корисним для довкілля.

Критичним впливом кадмію на людину є дисфункція ниркових канальців. Пошкодження канальців на пізніх стадіях є незворотним, тому профілактика важливіша за діагностику. Тривалий біологічний період напіврозпаду кадмію може призводити до постійного підвищення його рівня в нирках протягом багатьох років, тому вплив у минулому часто буває більш важливим, ніж поточний вплив. З цієї точки зору, більшість підприємств ЄС застосовують заходи запобігання та управління ризиками, що містяться в керівному документі EMI/CdA, оновленому у 2006 році.

1.6 Дорогоцінні метали

1.6.1 Загальна інформація

Дорогоцінні метали [35, COM 1997] включають такі добре відомі метали, як золото та срібло, а також шість металів платинової групи (МПГ): платину, паладій, родій, іридій, рутеній та осмій. Їх називають дорогоцінними металами через їхню рідкість та внутрішню вартість.

ЄС має найбільші у світі виробничі потужності з переробки та виробництва дорогоцінних металів, хоча його фактичні мінеральні ресурси таких металів обмежені. Переробка дорогоцінних металів із брухту та промислових відходів завжди була важливим джерелом сировини для промисловості дорогоцінних металів ЄС.

Золото в ЄС споживається в основному для ювелірних виробів, меншою мірою воно використовується в електроніці та інших промислових та декоративних цілях. Основними споживачами срібла є промислові області застосування (47%), причому на фото- та ювелірну промисловість припадає 6% і 15% відповідно. Метали платинової групи широко використовуються як каталізатори, і введення обмежень на викиди для транспортних засобів, що продаються в ЄС, стимулювало попит на їхнє використання в каталітичних нейтралізаторах.

1.6.2 Джерела матеріалів

Шахти у всіх частинах світу відправляють на афінажні заводи ЄС велику кількість дорогоцінних металів у вигляді сирої руди або побічних продуктів. Афінажні заводи зі значними потужностями з переробки дорогоцінних металів розташовані в Бельгії, Німеччині, Швеції, Фінляндії та Сполученому Королівстві. У Болгарії, Польщі та Румунії ведеться значна діяльність із видобутку дорогоцінних металів або неблагородних металів із вмістом дорогоцінних металів. Ці види діяльності, як правило, дають змогу вилучати дорогоцінні метали зі свинцевих і цинкових, мідних або нікелевих руд, а також із низькосортного брухту всіх видів, і вони надають чисті метали в зливках або пластинах, гранулах або губці.

У Європі є невеликі родовища руд дорогоцінних металів; у Таблиці 1.20 показаний видобуток срібла у 2005 та 2012 роках. Польща є другим за величиною виробником срібла у світі після Мексики. Ці джерела становлять приблизно 25% світового обсягу первинного срібла, 1,1% світового обсягу первинного золота та 0,08% світового обсягу первинних металів платинової групи. У Греції розробляються родовища золота, і їхній внесок буде значним у найближчі роки.

Таблиця 1.20: Видобуток дорогоцінних металів у 2005 та 2012 роках

Країна	Срібло (т) 2005	Срібло (т) 2012	Золото (т) 2005	Золото (т) 2012	МПГ (т) 2005	МПГ (т) 2012
Фінляндія	15,0	128,2	0,5	10,8	0,1	0
Франція	1,0	НЗ	3,5	НЗ	НЗ	НЗ
Греція	25	31	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Ірландія	4,0	9,4	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Італія	5,0	0	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Польща	1244	1149	0,71	0,92	0,07	0,05
Португалія	24	29,9	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Румунія	20	18	0,5	0,5	0,01	НЗ
Іспанія	5,0	32,6	5,4	1,3	НЗ	НЗ
Швеція	268	309,3	6,3	6,0	НЗ	НЗ
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [363, Brown et al. 2013]						

У Європі є низка компаній, які спеціалізуються на зборі, попередній обробці та торгівлі брухтом та вторинними матеріалами до того, як розпочнуться етапи хімічного аналізу та переробки. Зазвичай це відпрацьовані каталізатори, друковані плати, комп'ютери, що вийшли з експлуатації, стара фотоплівка, рентгенівські пластини та розчини, відпрацьовані гальванічні ванни тощо.

1.6.3 Виробництво і використання

Вартість відновлення та переробки більш ніж виправдана високою внутрішньою вартістю дорогоцінних металів, що містяться в цьому брухті та відходах. Переробці дорогоцінних металів сприяють як економічні аспекти, так і екологічні проблеми, у зв'язку з якими встановлюються суворіші обмеження на припустимий вміст металів у відходах, що відправляються на захоронення.

Афінаж (очищення) золота, срібла та металів платинової групи в ЄС відбувається або на спеціалізованих підприємствах із переробки та виробництва дорогоцінних металів, або на заводах із переробки неблагородних металів. Сукупні потужності компаній ЄС із переробки дорогоцінних металів є найбільшими у світі (див. Таблицю 1.21).

Таблиця 1.21: Річна потужність європейських заводів із переробки у 2006 році

Країна	Срібло (тонн/рік)	Золото (тонн/рік)	МПГ (тонн/рік)
Австрія	190	70	1
Бельгія	2440	60	45
Франція	1520	135	12
Німеччина	2700	193	92
Італія	1050	115	15
Нідерланди	130	15	1
Польща	1500	3	0
Іспанія	830	30	5
Швеція	250	15	1
UK	2320	300	100
Швейцарія	620	565	14
Інші країни ЄС	50	10	5

Потужність заводу з переробки приблизно вдвічі перевищує обсяг фактично перероблюваного металу, тому може підтримуватися швидкий оборот обробленого металу.

Більшість дорогоцінних металів досить легко виготовити у вигляді чистих металів чи сплавів. Зокрема, золото та срібло зазвичай перетворюють на спеціальні сплави для ювелірних чи стоматологічних цілей для покращення зносостійкості чи кольору. Через високу внутрішню вартість і широкий діапазон необхідних форм і сплавів такі метали зазвичай виробляються або обробляються у відносно невеликих кількостях порівняно з неблагородними металами. Одним із небагатьох продуктів із дорогоцінних металів, що виробляються в тоннах, є нітрат срібла для фотоіндустрії.

У Європі попит на дорогоцінні метали є високим. Ювелірна торгівля споживає найбільше золота, а промислова область застосування — срібла. Найбільше споживання платини припадає на виробництво автомобільних каталізаторів. Інші основні галузі застосування — у хімії, стоматології та фінансовій сфері, наприклад, у карбуванні монет. Попит на дорогоцінні метали у 2006 році показаний в Таблиці 1.22 нижче.

Таблиця 1.22: Попит на дорогоцінні матеріали у 2006 році

Загальний попит	Срібло (тонн/рік)	Золото (тонн/рік)	МПГ (тонн/рік)
Європейський	5710	881	85
Світовий	26 142	3692	488

1.6.4 Виробничі майданчики

Основні переробники та виробники дорогоцінних металів у ЄС працюють у міжнародному масштабі та є світовими лідерами у своїй галузі. Видатні назви — Umicore та Heraeus у Німеччині та Johnson Matthey та Vale у Сполученому Королівстві. Американська компанія з виробництва дорогоцінних металів Engelhard Corporation кілька років працювала у ЄС. У 2008 році заводи з виробництва та переробки каталізаторів компанії Engelhard були придбані компанією BASF.

Найбільші переробники неблагородних металів у ЄС, які беруть значну участь у виробництві дорогоцінних металів включають Umicore у Бельгії, Aurubis у Німеччині, Norilsk Nickel у Фінляндії, KGHM Polska Miedź у Польщі та New Boliden у Швеції.

1.6.5 Екологічні проблеми

Заводи з переробки дорогоцінних металів у ЄС є технічно передовою високопродуктивною галуззю, яка високою мірою орієнтована на дослідження та розробки. У технологічних процесах часто використовуються небезпечні реагенти, такі як HCl, HNO_3, Cl_2 та органічні розчинники. Для утримання цих матеріалів використовуються передові методи обробки, а невеликі масштаби виробництва дають змогу ефективно використовувати ці методи для мінімізації та скорочення потенційних викидів. Це включає не тільки нові сфери застосування дорогоцінних металів, але також відкриття методів економії кількості дорогоцінних металів, що використовуються в наявних галузях застосування. Сировина піддається інтенсивному відбору проб і аналізу, а технологічні відходи аналізуються відповідно до одних і тих самих стандартів.

Відновлення цих металів із вторинної сировини є особливо важливим, і багато з цих матеріалів класифікуються як відходи в інших галузях промисловості.

1.7 Феросплави

1.7.1 Загальна інформація

Феросплави — це леговані сплави, які містять деяку кількість заліза та один або кілька кольорових металів у якості легуючих елементів. Металевий кремній виробляється в тому ж металургійному процесі, як і феросиліцій, і тому вважається феросплавом. Феросплави використовуються у якості розкислювальних елементів у сталеплавильному виробництві та дають змогу безпечно й економічно вводити легуючі елементи, такі як хром, кремній, марганець, нікель, ванадій і молібден в металургійні процеси, тим самим надаючи легованому металу певні бажані властивості, наприклад, підвищену стійкість до корозії, твердість або зносостійкість.

Важливість феросплавів зросла з розвитком металургії сталі, яка вимагала різноманітних легуючих елементів для досягнення більшого контролю обсягів виробництва чистішої та якіснішої сталі. Феросплавне виробництво стало ключовим постачальником для сталеливарної промисловості.

Металевий кремній використовується як легуючий елемент в алюмінії, у хімічній та електронній промисловості, у сонячних батареях тощо.

Феросплави зазвичай поділяються на дві групи:

- феросплави масового застосування (ферохром, феросиліцій разом із металевим кремнієм, феромарганець, силікомарганець та феронікель), які виробляються у великих кількостях у дугових електропечах;
- спеціальні феросплави (феротитан, феровanадій, феровольфрам, фероніобій, феромолібден, феробор, легований або очищений феросиліцій, металевий кремній та потрійні сплави та такі, що складаються з чотирьох елементів), що виробляються в менших обсягах, але набувають усе більшого значення.

Феросплави масового застосування використовуються переважно в сталеплавильному та сталеливарному або чавуноливарному виробництвах. Використання спеціальних феросплавів набагато різноманітніше, і їхня частка в сталеплавильному виробництві за останні роки зменшилася на користь тих, що використовуються в алюмінієвій та хімічній промисловості, особливо в кремнієвій продукції.

1.7.2 Джерела матеріалів

Сировиною (легуючими елементами) для феросплавів є або основні продукти (кварцит для кремнію, хроміт для хрому, штейн для нікелю тощо), або побічні продукти видобутку (молібденіт від видобутку міді). Звісно, два джерела можуть бути присутні одночасно. У більшості випадків для FeCr і FeMn частину заліза також отримують з руди, і залізо не додається.

Сировина також може бути отримана з брухту, що найчастіше стосується частки заліза в складі, що отримується з брухту чавуну і сталі, а також легуючого елемента, наприклад, титану. Відходи виробництва сталеплавильних заводів, такі як пил від фільтрів електродугових печей та конвертерів, а також пил від дробоструминної обробки та шліфування, є важливою вторинною сировиною, значення якої зростає. Основні джерела сировини та родовища легуючих елементів наведені нижче.

- Хроміт в основному зосереджений у двох великих родовищах, розташованих у Південній Африці та Казахстані. Найменші родовища знаходяться в інших регіонах, таких як Індія, Бразилія та Європа (Фінляндія, Туреччина, Албанія та Греція).
- Сировина для виробництва феросиліцію та металевого кремнію доступна у всьому світі, хоча не всі джерела дають змогу виробляти всю гаму кремнієвих сплавів за прийнятних економічних умов та відповідності вимогам до якості.

- Марганцевмісна руда переважно видобувається в Південній Африці, Україні, Габоні та Австралії. Дрібніші точки залягання виявлені в Бразилії, Індії, Мексиці та М'янмі. Якість (зміст марганцю та рівень/характер домішок) руди може сильно вплинути на економіку виробництва феросплавів.
- Нікелевмісна руда здебільшого знаходиться в Австралії, Новій Каледонії, Індонезії, Філіппінах, Китаї, Бразилії, Колумбії, Канаді, Казахстані, Росії та Африці. Концентрація нікелю в руді значною мірою впливає тип використовуваного металургійного процесу, який так само впливає на економіку виробництва.
- Спеціальні легуючі елементи дуже часто зосереджені в кількох країнах (молібден — у Північній Америці, Чилі та Китаї; ніобій — у Бразилії), а ціни та доступність значною мірою залежать від економічних умов.
- Багаті шлаки також є важливою сировиною та надходять у результаті процесів виробництва FeMn та відновлення акумуляторів.

1.7.3 Виробництво і використання

Приблизно з 1978 року ринок феросплавів у всьому світі значно змінився. Споживання в країнах, що розвиваються, значно збільшилося з розвитком їхньої сталеливарної промисловості, і тепер вони займають усе більшу частку традиційних ринків промислово розвинених країн, де виробництво сталі перебувало в застої або зростало повільними темпами. Отже, феросплавна промисловість ЄС стикається зі зростаючою часткою імпорту, спочатку з нових промислово розвинених країн, а в останні роки з країн Східної Європи, СНД та Китаю.

Як наслідок, виробництво феросплавів у ЄС зіштовхнулося із серйозною конкуренцією, внаслідок чого виникла тенденція до зниження загальної кількості феросплавів, що виготовляються в ЄС. Фактичний загальний обсяг виробництва феросплавів у Європі, поділений на різні сплави, та країни, у яких вони виробляються, можна побачити в Таблиці 1.23. У той час як світове виробництво феросплавів збільшилося в період із 2003 до 2007 року з 22,6 мільйона тонн до 31,8 мільйона тонн (див. Таблицю 1.24), виробництво феросплавів у Європі знизилося з 3 мільярдів тонн до 2,1 мільйона тонн. У 2007 році провідними країнами-виробниками феросплавів були Китай, Південна Африка, Україна, Росія та Казахстан за зменшенням обсягу виробництва. На ці країни припадає 78% світового виробництва феросплавів.

Остання європейська доменна піч, що використовувалася для виробництва феросплавів масового застосування, була закрита у 2003 році, і тепер усі феросплави масового застосування в Європі виробляються в електродугових печах.

Таблиця 1.23: Виробництво феросплавів масового застосування у Європі з 2006 до 2012 року, у тоннах на рік

Країна	Підгрупа товарів	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Австрія	Феромолібден	5000	5000	5000	4500	4000	4000	4000	4000
	Феронікель ([1])	2500	2500	3000	2000	2500	2500	2500	2500
	Феровanадій	6250	6250	6500	6300	6200	8000	8000	8000
Болгарія	Феросиліцій	10 000	10 000	10 000	6000	3000	0	0	0
Чеська Республіка	Феровanадій	2600	2800	1700	2800	1900	3400	4600	5700
Фінляндія	Ферохром	234 881	243 350	241 760	233 550	123 310	238 000	231 000	229 000
Франція	Феромарганець	НД	НД	144 000	46 600	46 000	138 100	130 500	131 000
	Феромарганець і шпігель	109 111	139 533	0	0	0	0	0	0
	Феросилікомарганець	52 300	63 300	65 400	60 200	54 100	62 400	63 400	64 000
	Феросиліцій	67 000	34 000	31 000	30 000	18 300	27 000	59 000	60 000
	Металевий кремній	100 000	100 000	120 000	118 000	80 000	112 000	128 000	130 000
Німеччина	Ферохром	22 672	26 710	22 030	26 960	13 667	17 300	17 800	17 800
	Інші феросплави	25 400	24 100	5000	5000	6336	9200	9000	9000
	Металевий кремній	29 349	29 865	29 379	29 092	27 620	30 105	30 134	28 574
Греція	Феронікель	96 000	89 000	93 300	83 200	42 400	69 600	94 000	96 435
Ісландія	Феросиліцій	114 844	113 798	114 886	107 882	112 992	114 230	120 076	131 818
Італія	Феромарганець	32 000	30 000	30 000	30 000	20 000	25 000	25 000	27 000
	Феросилікомарганець	99 000	96 600	87 000	87 000	56 000	108 000	145 000	110 000
Норвегія	Феромарганець	130 000	130 000	130 000	130 000	130 000	130 000	130 000	130 000
	Феросилікомарганець	288 137	325 708	293 699	273 485	247 615	281 266	248 700	266 000
	Феросиліцій	329 316	123 819	170 024	185 344	233 974	200 000	170 102	203 886
	Інші феросплави	60 000	60 000	62 000	60 000	150 000	150 000	150 000	150 000
	Металевий кремній	178 572	150 000	140 000	180 135	169 643	170 000	170 000	170 000
Польща	Феромарганець	7782	4089	2093	8475	1736	800	800	800
	Феросилікомарганець	10 242	3310	15 590	25 061	72	100	400	200
	Феросиліцій	65 118	13 034	58 538	56 031	9673	53 206	72 668	79 400
	Інші феросплави	3663	4488	6255	2948	4190	200	300	300
Румунія	Ферохром	0	0	0	6179	15 377	14 353	0	0
	Феромарганець	18 625	3777	0	0	0	0	0	0
	Феросилікомарганець	100 957	66 476	26 868	9979	0	20 605	30 000	30 000
Словаччина	Ферохром	867	19	0	0	0	0	0	0
	Феросилікомарганець	47 843	59 128	71 587	59 940	32 000	34 960	25 036	50 089
	Феросиліцій	16 512	16 155	8583	10 844	4600	26 419	32 304	32 726
	Інші феросплави	48 161	65 498	74 065	61 194	22 250	38 860	18 575	12 862
Словенія	Феросиліцій	15 529	12 550	6000	0	0	0	0	0
Іспанія	Феромарганець	35 000	148 000	155 000	161 000	60 100	134 000	108 000	108 000
	Феросилікомарганець	100 000	100 000	153 000	158 000	59 200	132 000	164 000	165 000
	Феросиліцій	70 000	67 000	71 000	74 000	44 000	64 400	57 000	57 000
	Металевий кремній	32 000	32 000	32 000	33 000	23 000	32 500	43 000	45 000
Швеція	Ферохром	127 500	136 400	124 400	118 700	31 100	64 400	80 140	35 800
	Феросиліцій	9800	4600	4300	0	0	0	0	0

Примітка: НД = немає даних.
([1]) Австрія припинила виробництво феронікелю у 2013 році.
Джерело: [363, Brown et al. 2013]

Таблиця 1.24: Світове виробництво феросплавів за типом печі та типом сплаву з 2003 до 2007 року, у тоннах на рік (вага брутто)

Тип печі	Тип сплаву	2003	2004	2005	2006	2007
Доменна піч	Феромарганець	899 000	826 000	648 000	764 000	774 000
	Шпігель	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000
	Інше	104 000	104 000	63 500	63 500	83 500
Електрична піч	Ферохром	6 070 000	6 590 000	6 910 000	7 340 000	8 370 000
	Феросилікохром	123 000	131 000	128 000	129 000	133 000
	Феромарганець	3 130 000	3 840 000	3 770 000	4 190 000	4 420 000
	Феронікель	983 000	1 050 000	1 080 000	1 140 000	1 170 000
	Фероніобій (фероколумбій)	37 000	26 200	39 900	42 600	43 100
	Феросиліцій	4 950 000	5 660 000	5 800 000	6 480 000	6 760 000
	Силікомарганець	4 620 000	6 020 000	6 080 000	6 930 000	7 310 000
	Металевий кремній	703 000	760 000	811 000	628 000	641 000
	27 інших	1 000 000	1 360 000	2 330 000	4 100 000	4 630 000

Через технічні та металургійні розробки та зміни у виробництві чавуну та сталі структура споживання феросплавів також змінилася, особливо в промислово розвинених країнах:

- вуглецева сталь усе частіше виробляється в електродугових печах із брухту, що дає змогу відновлювати легуючі елементи, знижуючи відносну витрату феросплавів;
- більш ефективне виробництво вуглецевої сталі (наприклад, безперервне лиття) та більш досконала металургія призвели до значного зниження питомого споживання марганцю (із 7 кг/тонну сталі до 5 кг/тонну за 20 років) та феросиліцію (з 5 кг/тонну сталі до 3,5 кг/тонну за 20 років);
- зростальна потреба в металургійно-складних легуючих елементах (ніобій, молібден) та в елементах для обробки (кальцій) призвела до збільшення споживання спеціальних сплавів;
- зростання виробництва неіржавної сталі призвело до значного збільшення споживання хромових сплавів (в основному високовуглецевого ферохрому).

Споживання в Західній Європі було відносно стабільним, близько 4,2 мільйона тонн на рік, а виробництво впало з 4 мільйонів до 3 мільйонів тонн з 1988 року.

1.7.4 Виробничі майданчики

Існує низка компаній, що виробляють різні феросплави приблизно на 60 промислових підприємствах у Європі. Найбільшими країнами-виробниками феросплавів у Європі є Норвегія у виробництві феросплавів масового застосування, а також Франція та Іспанія, особливо у виробництві марганцевих та кремнієвих сплавів. Фінляндія є великим виробником ферохрому з хромової руди з місцевого рудника. У Швеції виробляються переважно ферохром та феросиліцій. Спеціальні феросплави, такі як феромолібден, ферованадій і феротитан, виробляються в Австрії та Німеччині.

1.7.5 Основні екологічні проблеми

Виробництво феросплавів зазвичай включає використання електродугових печей та реакційних тиглів, у які завантажуються природні продукти (наприклад, кварц, вапно, різні руди та деревина) з відносно непостійним фізичним складом. З цієї причини основним впливом виробництва феросплавів на довкілля є викиди пилу та диму в процесі плавки. Викиди пилу також виникають під час зберігання, поводження та попередньої обробки сировини, де дифузні викиди пилу відіграють важливу роль. Залежно від використовуваної сировини та технологічного процесу, іншими викидами в атмосферу є SO_2, NO_X, CO, CO_2, поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), леткі органічні сполуки (ЛОС) та метали, такі як Hg, As та Cr. Можливе утворення ПХДД/Ф у зоні згоряння та в охолодній частині системи очищення димових газів (синтез de novo) [226, Nordic Report 2008].

Значні виробничі відходи та побічні продукти — це шлак, пил із фільтрів та осад, а також відпрацьовані вогнетриви. Ці матеріали вже переробляються та використовуються повторно, де це можливо. Багатий шлак, тобто шлак із відносно високою часткою оксидів металів, використовується як сировина у виробництві інших феросплавів. Наприклад, багатий шлак від виробництва феромарганцю є одним із найважливіших сировинних матеріалів для виробництва силікомарганцю. Відпрацьовані води утворюються внаслідок охолодження, грануляції та інших процесів.

Феросплавна промисловість, основним інструментом якої є електродугова піч, у якій оксиди металів відновлюються вуглецем, є основним споживачем енергії та виробником діоксиду вуглецю (CO_2). Тому зменшення споживання енергії завжди вважалося найважливішим пріоритетом. Закони термодинаміки, які регулюють використовувані реакції, обмежують можливе зниження споживання енергії, необхідної для процесу плавки. Отже, зниження загального енергоспоживання в більшості випадків можливе лише з використанням ефективної системи рекуперації енергії. Відновлена енергія може бути перетворена на електричну або використана як тепло у різних цілях. Відпрацьований газ із закритих печей, збагачений CO, також може використовуватися як вторинне паливо або як сировина для хімічних процесів. Рекуперація енергії знижує використання інших природних енергетичних ресурсів та, відповідно, вплив глобального потепління.

1.8 Нікель і кобальт

1.8.1 Нікель

1.8.1.1 Загальна інформація

Нікель [35, COM 1997], [92, Laine, L. 1998], – це сріблясто-білий метал із типовими металевими властивостями. Хоча він був відкритий як метал тільки в 1751 році, його сплави використовувалися протягом кількох століть, наприклад, китайці виготовляли "білу мідь", що зовні нагадувала срібло. Між 1870 та 1880 роками було продемонстровано використання нікелю в легованих сталях, та було успішно розроблено електролітичне нікелювання.

Велика важливість нікелю полягає в його здатності під час легування з іншими елементами підвищувати міцність, ударну в'язкість та корозійну стійкість металу в широкому діапазоні температур. Тому нікель є надзвичайно важливим комерційним елементом. З огляду на ці корисні властивості, нікель використовується в різних продуктах. Первинний нікель здебільшого використовується в сплавах; найважливішим із яких є неіржавна сталь. До інших сфер застосування відносять гальванізацію, ливарне виробництво, каталізатори, акумулятори, карбування монет та інші різні галузі застосування. Нікель міститься в транспортних засобах, електронному обладнанні, хімікатах, будівельних матеріалах, нафтопродуктах, деталях та обладнанні літаків та аерокосмічної галузі, а також у споживчих товарах тривалого користування. Нікель є надзвичайно важливим металом для промислово розвинених суспільств.

За своїми хімічними властивостями нікель нагадує залізо та кобальт, а також мідь. Нікель може утворювати кілька сполук, наприклад, сульфат, хлорид, оксид та гідроксид. Однією з властивостей нікелю є його здатність реагувати безпосередньо з монооксидом вуглецю з утворенням бінарного карбонільного комплексу, який є летючим за навколишньої температури. За помірних температур нікель стійкий до впливу повітря, морської води та неокислювальних кислот. Ще однією властивістю нікелю є його корозійна стійкість до лугів. Разом з тим, на нікель впливають водні розчини аміаку.

1.8.1.2 Джерела матеріалів

Нікель — це природний елемент, який існує в природі переважно у формі сульфідних, оксидних і силікатних мінералів. Родовища бувають двох основних типів.

- Сульфіди нікелю часто трапляються разом з елементами, вилучення яких є економічно доцільним, такими як мідь, кобальт, золото, срібло, метали платинової групи та деякі інші метали. Найбільш важливі точки зосереджені в Африці, Австралії, Канаді та Сибіру.
- Нікелеві латерити — це продукти вивітрювання ультраосновних порід, які спочатку містили дуже невелику кількість нікелю. Згодом домішки вивітрюються з відкладень, а нікель присутній у вигляді складного оксиду кремнію, заліза й магнію. Кобальт та залізо зазвичай поєднані з нікелем, але латерити не містять інших цінних компонентів. Найбільш важливі родовища знаходяться в тропічних районах Південно-Східної Азії, Австралії, Нової Каледонії, Південної Америки, Карибського моря та Балкан, особливо в Греції, яка на момент написання (2014 р.) є єдиним джерелом нікелевої руди у Європі.

Комплексна металургія нікелю полягає в широкому діапазоні наявних процесів вилучення та обробки. Кожен завод — це унікальний набір технологічних особливостей та екологічних проблем. Вміст нікелю в сульфідних рудах зазвичай можна концентрувати в кілька разів відносно економічними методами збагачення руди, перш ніж концентрат буде плавитися та очищатися до нікелевих продуктів.

Латеритові руди, навпаки, піддаються лише обмеженому збагаченню фізичними методами, наприклад, магнітним або у важкому середовищі, і тому майже весь об'єм руди має надходити безпосередньо на металургійні заводи. Отже, обробка латериту має тенденцію бути більш витратною, але витрати на видобуток зазвичай набагато нижчі, ніж для

сульфідних руд. Ці відмінності, а також вартість наявних побічних продуктів можуть мати важливий вплив на життєздатність конкретного родовища й на те, виробляється з нього очищений метал або феронікель.

1.8.1.3 Виробництво і використання

Нікелеву продукцію можна розділити на три групи на основі визнаної на міжнародному рівні галузевої класифікації:

I сорт — нікель рафінований, із вмістом нікелю 99% та більше. У цю групу входять електролітичний нікель, котуни, брикети, гранули, ронделі та порошок/пластини.

II сорт — нікель шихтовий, вміст нікелю менше ніж 99%. До цієї групи входять феронікель, агломерат оксиду нікелю та технічний нікель.

Сорт III — хімічні сполуки: оксиди, сульфат, хлорид, карбонат, ацетат, гідроксид нікелю тощо.

Світове виробництво первинного нікелю у 2005 році становило приблизно 1,3 мільйона тонн, а виробничі потужності – приблизно 1,45 мільйона тонн. 2005 року у Європі виробнича потужність становила приблизно 229 000 тонн, а споживання — приблизно 410 000 тонн (див. Рисунок 1.6). Фактичний загальний обсяг виробництва на дільницях, зазначених у Таблиці 1.25, становив близько 279 000 тонн у 2008 році у порівнянні з 182 000 тоннами у 2000 році.

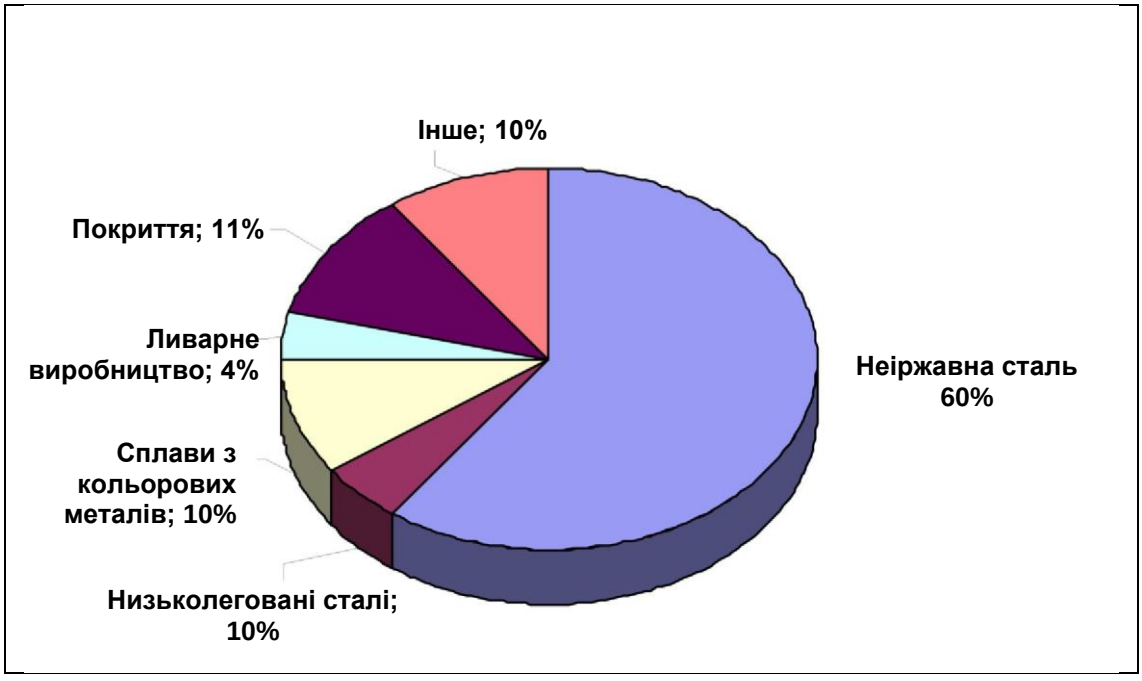


Рисунок 1.6: Використання нікелю у Європі у 2005 році.

Зростання використання первинного нікелю в Західній Європі в період з 1950 до 2005 року (4,7% на рік) перевищило зростання світового використання, але зростання з 2000 року було дуже незначним (трохи нижче 1% на рік). Частка Західної Європи у використанні світового обсягу первинного нікелю поступово знижується зі свого піку в 1998 році (38%) до 33% у 2005 році.

1.8.1.4 Виробничі майданчики

Таблиця 1.25, Таблиця 1.26 та Рисунок 1.7 показують виробничі майданчики, на яких виготовляється нікель у Європі (у 2013 році повідомлялося, що Treibacher більше не виготовляє нікель).

Таблиця 1.25: Майданчики з виробництва нікелю в Європі у 2006 році.

Виробник	Джерело сировини	Виробнича потужність (т Ni/рік)	Побічні продукти
Boliden, Фінляндія та Норильський нікель, Фінляндія	Фінляндія, Бразилія та Австралія	66 000	Осад Cu Сірчана кислота Розчин сульфату Co Сульфат Ni Гідроксокарбонат Ni
Eramet, Франція	Нова Каледонія ([1])	16 000	Хлорид кобальту Хлорид заліза
Xstrata, Норвегія	Канада та Ботсвана	86 000	Cu, Co, сірчана кислота
Vale, Сполучене Королівство Великої Британії та Північної Ірландії	Канада ([1])	41 000	Металевий нікель
Treibacher, Австрія	Вторинна сировина	< 1000	FeNi
Larco, Греція	Греція, Туреччина	25 000	FeNi
Всього		235 000	
([1]) нікель у штейні.			

Таблиця 1.26: Виробництво нікелю у Європі з 2006 до 2012 року, у тоннах на рік

Країна	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Фінляндія	47 469	55 000	51 963	41 556	49 772	49 823	46 275
Франція	13 700	14 800	13 700	13 900	14 400	13 700	14 500
Греція	17 700	18 668	16 640	8269	13 960	18 530	18 630
Нова Каледонія	48 723	44 954	37 467	38 230	39 802	40 513	43 030
Норвегія	82 257	87 600	88 700	88 577	92 185	92 000	92 000
Сполучене Королівство Великої Британії та Північної Ірландії	36 750	34 050	40 800	17 800	31 600	37 400	34 300
Всього	247 499	255 972	249 770	209 032	242 719	252 966	249 735
Примітка: дані стосуються рафінованого нікелю та вмісту нікелю у феронікелі, оксиді нікелю та нікелевих солях. *Джерело:* [363, Brown et al. 2013]							

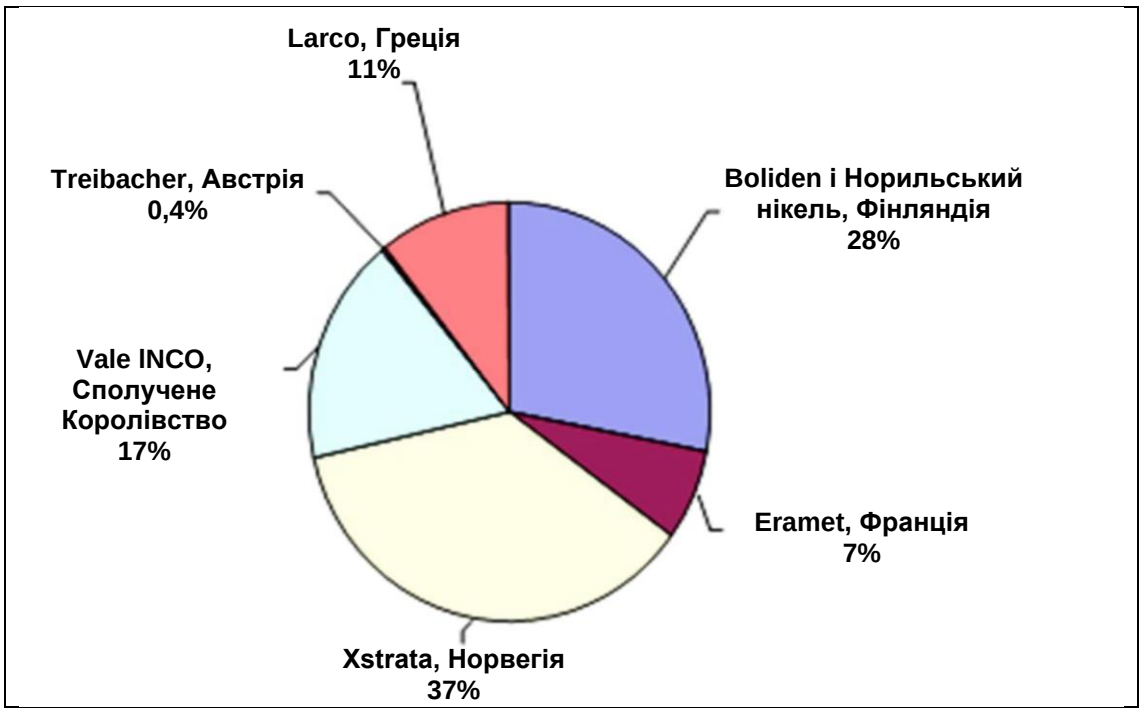


Рисунок 1.7: Виробництво нікелю у Європі у 2006 році

1.8.1.5 Основні екологічні проблеми

Викид діоксиду сірки в повітря в результаті випалювання та плавки сульфідних концентратів є потенційно серйозною екологічною проблемою. Цю проблему було ефективно розв'язано плавильними заводами ЄС, які зараз досягають у середньому 98,9% уловлювання сірки та виробляють сірчану кислоту та рідкий діоксид сірки. Дифузні викиди пилу, металів та розчинників також є проблемою, і їм необхідно запобігати або контролювати. Використання хлору в деяких процесах поєднане з надійними заходами запобігання витоку та системами сигналізації.

Основні екологічні проблеми, пов'язані з виробництвом вторинного нікелю, також пов'язані з відпрацьованими газами від різних печей, що використовуються. Ці гази очищаються тканинними фільтрами, що дає змогу знизити рівень викидів пилу та металовмісних сполук, таких як свинець. Існує також потенціал утворення ПХДД/Ф (поліхлоридний дібензопарадіоксин/фуран) через наявність невеликої кількості хлору у вторинній сировині; та усунення ПХДД/Ф є проблемою, яка зараз вирішується.

Нікель — це ресурсозберігальний товар. Основними джерелами для виробництва вторинного нікелю є неіржавна сталь та інші нікелевмісні сплави. За оцінками, близько 80% виробленого нікелю переробляється з нового і старого брухту неіржавної сталі та повертається до свого кінцевого призначення. Інші матеріали, що містять нікель, такі як осади та залишки, переробляються для виробництва первинних металів.

У багатьох сферах застосування нікелеві сплави є необхідними та не можуть бути замінені іншими матеріалами. Застосування нікелю у сферах, де використовується його міцність, стійкість до корозії, висока провідність, магнітні характеристики та каталітичні властивості, вважається позитивною екологічною перевагою. Так само використання нікелю в акумуляторних батареях також є екологічним.

Рівень нікелю в атмосфері обмежений Директивою 2004/107/ЄС, що стосується миш'яку, кадмію, ртуті, нікелю та поліциклічних ароматичних вуглеводнів у навколишньому повітрі. Нікель визначено як пріоритетну речовину в Додатку X до Директиви 2000/60/ЄС, що встановлює основу для громадської діяльності у сфері водної політики.

1.8.2 Кобальт

1.8.2.1 Загальна інформація

Кобальт [35, COM 1997], [92, Laine, L. 1998] — це сріблясто-білий метал із типовими металевими властивостями, уперше він був виділений у 1735 році. Чистий металевий кобальт застосовується в невеликій кількості галузей, але його використання у якості легуючого елемента для надання жароміцності або зносостійкості та у якості джерела хімічних сполук робить його стратегічно важливим металом.

Хоча до 20 століття металевого кобальту використовувалося дуже мало, його руди тисячоліттями використовувалися у якості блакитних барвників для скла та кераміки, наприклад, у єгипетській кераміці близько 2600 до н.е. та в китайській кераміці близько 700 р. н.е. Використання кобальту як металу датується 1907 роком, коли Е. Хейнс запатентував низку кобальт-хромових сплавів, названих стелітами, які були попередниками сучасних суперсплавів. Здатність кобальту покращувати властивості постійних магнітів було продемонстровано в 1930 році.

Кобальт використовується в сплавах, у тому числі суперсплавах для авіаційних двигунів, магнітних сплавах для потужних постійних магнітів, твердих металевих сплавах для матеріалів різальних інструментів, цементованих карбідах, зносостійких або корозійностійких сплавах та електроосаджених сплавах для забезпечення зносостійкості та корозійної стійкості металевого покриття. За останні кілька років його використання в акумуляторних батареях швидко розвивається.

Кобальтові хімічні речовини використовують в акумуляторних батареях; як пігменти в скляній, керамічній та лакофарбовій промисловості; як каталізатори в нафтовій промисловості; як сикативи; та як добавки з металевими мікроелементами для сільського господарства та медицини.

1.8.2.2 Джерела матеріалів

З початку 20 століття основний обсяг світового виробництва кобальту перемістився з Європи до Африки, Австралії, Росії та Канади. Виробництво у 2007 році склало близько 60 000 т/рік.

Кобальт виробляється в основному як побічний продукт під час видобутку та переробки мідних та нікелевих руд. Срібні, золоті, свинцеві та цинкові руди також можуть містити значну кількість кобальту, але їхня переробка не завжди призводить до його вилучення. Джерелами руд є:

- мідно-кобальтові родовища в Демократичній Республіці Конго та Замбії;
- рудні тіла сульфіду нікелю в Австралії, Канаді, Фінляндії та Росії
- рудні тіла оксиду нікелю на Кубі, у Новій Каледонії, Австралії та Росії.

Відновлення з вторинних джерел може відбуватися шляхом введення матеріалу, що переробляється, на відповідній стадії процесу первинного очищення або перетворення залежно від його технічних та економічних можливостей. Можуть знадобитися додаткові або попередні етапи обробки. Кінцеві продукти можуть бути катодами, порошками, оксидами, солями або розчинами.

Продукція надходить із таких джерел:

- нікелева промисловість 43%;
- мідна промисловість та інше 32%;
- операції з первинним кобальтом 25%.

1.8.2.3 Виробництво і використання

Первинний кобальт завжди поєднаний з іншими металами, зокрема з міддю та нікелем, і вони зазвичай переважають. Залежно від вихідного матеріалу було розроблено кілька процесів, які можуть включати пірометалургійні, а також гідрометалургійні етапи. На цих стадіях виробляють:

- розчин із високим вмістом кобальту на підприємствах із повним циклом виробництва;
- сульфід, гідроксид або карбонат із високим вмістом кобальту, якщо подальше очищення проводиться на іншому підприємстві;
- сплав із високим вмістом кобальту.

Подальше очищення є гідрометалургійним, хоча кінцевий етап, виробництво комерційного виробу, може бути високотемпературним процесом; особливо, коли виріб — це порошок, а очисна діяльність інтегрована в процес перетворення. Світове виробництво очищеного кобальту у 2012 році становило близько 77 505 тонн.

Кобальт застосовується у низці важливих сфер застосування, які наведено в Таблиці 1.27.

Таблиця 1.27: Розбивка загального виробництва кобальту за секторами використання

Сфери використання	Розбивка загального виробництва кобальту
Акумулятори	25%
Суперсплави	22%
Каталізатори	9%
Тверді сплави	12%
Пігменти	10 %
Клеї для шин/мийні засоби/сикативи	6 %
Магніти	6 %
Інші	10 %

Світовий попит на кобальт у 2007 році становив близько 55 500 т/рік і може бути поділений за регіонами таким чином:

- Африка < 1%;
- Азія 39%;
- Європа 19%;
- Китай 21%;
- Америка 18%;
- Океанія < 1%;
- інше 1%.

Хімічний сектор є найбільшим споживачем кобальту, на частку якого припадає близько 50% загального обсягу використання. Основною сферою застосування є акумуляторні батареї, сектор, який значно зріс з останні роки. До інших сфер застосування кобальту відносять каталізатори, сикативи, пігменти й фарби, гальванізація, гумові клеї, добавки для тварин і використання в медичній галузі. Оскільки кобальт надає металевій формі міцність і стійкість поверхні, він відіграє важливу роль у суперсплавах, на які припадає близько 22% споживання кобальту. Ці сплави містяться в турбінній секції реактивних двигунів, оскільки вони мають властивості, які роблять їх стійкими до умов агресивного середовища, особливо якщо вони пов'язані з нагріванням і окисленням. До 2007 року це був найбільший сектор окремого застосування кобальту, але тепер його випередили акумуляторні батареї. Кобальт також використовується для виробництва різальних інструментів (швидкорізальної сталі та алмазних інструментів) і в металевих виробах спеціального застосування, де потрібна зносостійкість. Кобальт також є важливою складовою в хірургічних сплавах спеціального призначення, які використовуються для виготовлення протезів кульшових і колінних суглобів. Метал також має чудові магнітні й парамагнітні

якості та використовується в цій сфері в обмеженому обсязі, а також у магнітних стрічках, хоча зараз ця сфера застосування є менш значною.

1.8.2.4 Виробничі майданчики

Виробництво кобальту особливо пов'язане з ділянками виробництва нікелю, а також ділянками, де знаходиться мідь. Більш значне джерело кобальту знаходиться в Демократичній Республіці Конго та Замбії. Значний вміст кобальту виявлено у зв'язку з виробництвом нікелю в Канаді та Росії. Фінляндія, Норвегія, Бельгія та Китай демонструють значне виробництво рафінованого кобальту, але це здебільшого пов'язане з переробкою імпортної руди та концентрату.

Світове виробництво кобальту показано в Таблиці 1.28.

Таблиця 1.28: Світове виробництво кобальту

Джерело	Виробництво рафінованого кобальту у 2007 році (%)	Виробництво рафінованого кобальту у 2012 році (%)
Африка	14,3	15
Австралія	6,8	6,2
Бельгія ([1])	5,3	5,4
Бразилія	2,3	2,3
Канада	10,6	7,7
Китай	25,0	38,4
Фінляндія	17,1	13,6
Франція	0,6	0,4
Індія	1,8	1,1
Японія	2,0	3,3
Норвегія	7,4	3,8
Росія	6,8	2,8
([1]) З урахуванням виробництва рафінованого кобальту на китайському заводі компанії Umicore. *Джерело:* [363, Brown et al. 2013]		

1.8.2.5 Основні екологічні проблеми

Статус деяких сполук кобальту має значний вплив на оцінку викидів. Існують потенційні викиди пилу та металів під час шліфування та меншою мірою від гідрометалургійних процесів; хлору під час електровідновлення та ЛОС під час екстракції розчинником; металу у відпрацьованих водах підприємств гідрометалургійного очищення та відновлення; твердих відходів від очищення і від обробки відпрацьованих вод. Підприємства галузі намагаються працювати екологічно раціонально та використовують різні методи для відновлення і виробництва кобальту, здебільшого залежно від складу сировини та кінцевих виробів, тому фактичне виникнення і значущість цих проблем залежить від конкретного промислового об'єкта.

1.9 Вуглець та графіт

1.9.1 Загальна інформація

Вуглецеві та графітові матеріали в основному використовуються для передачі електроенергії (катоди та графітові електроди) та як хімічні відновники в алюмінієвій промисловості (аноди).

Вуглецеві та графітові продукти можна поділити на п'ять груп.

- Зелена суміш та паста: в основному використовуються у виробництві алюмінію та феросплавів.
- Аноди, які переважно використовуються в алюмінієвій промисловості як відновник.
- Вуглець і графіт, що використовуються в основному для переробки сталі в дуговій сталеплавильній печі і як катоди в алюмінієвій промисловості.
- Вуглець та графіт спеціального призначення: широкий спектр продуктів від дуже високої чистоти до дуже високої механічної міцності та термічної стійкості.
- Кальцинований антрацит і нафтовий кокс використовуються як рекарбюризатор у виробництві сталі.

Сфери застосування вуглецевих продуктів спеціального призначення можна умовно поділити на:

- вуглець і графіт високої чистоти;
- застосування за значних механічних і термічних навантажень;
- складні продукти, такі як вуглецеве і графітове волокно;
- графітова фольга та технологічне обладнання.

Вуглецеві або графітові електроди та футерування печей виробляються для різних виробничих процесів чорної та кольорової металургії та споживаються під час виробництва металів. Для інших галузей застосування виробляється понад 2000 інших продуктів різних розмірів, форм та властивостей. Вуглець та графіт високої чистоти необхідні для виробництва напівпровідників та мікрочипів, графітові електроди — для переробки сталевого брухту, а вуглець та графіт із високою хімічною стійкістю використовуються для відновлення відходів та обробки забруднювальних речовин.

1.9.2 Джерела матеріалів

Виробництво вуглецевих та графітових матеріалів в основному ґрунтується на нафтовому коксі та вугіллі (антрациті) та сильно відпаленому коксі на основі кам'яновугільної смоли. Нафтовий пек і кам'яновугільний пек використовуються як сполучний матеріал, який зрештою перетворюється на інертний твердий вуглець, кокс або графіт під час кальцинації, виробництва або використання. Використовуються сполучні речовини на основі смол, які перед нанесенням затверджують.

Якість коксу та вугілля (антрациту) варіюється залежно від джерела, але найважливішим фактором є вміст сірки в коксі, оскільки вона виділятиметься у вигляді діоксиду сірки під час кальцинації, виробництва або використання. Зазвичай кокс на нафтовій основі або вугілля з низьким або середнім вмістом сірки використовуються для таких основних продуктів, як паста, аноди та електроди.

Властивості сировини повинні бути дуже стійкими та контролюватись фізичними та хімічними випробуваннями. Нова сировина тестується під час виробничих випробувань, щоби перевірити її придатність та адаптувати параметри виробництва до нового матеріалу. Кінцева якість сировини ґрунтується лише на характеристиках та атестації вуглецевої та графітової продукції, що виробляється.

У виробництві вуглецю спеціального призначення використовуються інші матеріали, у тому числі метал і металеві порошки, а також різні смоли.

1.9.3 Виробництво і використання

Кокс або вугілля (антрацит) зазвичай пов'язують із пеком (14–18 мас.%) для отримання зеленої пасти. Для виготовлення електродної пасти кальцинований антрацит або нафтовий кокс пов'язують пеком (20-30 мас.%). Потім ця паста проходить низку етапів формування, випікання, просочення та графітизації для отримання кінцевого продукту. Зелена паста також використовується безпосередньо для електродів Содерберга. У процесі випікання втрата ваги становить ~5% маси матеріалу. Коксова засипка використовується в деяких печах і в цих випадках споживається в розрахунку ~ 14 кг на тонну продукту.

Вуглець, кальцинований антрацит і графіт здебільшого витрачаються при їхньому застосуванні та перетворюються на діоксид вуглецю (тобто аноди для алюмінієвих та сталевих електродів). Під час виробництва сталі витрата електродів становить від 1,5 до 3 кг на тонну сталі. У зв'язку зі значним зниженням норм споживання в деяких галузях промисловості кількість вуглецю та графіту, що використовуються для виробництва алюмінію та сталі, була зменшена.

Етап обробки та обсяг виробництва варіюються залежно від продукту. Нині алюмінієва промисловість є найбільшим споживачем вуглецевих матеріалів у вигляді попередньо обпалених анодів, пасти Содерберга та катодних блоків. Як правило, спеціальні графітові вироби виготовляються в меншому обсязі, ніж електродні вироби.

1.9.4 Виробничі майданчики

Вуглецева та графітова продукція виробляється на 88 підприємствах у Європі з річною потужністю ~ 2 млн тонн (див. Таблицю 1.29).

Таблиця 1.29: Виробництво деяких основних продуктів із вуглецю і графіту в Європі у 2012 році (тонни)

	Необпалений зелений матеріал (в тому числі кальцинований антрацит + набивна подова маса)	Вугільні електроди	Графітові електроди	Катоди	Графіт спеціального призначення
Австрія	35 000	0	30 000	0	0
Франція	0	0	45 000	45 000	0
Німеччина	134 500	0	79 000	0	9700
Італія	25 000	0	20 000	0	0
Нідерланди	0	0	0	0	0
Норвегія	100 000	0	0	0	12 000
Іспанія	60 000	0	115 000	0	0
Польща	0	15 000	0	40 000	0
Швеція	0	0	0	0	36 000
UK	10 000	0	0	13 000	0
ВСЬОГО	**364 500**	**15 000**	**289 000**	**98 000**	**57 700**
Джерело: [381, ECGA 2012]					

Спостерігається стійка тенденція до закриття виробництва анодів на місці та переходу на постачання з-за меж об'єкта. Деякі з великих місцевих виробників потужністю до 150 000 т/рік також постачають аноди для невеликих заводів із виплавки первинного алюмінію. Найбільший завод із виробництва вуглецю в Європі та, ймовірно, у світі розташований у Нідерландах із виробничою потужністю 565 000 т/рік. Однак, більшість анодів, як і раніше, виробляється на численних місцевих установках.

Лише декілька компаній виробляють катоди через те, що алюмінієва промисловість передбачає дуже тривалий життєвий цикл. Термін служби катодного блоку від 6 до 10 років. Властивості мають гарантувати високі експлуатаційні характеристики щодо терміну служби, електричного опору та стирання.

1.9.5 Основні екологічні проблеми

Основний вплив цього виробництва на довкілля — це викиди в атмосферу смол і ПАВ зі складних сумішей сполучних та просочувальних пеків, діоксиду сірки з коксу та палива та ЛОС із просочувальних агентів. Для знищення смол та ПАВ із використанням нових систем допалювання було розроблено низку нових процесів боротьби з викидами. [116, VDI 1998].

Під час карбонізації пеки виділяють поліциклічні вуглеводневі сполуки. Бензо(а)пірен або ПАВ використовуються у якості нормативної речовини для контролю характеру викидів. Викиди відбуваються під час зберігання пеку, змішування та формування, у процесі карбонізації в обпалювальних печах та під час просочення. Рівень ПАВ в атмосфері обмежений Директивою 2004/107/ЄС, що стосується миш'яку, кадмію, ртуті, нікелю та поліциклічних ароматичних вуглеводнів у навколишньому повітрі.

Якщо під час виробництва вуглецевих продуктів спеціального призначення використовується кокс із підвищеним вмістом сірки або добавки сірки, можливе утворення та виділення діоксиду сірки.

Проблема викидів пилу чи твердих частинок є потенційно значущою. Дрібнозернисті матеріали зазвичай не використовуються для паст, анодів або електродів, але використовуються у виробництві інших продуктів.

Забруднення води, як правило, є другорядною проблемою для вуглецевої промисловості. Виробничі процеси є сухими та зазвичай передбачають використання замкнутих водяних систем охолодження. У виняткових випадках можна використовувати поверхневу воду для охолодження там, де це необхідно через місцеві умови.

Найбільш успішними є зусилля вугільної та графітової промисловості з переробки вуглецевих матеріалів (використаних та невикористаних) та пошуку нових сфер застосування цих матеріалів, замінюючи інші природні джерела.

2 ЗАГАЛЬНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

Існує безліч процесів, варіантів обладнання та технологій, що використовуються під час виробництва кольорових металів. Багато технологій та окремі етапи виробничих процесів є спільними для більшості кольорових металів, що виробляються, і тому, задля уникнення зайвих повторень, ці загальні етапи описуються разом. Ось ці загальні етапи:

- системи управління;
- управління енергоспоживанням;
- моніторинг;
- дифузні викиди;
- управління сировиною;
- процеси виробництва металу;
- каналізовані викиди в повітря;
- водокористування та очищення стічних вод;
- управління відходами;
- зняття з експлуатації;
- питання безпеки.

Технології зниження впливу установки на довкілля можна розділити на три категорії:

1. технології управління: що стосуються систем і процедур розробки та управління технологічним процесом, а також навчання операторів та іншого персоналу;
2. інтегровані в процес технології: що стосуються використання технологій для запобігання або скорочення викидів у результаті діяльності, пов'язаної зі зберіганням, реакцією, розділенням та очищенням;
3. енергоощадні технології та технології боротьби з викидами: що належать до технологій очищення в кінці виробничого циклу для скорочення викидів у повітря, воду та ґрунт.

У цій главі коротко описані загальні технології, які застосовуються в цьому секторі. Вказані (де це можливо) технології, які можуть запобігти або зменшити викиди в кожен об'єкт довкілля. У цій главі також вказується, де ці технології можуть використовуватись на різних етапах технологічного процесу для покращення наявних процесів. Ця тема розвивається в наступних главах, присвячених конкретним металам.

Процеси металургійного виробництва для восьми груп, визначених Технічною робочою групою, окремо розглядаються в главах 3–10. Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ у цих главах, передбачають детальніші описи процесів, приклади та діаграми. Вони також надають докладнішу інформацію про те, як працює інтегрований процес і де використовуються варіації технологій, які необхідно враховувати у визначенні НДТ, описаних у главі 2.

Значна кількість установок виробляє низку металів із різних груп або може передбачати пов'язані технологічні процеси, інтегровані з ними. Прикладами є переробка бокситів на заводі з виплавки алюмінію; наявність установки з виробництва анодів на заводі з виплавки алюмінію; або виробництво низки різних металів із комплексної сировини, зокрема міді, свинцю, цинку та дорогоцінних металів.

У таблиці 2.1 показані процеси, які можуть утворювати інтегровані установки, наведені пояснення, де знаходяться ці розділи та глави, та вказано, у яких сферах можна розглядати комплексне підприємство.

Таблиця 2.1: Процеси, які можуть утворювати інтегровані установки

Матеріали, виготовлені на одній установці	Глави, що містять інформацію про технологічний процес та інші відомості	Глави, що містять огляд технологічних процесів	Коментарі
Глинозем із бокситів на заводі з виплавки алюмінію	Глава 4	Глава 4	Інтегровано з декількома установками
Попередньо обпалені аноди, вироблені на заводі з виплавки алюмінію	Глава 4	Глава 4	Враховані фактори загальних технологій зберігання та змішування
Свинець, цинк і дорогоцінні метали у виробництві міді	Глави 5, 6 і 7	Глава 3	Певна подібність між главою 3 та іншими главами
Нікель, кобальт і мідь	Глави 3 і 9	Глава 9	
Ртуть під час виробництва інших металів	Глава 2	Глави 3 і 5	Видалення ртуті з газів плавильних заводів перед кислотним заводом
Феросплави (FeCr, FeSi, FeMn тощо)	Глава 8	Глава 8	Фактори загальних технологій боротьби з викидами. Загальні технології рекуперації енергії

Главу 2 слід враховувати разом із главами 3–10, щоб описати повний виробничий цикл, наприклад, у главах 2 і 3 наведено загальні етапи процесу виробництва міді та її сплавів.

2.1 Системи управління

Ефективне управління важливе для досягнення високих екологічних показників. Це важливий компонент НДТ і він є частиною визначення технологій, наведеного в статті 3 Директиви.

Робота, проведена під час підготовки цього документа, показала, що існує багато суттєвих відмінностей в екологічній ефективності добре керованого процесу, та ідентичного процесу, управління яким є недостатнім. Системи управління та зв'язку є одними з найважливіших факторів цієї відмінності.

Досягнення високих показників вимагає відданості на всіх рівнях компанії, починаючи з рівня правління або політики, і включає управління об'єктом, керівників і операторів. Система має встановлювати орієнтири, ставити цілі, надавати інструкції та повідомляти результати. Системи екологічного управління, такі як ISO 14001 та EMAS, системи управління що стосуються професійної гігієни та безпеки, такі як OHSAS 18001, або система управління якістю, така як ISO 9000, можуть допомогти, формалізуючи системи.

Хоча вони не є обов'язковими для Директиви про промислові викиди, установка має враховувати переваги, які можуть виникнути завдяки впровадженню такої системи. Застосовані технології можуть також покращити економічні показники шляхом підвищення експлуатаційної ефективності, зниження витрат, таких як витрати на енергію або утилізацію, та підвищення показника виходу придатного металу. Отже, ці технології є важливими факторами для сучасної установки.

2.1.1 Політика управління та обов'язки

Ефективна система управління може включати такі фактори.

- Виявлення всіх впливів діяльності, продуктів та процесів на здоров'я, безпеку та довкілля, наприклад, OHSAS 18001.
- Зобов'язання щодо розробки та реалізації визначених заходів.
- Інформування співробітників та підрядників про політику, щоби вони знали про зобов'язання та брали участь у її реалізації.
- Використання чіткої структури для управління екологічними проблемами, яка повністю інтегрована із ширшими системами прийняття рішень на підприємстві та на об'єкті.
- Екологічна ефективність процесу сильно залежить від уваги та обізнаності оператора процесу.
- Загальна екологічна ефективність може контролюватись на регулярній основі, і результати можуть складати частину процесу оцінки управління. Показники екологічної ефективності можуть бути розроблені та доведені до відома операторів, також можна отримувати та використовувати відгуки операторів.
- Можуть бути підготовлені плани дій у надзвичайних ситуаціях, які визначають потенційні типи ситуацій, які можуть статися, та дають чіткі вказівки щодо їхнього розв'язання та відповідальних осіб. Можуть бути підготовлені процедури для виявлення всіх скарг та інцидентів, реагування на них та винесення висновків за ними.
- Якщо нові процеси вводяться в експлуатацію або наявні процеси повторно вводяться в експлуатацію після внесення змін, може бути підготовлений план введення в експлуатацію, який чітко визначає проблеми та особу (осіб), яка (які) відповідають за екологічну ефективність процесу протягом періоду введення в експлуатацію.

2.1.2 Розробка та обслуговування

Належні розробка та обслуговування є ключовими чинниками досягнення високого рівня захисту довкілля загалом та можуть допомогти виявити вплив наявних заводів та будь-яких нових або суттєво змінених процесів на захист повітря, води та ґрунту. Необхідно мати достатній запас критично важливих запасних частин для забезпечення безпеки та захисту довкілля, для розв'язання проблем, а отже, для мінімізації аварійних викидів та їхнього впливу. Декілька компаній спеціалізуються на розробці та обслуговуванні. Процедури належної розробки та обслуговування включають такі кроки.Врахування впливу на довкілля (в тому числі шум) нового або суттєво модифікованого процесу або сировини на ранніх етапах проєкту та подальший регулярний розгляд цього питання. Формальні методи, такі як аналіз видів та наслідків несправностей конструкції (dFMEA (design failure mode and effects analysis)) та аналіз видів та наслідків несправностей виробничого процесу (pFMEA (process failure mode and effects analysis)), можуть бути корисними для забезпечення надійного та ефективного контролю ризиків. Це найбільш економічно вигідний час для покращення загальної екологічної ефективності. Журнал аудиту процесу розробки та прийняття рішень є корисним методом для того, щоб показати, як розглядалися різні варіанти процесу та боротьби з викидами. Питання введення в експлуатацію слід планувати для нових чи модифікованих заводів.Врахування потенційних дифузних викидів на всіх етапах.Використання та запис програми профілактичного обслуговування. У разі необхідності вона має супроводжуватися діагностичним тестуванням.

- Зберігання запасних частин обладнання, важливих для безпеки та захисту навколишнього середовища. [243, France 2008]
- Регулярний огляд системи місцевої витяжної вентиляції та негайне усунення дефектів або пошкоджень.
- Інформування всіх працівників про роль, яку вони можуть зіграти, виявляючи пильність, наприклад, у зв'язку з пошкодженням витяжок та повітропроводів або несправністю обладнання. Слід використовувати відповідні процедури для залучення персоналу та заохочення відповіді на звіти.
- Використання внутрішньої процедури для затвердження модифікацій та проведення перевірок після модифікацій перед запуском процесу.

2.1.3 Навчання

Навчання є важливим чинником, і наступні пункти слід включити до навчального плану.

- Усі співробітники повинні знати про наслідки технологічного процесу та своєї робочої діяльності для довкілля.
- Необхідно чітко викласти всі навички та компетенції, необхідні для кожної роботи.
- Навчання персоналу, залученого до процесу, має передбачати опис екологічних наслідків його роботи та процедури з усунення інцидентів.
- Записи про навчання, проведене для технологічного персоналу, можуть бути дуже корисними для забезпечення планомірного та повноцінного навчання.
- Навчання інших відділів щодо екологічних проблем та наслідків, які можуть вплинути на експлуатацію установки, також може бути ефективним у запобіганні конфліктам, які можуть вплинути на екологічну ефективність. Наприклад, відділи фінансів та продажів можуть значно впливати на екологічну ефективність. Комплексні облікові заходи можуть виявити надмірне використання сировини та можуть визначити справжні витрати на електроенергію та утилізацію для етапів технологічного процесу; незаплановані постачання та продажі можуть призвести до скорочення обсягів виробництва та спричиняти інциденти.

2.2 Управління енергоспоживанням

Стаття 11 (f) Директиви про промислові викиди вимагає ефективного використання енергії. Цей документ містить коментарі про використання енергії та її місце в оцінці НДТ у кожній із глав, присвячених виробництву металів. Використання енергії в кольоровій металургії висвітлюється в серії звітів, підготовлених Центром аналізу та поширення типових технологій в області енергетики (CADDET (Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies)). Ці звіти широко використовувалися під час порівняння технологій. Слід також посилатись на Довідкову документацію за найкращими доступними технологіями для енергоефективності [333, EC 2008].

Для виробництва кольорових металів більшість концентратів імпортується до Європи з різних джерел у всьому світі, і тому енергія використовується для транспортування. У цьому випадку важливо використовувати місцеву вторинну сировину, таку як металобрухт та інші відходи, через переваги зниження енергоспоживання.

У мідному секторі з вторинної сировини виробляється близько 45% міді в ЄС, але в деяких випадках, наприклад, у виробництві латунних прутків, продукт майже повністю виготовляється з переробленої міді та латуні з незначним додаванням первинного цинку. Коли мідні катоди виготовляються з перероблених матеріалів, економиться приблизно 650 000 тонн CO_2, тому що відповідні прямі викиди від заводів із виплавки вторинного металу вчетверо нижчі, ніж у заводів із виплавки первинного металу.

В алюмінієвому секторі виробництво та очищення вторинного алюмінію також потребує значно менше енергії; на 1 кг припадає близько 5% енергії, необхідної для виробництва первинного алюмінію.

2.2.1 Прикладні процеси та технології

Рекуперація енергії та тепла широко застосовується у виробництві та литті кольорових металів. Методом, описаним у Довідковій документації за найкращими доступними технологіями для енергоефективності [333, EC 2008], є використання системи управління енергоефективністю. Існують також міжнародні стандарти (наприклад, ISO 50001), що забезпечують основу системи управління енергоефективністю.

Пірометалургійні процеси зазвичай дуже теплоємні, а технологічні гази містять багато теплової енергії. Як наслідок, регенеративні пальники, рекуперативні пальники, теплообмінники та котли використовуються для рекуперації цього тепла. Пара або електроенергія можуть генеруватися для використання на об'єкті або за його межами, наприклад, у схемах централізованого теплопостачання або попереднього нагріву технологічних або паливних газів [115, ETSU (UK) 1996]. Технології, що використовуються для рекуперації тепла, варіюються від об'єкта до об'єкта і залежать від низки чинників, таких як ексергетичний вміст, потенційні можливості використання тепла та енергії на об'єкті або поряд із ним, масштаб роботи та можливість забруднення або покриття теплообмінників газами або їхніми складовими.

Наведені нижче приклади є типовими та представляють технології, які необхідно враховувати для використання в процесах виробництва кольорових металів [115, ETSU (UK) 1996]. Описані технології можуть бути включені до багатьох наявних процесів.

Гарячі гази, що утворюються під час виплавки або випалюванні сульфідних руд, майже завжди проходять через парові котли. Отриману пару можна використовувати для виробництва електроенергії та/або для опалення. Прикладом цього є те, що завод з виплавки міді виробляє 25% своєї потреби в електроенергії (10,5 МВте) з пари, що виробляється котлом-утилізатором печі зваженої плавки. Крім вироблення електроенергії, пара використовується як технологічна пара в сушарці концентрату, а залишкове відпрацьоване тепло використовується для попереднього нагрівання повітря для згорання.

Інші пірометалургійні процеси також сильно екзотермічні, особливо коли використовується збагачення киснем повітря для згорання. У багатьох процесах використовується надлишкове тепло, яке виділяється на етапах виплавки або перетворення, для плавлення вторинних матеріалів без додаткового палива. Наприклад, тепло, яке виділяється в конвертері Пірса-Сміта, використовується для плавлення анодного брухту.

У цьому випадку брухт використовується для технологічного охолодження, і добавки ретельно контролюються. Це позбавляє необхідності охолоджувати конвертер іншими способами на різних етапах циклу. У багатьох інших конвертерах можна використовувати добавки брухту для охолодження, а ті, в яких це не передбачено, можуть бути піддані технологічним удосконаленням, що дозволяють зробити це.

Використання в пальниках збагаченого киснем повітря або кисню знижує споживання енергії через автогенну виплавку або повне згоряння вуглецевмісного матеріалу. Обсяги відпрацьованих газів значно зменшуються, що дозволяє використовувати вентилятори меншого розміру тощо.

Матеріал футерівки печі також може впливати на енергетичний баланс плавлення. Повідомляється, що в цьому випадку вогнетриви малої маси мають сприятливий вплив через зниження теплопровідності та накопичення тепла в установці [103, COM 1998]. Цей фактор необхідно зіставити з довговічністю футерівки печі та проникненням металу в футерівку, і він може застосовуватися не у всіх випадках.

Роздільне сушіння концентратів та сировини за низьких температур знижує енерговитрати. Це пов'язано з енергією, необхідною для перегріву пари на плавильному заводі, і значним збільшенням загального об'єму газу за рахунок пари, що утворюється. Більший об'єм газу збільшує тепло, що відводиться від печі, і, отже, розміри вентилятору, необхідного для роботи зі збільшеним об'ємом газу, мають бути збільшеними. У деяких випадках таке сушіння може бути зумовлене необхідністю підтримувати мінімальний вміст вологи, щоби запобігти викидам пилу та/або уникнути самозаймання.

Виробництво сірчаної кислоти з діоксиду сірки, що виділяється на етапах випалювання та виплавки, є екзотермічним процесом та включає кілька етапів охолодження газу. Тепло, що виділяється в газах під час перетворення, і тепло, що міститься в отриманій кислоті, можна використовувати для генерації пари та/або гарячої води.

Тепло рекуперується через використання гарячих газів з етапів плавлення для попереднього нагрівання шихти. Аналогічним чином можна попередньо нагріти паливний газ і повітря для згорання, або в печі можна використовувати рекуперативний пальник. У таких випадках підвищується теплова ефективність. Наприклад, майже всі шахтні печі для плавлення катодного/мідного брухту працюють на природному газі; конструкція забезпечує теплову ефективність (використання палива) від 58% до 60%, залежно від діаметра та висоти печі. Споживання газу становить приблизно 330 кВт-год на тонну металу. Ефективність шахтної печі висока, переважно за рахунок попереднього нагрівання шихти всередині печі. У відпрацьованому газі може бути достатньо залишкового тепла, яке потрібно рекуперувати та повторно використовувати для нагрівання повітря та газу для згорання. Схема рекуперації тепла вимагає відведення димових газів печі через теплообмінник відповідного розміру, вентилятор, що передає, та повітропровід. Рекуперване тепло становить приблизно від 4% до 6% споживаного палива печі.

Охолодження перед установкою з тканинним фільтром є важливою технологією, оскільки воно забезпечує температурний захист фільтра та дає можливість більш широкого вибору тканини. Іноді на цьому етапі можна рекуперувати тепло. Наприклад, у типовій конструкції шахтної печі для плавлення металу гази з верхньої частини печі направляються в перший із двох теплообмінників, який виробляє підігріте повітря для згорання в печі. Температура газів після цього теплообмінника може становити від 200°C до 450°C. Другий теплообмінник знижує температуру газу до 130ºC перед тканинним фільтром. За теплообмінниками зазвичай встановлено циклон, який видаляє більші частки та діє як іскрогасник.

Чадний газ, що утворюється в електричній або шахтній/доменній печі, уловлюється і спалюється як паливо для декількох різних процесів або для виробництва пари, наприклад, для централізованого теплопостачання або інших енергетичних цілей. Можуть вироблятися значні кількості газу, і існують приклади, коли основна частина енергії, використовуваної установкою, виробляється з CO, зібраного з установки дугової печі. В інших випадках, CO, що утворюється в електричній печі, спалюється в печі й забезпечує частину тепла, необхідного для процесу плавлення. Застосовність цієї технології може

бути обмежена складом відпрацьованих газів і типом процесу (наприклад, періодичне виробництво).

Рециркуляція забруднених відпрацьованих газів назад через киснево-паливний пальник також дає значну економію енергії. Пальник рекуперує відпрацьоване тепло газу, використовує енергію, що міститься в забруднювачах, і видаляє їх [113, ALFED 1998]. Такий процес може зменшити кількість оксидів азоту.

Часто практикується використання тепла, що міститься в технологічних газах або парі для підвищення температури вилуговувальних розчинів. У деяких випадках частина газового потоку може бути відведена в скрубер для повернення тепла у воду, яка потім використовується для вилуговування. Потім охолоджений газ повертається в основний потік для подальшого зменшення викидів.

Під час виплавки електронного або акумуляторного брухту вміст горючого пластику сприяє отриманню енергії, яка використовується в процесі виплавки, та знижує кількість необхідного викопного палива.

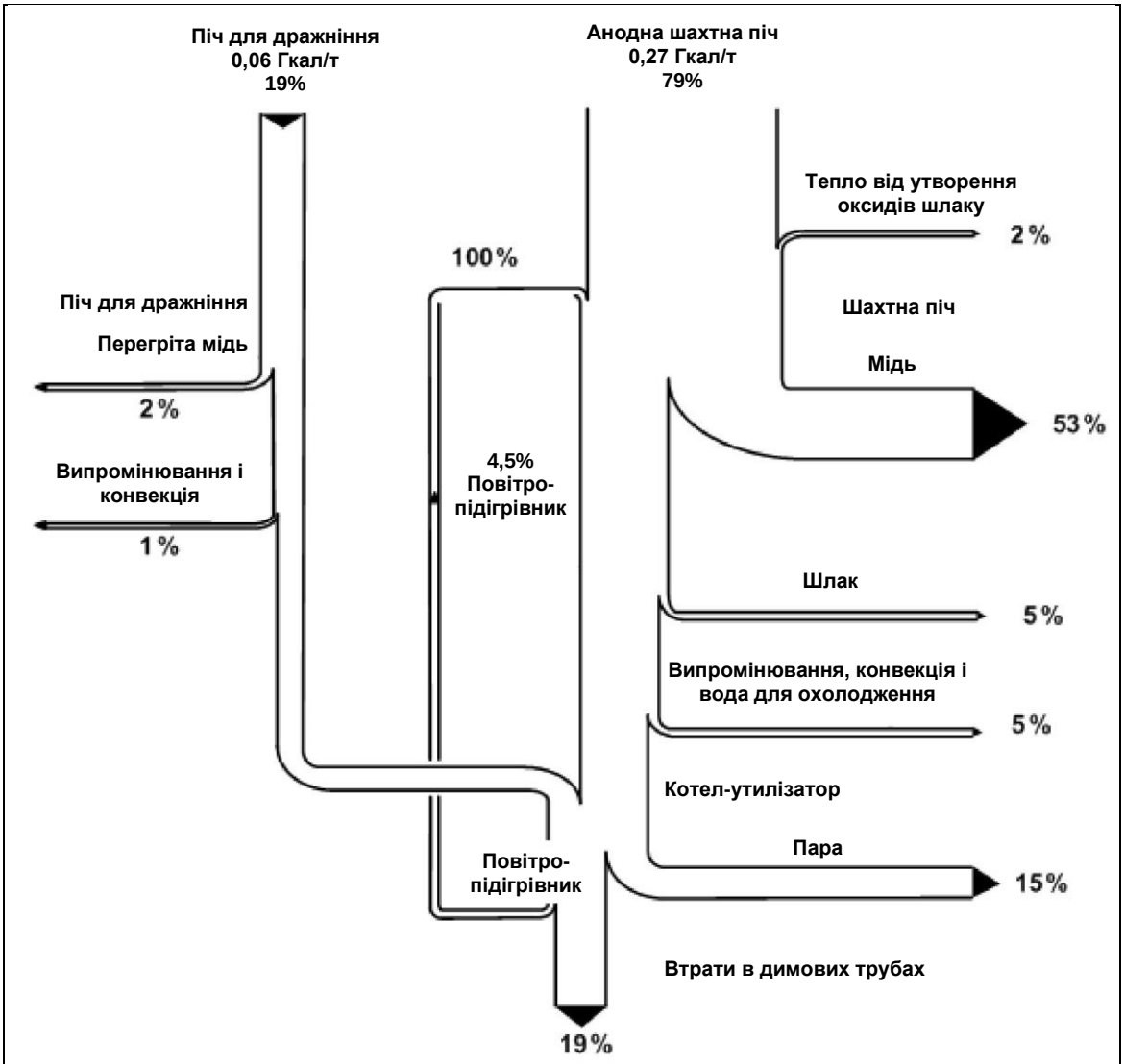
Перевага попереднього нагріву повітря для згорання, що використовується в пальниках, добре відома. Якщо використовується попереднє нагрівання повітря до 400°C, температура полум'я збільшується на 200°C, а якщо попереднє нагрівання становить 500°C, температура полум'я збільшується на 300°C. Таке підвищення температури полум'я призводить до збільшення ефективності плавлення та зниження споживання енергії. Відомо, що регенеративні пальники можуть використовуватися для попереднього нагріву повітря для згорання до 900°C, що знижує споживання енергії на 70%. Цей метод є загальновизнаним, а термін окупності становить менше одного року.

Альтернативою попередньому нагріванню повітря для згорання є попереднє нагрівання матеріалу, що завантажується в піч. Теоретично можна зекономити 8% енергії на кожні 100°C попереднього нагрівання, а на практиці стверджується, що попереднє нагрівання до 400°C призводить до економії енергії на 25%, тоді як попереднє нагрівання на 500°C призводить до економії енергії на 30%. Попереднє нагрівання застосовується в різних процесах, наприклад, у попередньому нагріванні шихти з використанням гарячих відпрацьованих газів печі під час виробництва ферохрому і вторинного алюмінію. В останньому випадку дуже ефективним є використання камери попереднього нагрівання шихти. Вуглеводні виділяються під час попереднього нагрівання шихти, оскільки вміст піролізується з брухту. Гази, що утворюються, направляються в систему пальника печі, яка руйнує вуглеводні та використовує вміст енергії для плавлення.

У багатьох випадках попереднє сушіння сировини забезпечує економію енергії, оскільки приховане тепло, додане до пари, що утворюється, не витрачається даремно, а також об'єми газу нижче, тому вентилятори й установки з очищення не обов'язково мають бути занадто великими та споживати більше енергії.

Слід розглянути можливість використання газів з анодних печей на етапі сушіння або інших етапах технологічного процесу. Гарячі гази, що відводяться з жолобів, можна використовувати як попередньо нагріте повітря для згорання.

На малюнку 2.1 показаний енергетичний баланс процесу Contimelt, в якому для попереднього нагрівання шихти використовуються гарячі гази, що підіймаються, в шахтній печі.



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]

Рисунок 2.1: Енергетичний баланс процесу Contimelt

Рекуперація тепла та енергії, безперечно, є важливим фактором у кольоровій металургії та відображає високу частку витрат на енергію. Багато технологій рекуперації енергії відносно легко модернізувати [115, ETSU (UK) 1996], але іноді можуть виникати проблеми з відкладенням металовмісних сполук у теплообмінниках. Отже, правильна конструкція передбачає глибокі знання про сполуки, що виділяються, і про їхню поведінку за різних температур. Для підтримки термічної ефективності також використовуються механізми очищення теплообмінника.

Хоча ця економія є прикладом економії в окремих компонентах установок, застосовність та економічність залежать від умов конкретного об'єкта та процесу.

2.3 Частота

Цей розділ призначений для забезпечення вимірювання зазначених в цьому документі викидів із репрезентативними та взаємно зіставними результатами, що дають чіткий опис відповідного робочого стану заводу. Методи та інструменти, що використовуються для відбору проб та аналізу, є відповідними європейськими, національними або міжнародними методами (наприклад, Європейський комітет зі стандартизації (CEN (European Committee for Standardisation)); ISO) [293, COM 2017]. Загальні принципи наведені нижче.

Вимірювання викидів використовується для визначення речовин у чистому газі або відпрацьованих водах, щоб про них можна було повідомляти, використовувати для управління процесом або установками з очищення або використовувати для прогнозування впливу на довкілля. Ці методи зазвичай розглядаються в Довідковому звіті про моніторинг [293, COM 2017].

Перед вимірюванням можна скласти план, щоби врахувати:

- характер роботи;
- робочий стан установок з очищення відхідних газів або очищення стічних вод;
- режим експлуатації на установці (безперервна, періодична, запуск та зупинка, зміна навантаження); і
- фактори термодинамічного впливу.

Розведення газів або відпрацьованих вод не вважається прийнятним. Слід брати до уваги такі фактори, як зміни параметрів процесу, характер та потенційна небезпека викидів, а також час, необхідний для отримання вимірюваної кількості забруднювальної речовини або репрезентативної інформації. Потім ці фактори можуть лягти в основу вибору режимів експлуатації, за яких можуть бути зареєстровані найвищі викиди, кількості й тривалості вимірювань, найбільш відповідного методу вимірювання та розташування точок вимірювання. Для викидів відпрацьованих вод можуть використовуватися відповідні випадкові проби або складені проби за 24 години на основі середньопропорційних проб або усереднених за часом проб.

Для безперервної роботи зазвичай потрібен мінімальний час збору проби або час вимірювання, що становить пів години (середнє значення за пів години). Якщо вміст пилу низький або якщо необхідно визначити ПХДД/ПХДФ, може знадобитися триваліший час вимірювання і, отже, інший опорний час через обмеження виявлення. Відбір проб або вимірювання слід проводити тільки під час роботи технологічного процесу, водночас слід виключити повітря для розбавлення. Для безперервної роботи, коли є лише незначні коливання параметрів викидів, можна виконати три окремі вимірювання на найвищому рівні викидів. Якщо передбачається, що рівні викидів сильно змінюватимуться під час безперервної роботи, можна провести більше вимірювань; час відбору проб та усереднення обмежується фазою викидів.

Для періодичних процесів слід змінити час вимірювання та час усереднення таким чином, щоб можна було взяти пробу або проби з усієї партії. Ці результати можна використовувати для розрахунку середніх значень або відображення піків під час циклу. Знову ж, відбір проб або вимірювання слід проводити тільки під час роботи, а повітря для розбавлення, слід виключати.

2.3.1 Точки відбору проб

Точки відбору проб повинні відповідати вимогам відповідних національних керівних принципів. Точки відбору проб, як правило, повинні:

- бути чітко позначеними;
- якщо можливо, забезпечувати безперешкодний потік у вимірювальній ділянці;
- мати пункти моніторингу, які можна закрити;
- мати необхідні запаси енергії;
- мати достатньо великі робочі платформи; і

- забезпечувати дотримання вимог безпеки праці.

2.3.2 Компоненти й параметри

До компонентів, що вимірюються в секторі кольорових металів, включають пил, метали, діоксид сірки, загальний вуглець (також ЛОС, смоли та вуглеводні), ПХДД/Ф, оксиди вуглецю та оксиди азоту. Кислоти, такі як HCl та HF, контролюються в деяких процесах, а також хлориди та фториди. Конкретні визначальні фактори включають перфторовані органічні (ПФО) сполуки для первинного алюмінію та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) для випалювання анодів, первинний алюміній із використанням технології Сьодерберга, а також вуглець та графіт. Деякі визначальні фактори є специфічними для деяких реагентів, що використовуються для виробництва дорогоцінних металів. Компоненти вказані в главах, присвячених конкретним металам, а методи відбору проб та аналізу наведені у відповідних національних та міжнародних керівних принципах із моніторингу та аналізу [317, UBA (D) 2009].

Аналіз деяких параметрів може охоплювати методи, встановлені іншими органами, наприклад, OSPARCOM. Вимірювання та виявлення ПАВ у певних секторах (наприклад, анодів, первинного алюмінію з використанням технології Сьодерберга та вуглецю і графіту) здійснюється з використанням BaP у якості маркеру.

2.3.3 Вихідні умови

Щодо викидів у повітря необхідно також визначити такі параметри відхідних газів для переведення отриманих концентрацій викидів до стандартних умов 273 K, 101,3 кПа, виміряного вмісту кисню і сухого газу:

- об'ємний потік відхідного газу (для розрахунку концентрації та масового потоку викидів);
- температура відхідного газу;
- вміст водяної пари у відхідному газі;
- статичний тиск у трубопроводі відхідного газу; і
- атмосферний тиск.

Також можна повідомляти про продуктивність, щоб можна було зазначити викиди як питомі викиди на тонну металу. Також можна розрахувати питомий об'єм газу $Нм^3$ на тонну металу.

2.3.4 Безперервні та періодичні вимірювання каналізованих викидів

Безперервний моніторинг викидів включає вимірювання за допомогою автоматизованої вимірювальної системи (АВС), що постійно встановлена на об'єкті.

Можливі безперервні вимірювання кількох компонентів у газах або відпрацьованих водах, а в деяких випадках точні концентрації можуть повідомлятися безперервно або у вигляді середніх значень за узгоджені проміжки часу (щогодини, щодня тощо). У цих випадках аналіз середніх значень та використання процентилів може забезпечити гнучкий метод демонстрації відповідності умовам, передбаченим у дозволі, а середні значення можна легко та автоматично оцінити. Країни-члени зазвичай мають власні методи оцінки відповідності, які, наприклад, враховують короткострокові пікові викиди.

Для джерел викидів та компонентів, які можуть мати значний вплив на довкілля, слід передбачити безперервний моніторинг. Пил може мати серйозні наслідки для довкілля та здоров'я. У металургійному секторі пил може містити токсичні компоненти, і безперервний моніторинг пилу важливий не тільки для оцінки відповідності, але й для оцінки того, чи були якісь несправності установок з очищення (наприклад, розриви рукавів). Для виявлення несправності рукавів можна аналізувати тенденції концентрації чи пікові

викиди, наприклад, можна спостерігати під час зворотного струминного очищення рукавів. Сучасні пристрої контролю вмісту твердих часток можуть взаємодіяти із системою очищення, щоб визначити, у якій секції фільтра знаходяться рукави, що протікають, щоб можна було проводити технічне обслуговування фільтра.

Існують методи безперервного вимірювання:

- пилу;
- SO_2;
- NO_X;
- CO;
- газоподібного фтору та його сполук;
- газоподібного хлору та його сполук;
- загального органічного вуглецю;
- ртуті в паровій фазі.

Компетентні органи можуть вимагати безперервних вимірювань залежно від масового потоку забруднювальної речовини. Для води можуть безперервно контролюватися такі параметри як провідність, мутність, pH, витрата, температура та деякі іонні форми.

Навіть у тих випадках, коли абсолютні значення не можна вважати надійними, застосування безперервного моніторингу може бути використане для визначення тенденцій викидів та як контрольні параметри для технологічного процесу або установки з очищення, і тому вони дуже важливі.

Періодичні вимірювання передбачають визначення вимірюваної величини через певні проміжки часу з використанням ручних або автоматичних методів. Задані проміжки часу загалом є регулярними (наприклад, один раз на місяць або один/два рази на рік). Тривалість відбору проб визначається як проміжок часу, протягом якого відбирається проба. На практиці, іноді вираз «відбір точкових проб» використовується в тому ж значенні, що й «періодичні вимірювання».

Деякі фізичні параметри також можуть використовуватися як непрямі параметри, вказуючи на наявність певних компонентів у газовому потоці. Наприклад, наявність анодного ефекту може вказувати на утворення ПФО сполук у виробництві первинного алюмінію, а температура, вміст кисню та пилу в газі можуть вказувати на руйнування ПХДД/Ф. Показник pH можна використовувати для позначення ефективного осадження металів.

2.3.5 Вимірювання дифузних викидів

Загальновизнано, що дифузні викиди є особливо проблематичними через свою природу. Методології вимірювання [323, VDI 2008], [324, VDI 2008] використовуються для визначення:

- Загального ефекту дифузних викидів від конкретного заводу. Вимірювання викидів поблизу заводу може дати корисну інформацію, хоча зміни напрямку вітру можуть ускладнити інтерпретацію результатів. Коли поруч із заводом встановлено достатню кількість вимірювальних пристроїв, можна оцінити глобальну кількість речовин, що викидаються, які можуть бути однозначно пов'язані з заводом, що розглядається (метали, кислотний туман тощо, але, наприклад, не пил). Однак точність такої процедури не вище 50%, що робить цей метод придатним лише для оцінок протягом більш тривалих проміжків часу. Крім того, точність цього методу на нижчих рівнях дуже сумнівна.
- Відповідні джерела дифузних викидів. Дифузні викиди виникають із різних джерел, і кількісна оцінка дифузних викидів залежить від типу джерела викидів.

Повідомлялося про кілька методів, які використовувалися для оцінки дифузних викидів [229, IZA plant data 2008], як детально описано нижче.

- Для дифузних викидів із будівель, у тому числі вимірювання для визначення потоку та концентрації через вентиляційні отвори та вікна. Один надійний метод використовувався протягом кількох років на одному об'єкті [160, Steudtner 1998]. Інший метод, який використовується для вимірювання об'єму та складу дифузних викидів пилу, виявився відносно надійним на заводі з виплавки первинної міді [158, Petersen, K. 1999], результати моніторингу наведено в Таблиці 2.2. Результати показують, що величина дифузних викидів може бути набагато значнішою, ніж обсяг уловлених та підданих очищенню викидів. Чим менші контрольовані викиди, тим значніші дифузні викиди.

Таблиця 2.2 Порівняння концентрації підданих очищенню викидів пилу та дифузного пилу на заводі з виплавки первинної міді

	Викид пилу (кг/рік)	
	Перед вживанням додаткових заходів з уловлювання вторинного газу (1992)	**Після вживання додаткових заходів з уловлювання вторинного газу (1996)** ([1])
Виробництво анодів (т/рік)	220 000	325 000
Дифузні викиди: Усього по плавильному заводу Лінія даху плавильного заводу	66 490 56 160	32 200 17 020
Контрольовані викиди (завод із виплавки первинного металу): Плавильний завод/кислотний завод Труба для вторинних витяжок	7990 2547	7600 2116
([1]) Викиди після вкладення інвестицій у розмірі 10 мільйонів євро для встановлення вдосконаленої системи уловлювання та очищення дифузного газу. Додаткова енергія = 13,6 ГВт год/рік. *Джерело:* [158, Petersen, K. 1999]		

Характеристики потоку джерел дифузних викидів нестабільні, тому відбір проб викидів із вентиляційних отворів на даху не дає точних результатів. Точність можна підвищити, якщо поперечний переріз площини вимірювання вентиляційних отворів на даху розділити на сектори з однаковою площею поверхні (сітка вимірювання). Під час вимірювань пробовідбирачі встановлюються в обраних місцях. Застосоване обладнання для відбору проб повинно бути розраховане на безступеневе керування всмоктуванням. Обираючи різні діаметри пробовідбирачів, швидкість потоку проби можна адаптувати до переважної швидкості потоку відхідних газів. Вміст пилу в пробах газових потоків уловлюється на фільтрувальному матеріалі, і визначається гравіметричними методами [293, COM 2017].

- Безперервний моніторинг концентрації пилу на робочому місці за допомогою стаціонарних або переносних пробовідбирачів може виявити основні джерела дифузних викидів. Потім результати можуть ідентифікувати критичні етапи процесів та надавати інформацію про них, якщо результати співвідносяться з технологічними операціями, що відбуваються під час відбору проб [229, IZA plant data 2008].
- Використання характеристик викидів (коефіцієнтів викидів) як основи для оцінки дифузних викидів пилу, що виникають під час зберігання, обробки й транспортування сипких матеріалів (вихідних матеріалів, брухту тощо). Використання коефіцієнтів викидів у цьому контексті може дати лише приблизне уявлення щодо величини викидів.
- Використання моделювання зворотної дисперсії (RDM (reverse dispersion modelling)) [322, CEN 2008] для прогнозування відповідних джерел пилу. Зазвичай отримані результати мають значення для конкретної установки та вимірюваних компонентів. Деякі приклади успішного застосування були зареєстровані в Бельгії [298, Mensink 2005]. Застосування цього методу стає складним у ситуаціях, коли кількість пилу, що утворюється на заводі, невелика в порівнянні з фоновим вмістом пилу. Цей спосіб може бути дорогим і вимагати багато часу. Моделювання зворотної дисперсії описано в методології CEN EN 15445-2008.
- Випуск індикаторів (маркерних газів) з відомою швидкістю з певних точок установки та їхнє вимірювання за вітром разом із забруднювальними речовинами. Результати можна використовувати для оцінки викидів забруднювальних речовин на основі припущень про дифузію та абсорбцію.

Деякі установки використовують ці методології вимірювання для оцінки дифузних викидів на своїх об'єктах. Ці методології розроблялися методом проб і помилок з урахуванням місцевої специфіки, знань місцевих умов, досвіду, конкретної конфігурації заводу тощо. Вони ще не на тому етапі, коли можуть давати точні та надійні фактичні цифри, але можуть показати орієнтовні рівні викидів або тенденції викидів за певний період.

Не існує методологій вимірювання, застосовних для загального використання на всіх об'єктах, і жодна методологія вимірювання не є однаковою для різних об'єктів. Існують значні наслідки від інших джерел поблизу об'єкта, таких як інші операції, транспорт та інші джерела, які дуже ускладнюють екстраполяцію. Отже, отримані результати є відносними або базисними значеннями, які можуть свідчити про скорочення, досягнуте за рахунок заходів, вжитих для зменшення дифузних викидів.

Оцінку впливу дифузних викидів та їхнє зменшення з часом слід порівнювати з відносною часткою дифузних викидів та викидів з точкових джерел конкретного об'єкта. Порівняння цих результатів зі стандартами якості довкілля (EQS (environmental quality standards)), гранично допустимою концентрацією (OEL (occupational exposure limit)) або прогнозованою безпечною концентрацією (PNEC (predicted no effect concentration)), що ґрунтуються на надійних наукових даних, використовується для оцінки частки або впливу дифузних викидів у довкілля.

Точки відбору проб повинні відповідати стандартам охорони праці та техніки безпеки, бути легкодоступними та мати відповідні розміри.

Вимірювання дифузних викидів від слабких джерел забруднення є складнішим і потребує складніших технологій, оскільки:

- джерело викидів може бути великою територією й може бути визначено лише приблизно;
- характеристики викидів залежать від метеорологічних умов і схильні до значних коливань;
- похибки, пов'язані з виміряними даними, можуть бути значними.

Методи виявлення та визначення дальності за допомогою світла (ЛІДАР) (LIDAR (Light detection and ranging techniques) також можуть використовуватися для вимірювання пилу, диму та деяких дифузних газоподібних компонентів, таких як SO_2 та ЛОС.

2.4 Дифузні викиди

Дифузні викиди є важливим джерелом викидів у секторі кольорової металургії. Їхня величина може бути набагато більшою, ніж величина уловлених та підданих очищенню викидів (за оцінками деяких джерел, дифузні викиди можуть більш ніж у два-три рази перевищувати кількість організованих викидів [219, VDI 2007], хоча це дуже залежить від конкретного місця та часу).

Дифузні та неорганізовані викиди визначені в Довідковому звіті про моніторинг [293, COM 2017]

Дифузні викиди — це викиди, що виникають у разі прямого (неканального) контакту летких сполук або пилу з довкіллям за нормальних умов експлуатації. Вони можуть бути результатом:

- характерної конструкції обладнання (наприклад, фільтрів, сушарок);
- умов експлуатації (наприклад, під час переміщення матеріалу між контейнерами);
- типу операції (наприклад, обслуговування);
- поступового попадання в інші середовища (наприклад, у воду для охолодження або відпрацьовану воду).

Джерела дифузних викидів можуть бути точковими, лінійними, поверхневими чи об'ємними джерелами. Зазвичай вважається, що багаторазові викиди всередині будівлі сприяють дифузним викидам, коли забруднювальні речовини залишають будівлю за допомогою природної вентиляції, тоді як відхідні речовини системи примусової вентиляції класифікуються як каналізований викид.

Приклади дифузних викидів включають викиди зі складів під час завантаження та розвантаження, зберігання твердої пилоподібної речовини на відкритому повітрі, викиди від операцій у печі, таких як завантаження і випускання, викиди від електролізерів, процесів із використанням розчинників тощо.

Неорганізовані викиди – це викиди в довкілля в результаті поступової втрати герметичності частини обладнання, призначеного для утримання в ньому рідини (газоподібної або рідкої). Зазвичай це може бути викликано перепадом тиску і витоком, що виникає в результаті цього. Неорганізовані викиди є підгрупою дифузних викидів.

Прикладами неорганізованих викидів є протікання з фланця, насоса або частини обладнання та втрати зі сховищ газоподібних або рідких продуктів.

У розділі 2.4.3 наведено вказівки щодо запобігання дифузним викидам у результаті процесів виробництва металів, а детальний опис можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

2.4.1 Джерела дифузних викидів

На металургійних заводах дифузні викиди можуть виникати з таких джерел.

- системи транспортування, розвантаження, зберігання та обробки, де викиди безпосередньо пов'язані зі швидкістю вітру;
- пилова завись із проїжджої частини внаслідок руху транспорту та забруднення коліс та шасі транспортних засобів;
- повторна завись пилоподібних матеріалів із покинутих виробок, зон зберігання або пунктів утилізація внаслідок дії вітру, що пов'язано зі швидкістю вітру, піднесеною до куба;
- самі виробничі процеси.

Довідкова документація за найкращими доступними технологіями щодо викидів зі складів [290, EC 2006] та розділ 2.4.2 цього документа повідомляють про перші три джерела дифузних викидів.

Можливі викиди летких органічних сполук у повітря та олив у воду або землю під час завантаження, зберігання, розвантаження та переміщення рідин та газів. ЛОС також можуть потрапляти в повітря під час дихання резервуару та протікань з трубопроводу. Можливі викиди пилу та металів у повітря та в землю під час вантажно-розвантажувальних робіт, переміщення та зберігання твердих матеріалів, а також повторно завислий пил із зон зберігання та конвеєрів. У воду можуть потрапляти завислі тверді речовини, метали, оливи та різні аніони, такі як сульфати (залежно від руди та її обробки).

Промислові джерела, описані в розділі 2.4.3, також є важливими [219, VDI 2007], оскільки дифузні викиди можуть також виникати з негерметичних процесів та під час операцій завантаження, виплавки та випускання, а також під час перенесення розплавлених продуктів або проміжних продуктів з однієї операції в іншу. Особливо важливо, щоб переважні температури різних фракцій металів, шлаків або штейну були вище точок випаровування низькокиплячих супутніх металів (наприклад, цинку) й оксидів (наприклад, SnO і PbO), щоб останні накопичувались в парі, що виділяється. Наскільки це можливо, дифузні викиди слід уловлювати біля джерела через вторинні витяжки, а вилучені гази повинні направлятися в систему газоочищення.

Вентиляційне повітря з пилом, що виходить через отвори в стінах та дахах будівель, також є джерелом дифузних викидів від заводу. Під час розгляду профілактичних заходів особливу увагу слід приділити умовам праці співробітників. Мінімізування дифузних викидів із будівлі, наприклад, шляхом закриття вікон або іншим способом локалізації їх у приміщенні, не є слушним підходом через фактори, які необхідно враховувати щодо впливу на співробітників у приміщенні. Отже, уловлювання дифузних викидів у будівлі слід спрямовувати на запобігання викидам у джерелі (наприклад, вживаючи таких заходів, як більш плавне подання до плавильного заводу або покращення витяжки для зливу шлаку, де це можливо і доцільно). Вимірювання на робочому місці та моніторинг рівнів у крові та сечі співробітників також можуть вимірювати успіх покращення показників уловлювання дифузних викидів [229, IZA plant data 2008].

2.4.2 Прикладні процеси та технології для запобігання дифузним викидам від зберігання та обробки вихідних матеріалів

Основною сировиною, що використовується у виробництві кольорових металів, є руди та концентрати, вторинна сировина, паливо (нафта, гази та тверде паливо) та технологічні гази (такі як кисень, хлор та інертні гази). Також використовуються інші матеріали, такі як флюси, добавки та технологічні хімічні сполуки (наприклад, для систем боротьби з забрудненнями). З цією різноманітністю матеріалів пов'язано безліч проблем в обробці та зберіганні, і конкретний метод залежить від фізичних і хімічних властивостей матеріалу (див. також Довідкову документацію за найкращими доступними технологіями щодо викидів зі складів [290, EC 2006]). Загалом, слід уникати зберігання пилоподібних матеріалів у відкритих зонах. Конвеєрні системи мають бути обладнані витяжними парасолями. Тканинні фільтри необхідно регулярно перевіряти та обслуговувати [307, Austria 2006]. Наступні прикладні процеси та технології можуть застосовуватися для запобігання викидам у довкілля.

2.4.2.1 Прикладні процеси та технології для руд і концентратів

Руди та концентрати можуть доставлятися на об'єкти автомобільним транспортом, залізницею, баржами або суднами. У точках скидання широко використовуються технології запобігання утворенню пилу, а також системи уловлювання та зменшення викидів пилу.

Контроль технологічного процесу стає все більш важливим для підвищення ефективності перетворення, зниження споживання енергії та скорочення викидів і часто ґрунтується на ефективному відборі проб, аналізі та обліку сировини для встановлення оптимальних робочих умов процесу. Це впливає на вибір технологій зберігання та обробки.

Розвантаження, зберігання та розподіл твердого матеріалу здійснюється за технологіями, аналогічними тим, що використовуються для твердого палива. Зазвичай для цих матеріалів застосовуються суворіші методи утримання, оскільки вони, як правило, більш реакційноздатні, мають менший розмір часток і легше утворюють завись у повітрі або змиваються у воду. Зазвичай використовуються автоматичні пристрої для швидкої

герметизації. Флюсувальні добавки та шлакоутворювальні речовини також доставляються на об'єкт та обробляються аналогічно рудам та концентратам.

Руди або концентрати (якщо вони утворюють пил) та інші пилоподібні матеріали зазвичай зберігаються в закритих приміщеннях. Також використовуються закриті, криті склади та силоси. Відкриті склади використовуються для об'ємного шматкового матеріалу, але зазвичай розташовуються на твердій непроникній поверхні, такій як бетон, для запобігання втратам матеріалу, забруднення ґрунту й руди. Деякі об'ємні матеріали не зберігаються на твердій поверхні, оскільки вони можуть часто пошкоджуватися, та це може викликати приховані проблеми. Часто застосовується розділення на відсіки для розподілу різних сортів руди.

Руди та концентрати зазвичай використовуються великими установками, тому силоси не часто використовуються у якості основного складу, але можуть використовуватися для проміжного зберігання і приготування сумішей руди/флюсу. Дозувальні системи, що працюють за принципом втрати ваги, конвеєрні ваги тощо використовуються для дозування руди та флюсів для отримання ефективних оптимальних сумішей та покращення контролю технологічного процесу.

Розпилювачі води часто використовуються для пригнічення пилу, але деякі оператори потребують сухих вихідних матеріалів у процесах, і вони утримуються від використання розпилювачів води. Альтернативні методи, такі як використання спреїв для розпилення для отримання дрібнодисперсного водяного туману, використовуються для пригнічення пилу без надмірного змочування матеріалу. Деякі концентрати за своєю природою містять достатню кількість води для запобігання утворенню пилу.

Герметики (наприклад, мелясу, вапно або полівінілацетат) можна використовувати для запобігання утворенню пилу за вітряних умов. Герметизація може запобігти окисненню поверхневих шарів і подальшому вимиванню матеріалу в ґрунтові або поверхневі води.

Вивантаження мінералів може бути потенційним джерелом значних викидів пилу. Основна проблема виникає, коли залізничний вагон або інший транспортний засіб, що перекидається, розвантажується під дією сили тяжіння. Швидкість розвантаження не контролюється, що призводить до великого обсягу витісненого повітря та пилу, що може призвести до перевантаження систем видалення пилу. Використовуються закриті зали для доставки з автоматичним зачиненням дверей.

Використовуються прозорі пластикові екрани, що герметизують вагон, що перекидається. У цьому випадку повітря, що витісняється, прямує в амортизаційну секцію, і контейнер поглинає енергію розвантаження; збільшення обсягу повітря гальмується, що дає витяжній системі змогу впоратися з навантаженням.

Матеріал може бути забраний за допомогою конвеєра з нижньою подачею, грейферного крана або фронтального навантажувача, причому для транспортування пилоподібних матеріалів використовуються повністю закриті конвеєри. Також використовуються пневматичні системи транспортування в щільній фазі. Для видалення пилоподібних матеріалів можна використовувати системи фільтрів для видалення пилу зі стаціонарних пунктів розвантаження та пунктів конвеєрної передачі. У разі використання відкритих конвеєрів може утворюватися пил, якщо стрічка рухається дуже швидко (тобто більше ніж 3,5 м/с). У разі використанні фронтального навантажувача пил може утворюватися протягом усього шляху транспортування.

Тверді частки можуть прилипати до коліс та інших частин транспортних засобів та забруднювати проїзні частини як на об'єкті, так і за його межами, тому для очищення транспортних засобів від забруднень часто проводиться миття коліс та днища (або інші технології очищення, якщо спостерігається температура нижче нуля). Використання фронтальних навантажувачів більшого розміру, ніж необхідно, може посилити цю проблему.

Підмітально-прибиральні машини або інше спеціалізоване обладнання, що використовує комбінацію водяних струменів та вакуумного уловлювання, зазвичай використовуються для видалення пилу, що відклався, у тому числі зі старих зон зберігання, для підтримки чистоти внутрішніх доріг та запобігання утворенню повторно завислого пилу.

Залежно від місцевого рельєфу необхідно вжити запобіжних заходів проти затоплення та подальших викидів токсичних матеріалів.

2.4.2.2 Прикладні процеси та технології для вторинної сировини

Ця галузь особливо активна в отриманні металу з різних джерел і, отже, використовує широкий спектр вторинної сировини. Металобрухт, шлак/окалина і димовий пил або пил із фільтрів використовуються як джерела кольорових металів, і ці матеріали містять ряд металів або металовмісних сполук. Комплексний підхід всередині установки або між групою компаній, що розташовані в безпосередній близькості, може сприяти використанню вторинної сировини [277, Heino 2004]. Вторинну сировину також використовують у деяких первинних процесах.

Джерело вторинної сировини може дати інформацію про потенційні викиди через присутність кислот, олив, органічних забруднювачів (які можуть утворювати ПХДД/Ф у процесі плавлення), аніонів та компонентів, таких як аміак, унаслідок реакції шлаку/окалини з вологою. Це безпосередньо впливає на потенційні викиди в повітря, воду та землю, і будь-який із компонентів цих матеріалів може виділятися. Матеріали перевіряються (наприклад, шляхом огляду та сортування) на наявність непередбачених домішок та забруднень, і це може бути економічно вигідним для підтримання чистоти продукту та зменшення викидів.

Фізичний стан матеріалу також впливає на методи зберігання та обробки. Ці матеріали можуть бути пилоподібними або маслянистими та варіюватися за розміром від тонкодисперсного пилу до цілих компонентів. Ці фактори впливають на методи доставки, обробки та зберігання. Технології, що використовуються для первинної сировини, використовуються разом із наведеними нижче.

Вторинна сировина може доставлятися на об'єкт у вигляді сипучих матеріалів, у біг-бегах або бочковій тарі. Фізичний стан матеріалу визначає спосіб доставки та спосіб зберігання. Джерело матеріалу також має значний вплив, і існує кілька методів оцінки матеріалу. У більшості випадків практикується контроль якості та аналіз вихідного матеріалу.

Об'ємні компоненти та матеріали, такі як стружка або відходи шліфування, зберігаються на бетонних майданчиках, які можуть бути відкритими, критим або знаходитись всередині будівель. Однак деякі об'ємні матеріали не зберігаються на твердій поверхні, якщо це може призвести до пошкодження поверхні. Матеріал зазвичай зберігається в окремих купах, щоб зберігати різні марки та склади сплавів окремо.

Пилоподібні матеріали та шлак/окалина також зберігаються в окремих купах, які можуть бути відкритими, критими або знаходитись всередині будівель. Ці матеріали можуть бути пірофорними або реагувати з вологою з утворенням аміаку або інших газів, таких як арсин або стибін, в залежності від складу. Отже, метод зберігання враховує ці чинники. Холодний пилоподібний матеріал може бути покритий таким матеріалом, як меляса, для утворення сухої крихти, яка не утворює пилу. Матеріал покриття не впливає на пірометалургійні процеси.

Вторинна сировина може бути забруднена різними іншими матеріалами, такими як оливи, кислоти та органічні речовини, які можуть змиватися в дренажні системи. Потенційне забруднення дощової води та інших вод такими забруднювальними речовинами враховується під час розробки методів зберігання та очищення стічних вод із цих територій. Ділянки, захищені від витоків, герметичні підлоги та масловловлювачі використовуються для запобігання викидам у воду.

Матеріали обробляються в різний спосіб залежно від місця зберігання. Використовуються грейфери, конвеєри та механічні лопати. Вторинні матеріали часто необхідно змішувати перед обробкою або попередньою обробкою, а потім використовується проміжне зберігання.

2.4.2.3 Прикладні процеси та технології для палива

Паливо може використовуватися безпосередньо як джерело тепла, як відновник або те й інше. Це має визначатися окремо для кожної установки. Паливо може доставлятися на об'єкт трубопроводом, автомобільним, залізничним або морським транспортом. Методи, що використовуються для доставки, виходять за рамки цього документа, але використання автомобільного транспорту для частих доставок може призвести до шуму та заторів на об'єкті або поблизу нього.

Доставка та зберігання палива зазвичай контролюється оператором, щоб запобігти розливу та витоку, і використовувані технології передбачають:

Рідке паливо

- Найчастіше для доставки використовуються автомобільні та залізничні цистерни. У системах зберігання на об'єкті використовуються резервуари для зберігання з вентильованим або плаваючим дахом, які розміщуються в герметичних зонах або обвалуваннях з достатньою місткістю, щоби прийняти вміст найбільшого резервуара (або 10% від загального об'єму окремих резервуарів, якщо він більший). Для запобігання скидання олив у стічні води на майданчику використовуються ефективні масловловлювачі.
- Відведення газів із резервуара для зберігання назад у резервуар для подання часто практикується у випадках, коли не використовуються резервуари для зберігання з плаваючим дахом. Для подання рідин та зріджених газів застосовується автоматична повторна герметизація з'єднувальних шлангів. З'єднання для подання розташовані усередині обвалування.
- Регулярні перевірки вмісту резервуара для виявлення витоків і визначення безпечного обсягу приймання є звичайною практикою. Використовуються системи сигналізації. Іноді використовують інертне середовище.
- Трубопроводи також можуть використовуватися для подання рідкого палива й можуть мати проміжні резервуари для зберігання. Подання палива з резервуарів для зберігання на об'єкті в технологічний процес зазвичай здійснюється наземним трубопроводом, технологічними траншеями або, рідше, підземним трубопроводом. Бар'єри застосовуються для захисту наземних трубопроводів від пошкоджень. Використання підземних трубопроводів може перешкоджати оперативному виявленню витоків палива, що може призвести до забруднення ґрунту та підземних вод.
- Якщо існує ризик забруднення підземних вод, зона зберігання повинна бути непроникною і стійкою до матеріалу, що зберігається.

Газоподібне паливо

- Трубопроводи є найпоширенішою системою подання газоподібного палива. Хоча зріджені нафтові гази (ЗНГ) можна класифікувати як рідину, використовуються ті ж технології, що і для газів.
- Деякі пірометалургійні процеси (наприклад, виробництво феросплавів карботермічним способом у закритих дугових електропечах під флюсом) утворюють у якості побічного продукту відпрацьовані гази, збагачені чадним газом. Кількість CO сильно варіюється в залежності від металу та виробничого процесу. Відпрацьовані гази можуть містити CO в діапазоні від меншої кількості (газ із низькою теплотою згоряння) до 90 % (газ із високою теплотою згоряння). Газ очищається в каскадному мокрому скрубері, а потім розподіляється на об'єкті як вторинне паливо або продається на сусідні заводи. Надлишковий газ може використовуватися для виробництва електроенергії або спалюватися.
- Подання газів часто пов'язане з обладнанням для зниження тиску або іноді з компресорним обладнанням. У всіх випадках для виявлення витоків часто практикується використання моніторингу тиску та об'єму, а газоаналізатори іноді використовуються для моніторингу робочого місця та місцевості поблизу резервуарів для зберігання.
- Розподіл наземним трубопроводом або трубопроводами в технологічних траншеях є звичайним явищем, і застосовуються методи захисту від пошкоджень.

Тверде паливо

- Для транспортування твердого палива використовується автомобільний, залізничний або морський транспорт. Зберігання в силосах, закритих складах, відкритих складах та в будівлях використовується залежно від виду палива (наприклад, кокс, вугілля) та його схильності до утворення пилу.
- Відкриті склади використовуються нечасто, але ті, які існують, мають рівну похилу поверхню проти вітру й можуть мати підпірні стіни для зниження впливу вітру й утримання матеріалу. Матеріал можна перевантажити за допомогою конвеєра з нижньою подачею, грейферного крана або фронтального навантажувача.
- Конвеєрні системи спроєктовані з мінімальною кількістю змін напрямку та мінімальною висотою падіння при цих змінах, щоб зменшити просипи та утворення пилу. Закриті, криті або відкриті конвеєри використовуються залежно від можливості

утворення пилу; у разі необхідності використовується видалення та фільтрування пилу. У разі наявності відкритих конвеєрів може утворюватися пил, якщо стрічка рухається дуже швидко (тобто більше ніж 3,5 м/с). Скребки стрічки використовуються для очищення зворотної частини стрічки, щоб запобігти виникненню просипів.

- Вологість палива можна контролювати, щоб запобігти виділенню пилу. Можливий вибух пилу під час роботи із сухим та дрібнодисперсним матеріалом. Технічні умови контракту для палива та допустимого вмісту тонкої фракції можуть допомогти зменшити вплив [243, France 2008].
- Деякі відкриті склади обробляються розпилювачами води або герметиками (такими як полівінілацетат або меляса) для запобігання утворенню пилу у вітряну погоду та поверхневому окисненню палива. Тверді речовини можуть змиватись в дренажні системи, а для запобігання викидам у воду з відкритих складів часто використовується ефективне відстоювання.
- Тверде паливо може бути подане на об'єкт за допомогою вантажівки, конвеєру або пневматичних систем. Часто використовується одноденне або проміжне зберігання, зазвичай у силосах або бункерах. Ці системи зазвичай мають обладнання для видалення пилу та фільтрування.

2.4.2.4 Прикладні процеси та технології для технологічних хімічних сполук і газів

Кислоти, луги та інші хімічні реагенти часто використовуються в основному процесі та в очисному устаткуванні та можуть утворюватися під час процесу. Їх можна використовувати для вилуговування металів, осадження сполук або для очищення відхідних газів або стічних вод. Хімічні сполуки можуть вироблятися як частина основного процесу.

Постачальник зазвичай вказує належне зберігання цих матеріалів. Багато з цих реагентів можуть вступати в реакцію разом, і методи зберігання та обробки зазвичай враховують це шляхом відокремлення хімічно активних матеріалів. Рідини зазвичай зберігаються в бочкових тарах або резервуарах у відкритих або закритих зонах з обвалуванням; використовуються кислотостійкі чи хімічно стійкі покриття. Тверді речовини зазвичай зберігаються в бочкових тарах або мішках (біг-бегах) всередині з ізольованими дренажними системами; силоси використовуються для деяких матеріалів, таких як вапно. Використовуються пневматичні транспортні системи.

Гази використовуються для різних цілей у виробництві кольорових металів. Галузь може використовувати велику кількість технологічних газів. Споживання певних газів впливає на метод, який використовується для транспортування та розподілу.

Кисень використовується для покращення горіння, забезпечення окиснення та покращення процесів перетворення та природного газу; бутан або пропан використовуються для відновлення оксидів металів. Вуглекислий газ, азот та аргон використовуються для створення інертної атмосфери та для дегазації розплавленого металу. Хлор використовується на етапі хлорування електролітичного виробництва магнію для дегазації розплавленого металу та видалення небажаних металевих компонентів (наприклад, магнію) з алюмінію, а також у процесі «Боліден-Норцинк». Монооксид вуглецю та водень використовуються в основних процесах. Водень та діоксид сірки використовуються для відновлення оксидів та солей. Хлор і кисень використовують у процесах вилуговування, а хлор також використовують у процесі «Боліден-Норцинк». Конкретні галузі застосування обговорюються в межах окремих процесів виробництва металів у главах із 3 до 9.

Оператор може видобувати газ на об'єкті, хоча видобуток газу іноді відбувається за контрактом, і ці установки також постачають його на інші об'єкти. На деяких об'єктах кисень використовується для покращення горіння, а азот – для гасіння іскор пірофорних матеріалів. В одному й тому ж кріогенному процесі або процесі коливання тиску утворюються обидва гази, а отриманий азот низької якості може бути придатний для деяких операцій інертування. Аналогічним чином для запобігання самозайманню можна використовувати газоподібні продукти згоряння з низьким вмістом кисню.

Гази можуть транспортуватися цистернами та трубопроводами. Хлор зазвичай зберігається у вигляді рідини в бочкових тарах або резервуарах і розподіляється шляхом випаровування та всмоктування, що запобігає витоку газу. Контроль та моніторинг загальної кількості матеріалу та тиску можуть забезпечити виявлення витоків для всіх газів.

Балансування потоку та декантація під тиском використовуються для змішування газів (наприклад, сумішей аргону/хлору). У невеликих обсягах можуть постачатися попередньо

змішані гази.

Розподіл газів на об'єкті зазвичай здійснюється за допомогою наземних трубопроводів із використанням надійних систем захисту від пошкоджень. Правила охорони праці та техніки безпеки регулюють використання та розподіл хлору.

2.4.3 Прикладні процеси та технології для запобігання дифузним викидам та уловлювання відхідних газів від процесів виробництва металу

Цей розділ присвячений запобіганню дифузним викидам і уловлюванню відхідних газів від процесів виробництва металу, у тому числі дифузним викидам, викликаним погано спроєктованими або неналежним чином обслуговуваними системами уловлювання газів. Гази та пари, що виділяються в результаті технологічних процесів, потрапляють у робочу зону, а потім у довкілля. Отже, вони впливають на здоров'я та безпеку оператора, а також сприяють впливу технологічного процесу на довкілля. Технології уловлювання технологічного газу використовуються для запобігання та мінімізування цих дифузних викидів.

Пил, дим і гази від процесів виробництва металів уловлюються за допомогою закритих пічних систем шляхом повного або часткового закриття жолобів, систем випускання печей, пунктів передачі та інших систем подання або за допомогою витяжок [73, Theodore, L. et al. 1992]. Гарячі гази з жолобів можуть бути уловлені та передані у вигляді повітря для згорання, щоб також рекуперувати теплоємність. Герметичні печі можна завантажувати з герметичних фурм або систем пальників, через порожнисті електроди, через витяжки або фурми, або за допомогою систем стикування, які забезпечують герметичність під час завантаження в піч. Витяжки спроєктовані якомога ближче до джерела викидів, але водночас залишаючи місце для технологічних операцій. У деяких галузях застосування використовуються рухомі витяжки, а в деяких процесах витяжки використовуються для уловлювання первинного та вторинного диму. Також використовуються окремі третинні системи уловлювання, призначені для уловлювання всіх викидів, що залишилися; їх часто називають системами «house-in-house» або «doghouse» (малюнок 2.2).

Крім вищезгаданих технологій, повідомлялося також про наступні заходи для запобігання дифузним викидам і для уловлювання відхідних газів від процесів виробництва металів.

- Збільшення завантаження в піч або електролізер для забезпечення кращої герметизації та покращення уловлювання відхідних газів.
- Оновлення або оптимізація установок уловлювання та фільтрування відхідних газів.
- Скорочення часу простою печі шляхом покращення вогнетривкої футерівки (тим самим скорочується час запуску та зупинки, що призводить до збільшення викидів протягом обмеженого часу).
- Закриття дахів виробничих будівель та модернізація фільтрів.
- Використання досліджень обчислювальної гідродинаміки (CFD (computerised fluid dynamics)) та індикаторів для моделювання потоку пічних газів, а також руху розплавлених електролітів [233, COM 2008] для запобігання або мінімізування дифузних викидів. Використання цих технологій призвело до створення оптимізованих систем уловлювання газу. Паралельно розроблялися модифікації печей або систем завантаження електроліту для забезпечення невеликих рівномірних добавок сировини, які також сприяють запобіганню дифузним викидам [233, COM 2008].
- Критерії проєктування. Системи уловлювання та швидкість вилучення розробляються на основі надійної інформації про характеристики матеріалу, що уловлюється (розмір, концентрація тощо), форму пилової хмари в екстремальних умовах експлуатації, а також вплив зміни об'єму, температури та тиску на систему. Дослідження обчислювальної гідродинаміки можуть бути використані для досягнення оптимальної конструкції та ефективності вилучення [226, Nordic Report 2008]. Правильне вимірювання або оцінка об’єму газу, температури та тиску виконуються для забезпечення достатньої швидкості вилучення під час пікових потоків газу. Деякі характеристики газу та пилу також мають вирішальне значення для правильної

розробки, щоб уникнути проблем стирання, осадження, корозії або конденсації, і вони вимірюються. Іншим важливим фактором є забезпечення доступу до зон заповнення або випускання печі зі збереженням високого рівня уловлювання; для цього на етапі розробки використається досвід оператора.

- Є інші технології уловлювання дифузних викидів, яким неможливо запобігти чи стримати [73, Theodore, L. et al. 1992], [77, Soud, H.N. 1995], [74, Startin, A. 1998], [76, Soud, H.N. 1993].
- Закриття та очищення старих зон зберігання або утилізації.

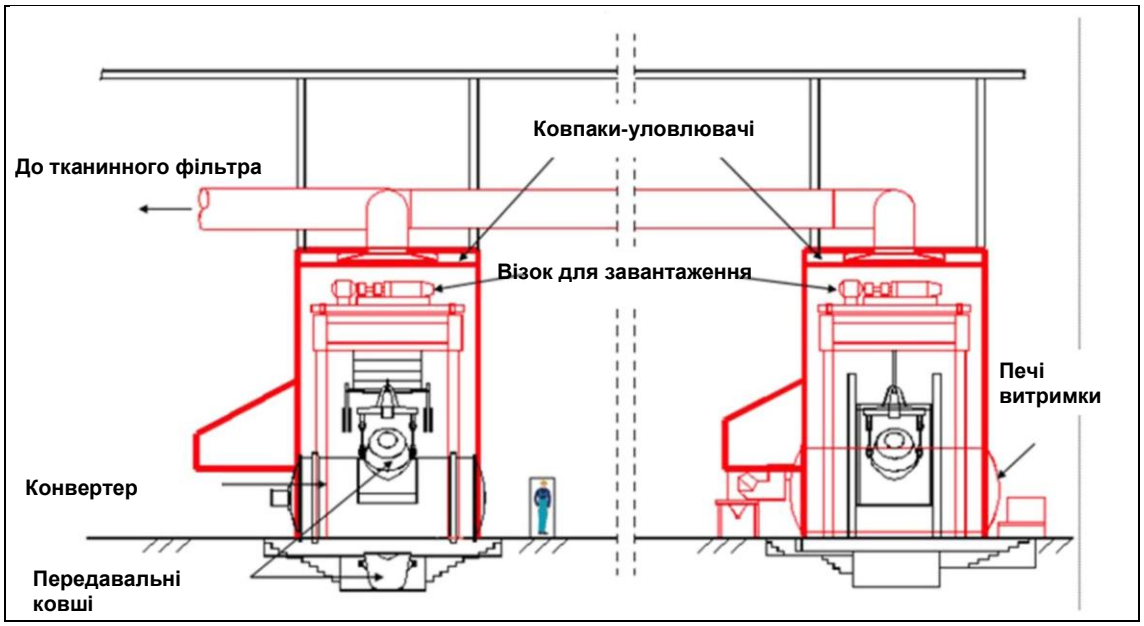


Рисунок 2.2: Система уловлювання «house-in-house»

Застосування критеріїв проєктування для систем уловлювання та витяжних систем корисне не тільки для запобігання викидам в атмосферу, але і для зниження споживання енергії, оскільки уловлювання газу потребує переміщення значних об'ємів повітря, а це може споживати величезну кількість електроенергії. Сучасні системи зосереджені на розробці систем уловлювання, щоб збільшити швидкість уловлювання й мінімізувати об'єм повітря, що переміщується [121, Rentz, O. et al. 1999]. Конструкція системи уловлювання або системи витяжки є дуже важливою, оскільки цей фактор може підтримувати ефективність уловлювання без надмірного енергоспоживання в іншій частині системи. Герметичні системи, такі як герметичні печі, дозволяють досягти дуже високої ефективності уловлювання та мають перевагу перед напівгерметичними печами. У періодичних процесах, наприклад у конвертерах, потоки газу дуже різняться, а також їх важко герметизувати, і часто потрібні вторинні витяжки [243, France 2008].

Повітропроводи та вентилятори використовуються для транспортування уловлених газів у процеси видалення або очищення. Ефективність уловлювання залежить від ефективності витяжних ковпаків, цілісності повітроводів та від використання надійної системи контролю тиску/потоку. Вентилятори з регульованою швидкістю використовуються для забезпечення швидкості вилучення, придатної для умов, що змінюються, таких як об'єм газу, за мінімального споживання енергії. Також можна використовувати інтелектуальну систему для автоматичного керування вентиляторами під час здійснення етапів процесу, що виділяють дим, як у вищезгаданій системі «house-in-house». Системи можуть бути спроєктовані з урахуванням характеристик заводу, з яким вони пов'язані, наприклад, установка з очищення або установка із виробництва сірчаної кислоти. Застосовується принцип належної розробки та обслуговування систем.

2.5 Управління сировиною

Руди, концентрати та вторинна сировина іноді знаходяться у формі, яку не можна використовувати безпосередньо в основному технологічному процесі. Сушіння/відтавання може знадобитися для контролю або з міркувань безпеки. Розмір матеріалу, можливо, необхідно буде збільшити або зменшити, щоб активізувати реакції або зменшити окиснення. Для контролювання металургійного процесу може знадобитися додавання відновників, таких як вугілля або кокс, а також флюсів або інших шлакоутворювальних матеріалів. Флюси додаються для оптимізації відновлення цільового металу та відділення домішок.

Можливо, потрібно видалити покриття, щоб уникнути проблем із забрудненням довкілля в результаті процесу та покращити швидкість плавлення. Усі ці технології використовуються для отримання більш контрольованої та надійної сировини для основного технологічного процесу, а також використовуються у вилученні дорогоцінних металів для аналізу сировини, щоб можна було розрахувати плату за відновлення.

2.5.1 Прикладні процеси та технології

2.5.1.1 Відтавання

Відтавання виконується для того, щоб можна було обробляти заморожений матеріал. Це відбувається, наприклад, коли руди або концентрати або тверде викопне паливо, таке як вугілля, вивантажуються з поїзда або корабля взимку. Відтавання можна досягти за допомогою парових струменів, щоб просто розтопити лід, щоб можна було вивантажити сировину.

2.5.1.2 Сушіння

Процеси сушіння використовуються для отримання сировини, що підходить для основного виробничого процесу. Використовуються обертові сушарки, з паровими змійовиками та інші сушарки з непрямим нагрівом, і необхідно враховувати їхню економічність, доступність, надійність та джерело енергії, що використовується.

Присутності води часто уникають з кількох причин.

- Швидке утворення великих об'ємів пари в дуже гарячій печі є небезпечним, оскільки це може призвести до вибуху.
- Вода може викликати різне теплове навантаження в пальнику концентрату, що порушує управління процесом і може перешкоджати автотермічному режиму.
- Окреме сушіння за низьких температур зменшує потреби в енергії. Це пов'язано з енергією, необхідною для перегріву пари всередині плавильної печі, і значним збільшенням загального об'єму димових газів плавильної печі, що збільшує навантаження вентилятора.
- Може виникнути корозія обладнання заводу і трубопроводів тощо.
- Водяна пара може реагувати з вуглецем з утворенням H_2 та CO.
- Великі об'єми пари можуть викликати дифузні викиди, оскільки потужності відведення технологічного газу може бути недостатньо для їхньої обробки.

Сушіння зазвичай досягається шляхом прямого застосування тепла від пальника або парових струменів або непрямого використання пари або гарячого повітря в змійовиках теплообмінника. Тепло, що виділяється в пірометалургійних процесах, наприклад, в анодних печах, також часто використовуються для цієї мети, а також відпрацьований газ, збагачений CO, який можна спалювати для сушіння сировини. Використовуються обертові печі, і сушарки з псевдозрідженим шаром. Висушений матеріал зазвичай дуже запилений, тому для уловлювання запилених газів використовуються системи видалення та очищення. Уловлений пил повертається в процес. Висушені руди та концентрати також можуть бути піроформними, і це зазвичай враховується під час проєктування системи боротьби з викидами. Для придушення займання можна використовувати азотну подушку (іноді як побічний продукт утворення кисню) або низький рівень залишкового кисню в газоподібних продуктах згоряння. Відхідні гази сушарки можуть містити SO_2, тому можна враховувати очищення цих газів.

2.5.1.3 Дроблення, зменшення розміру та просіювання

Дроблення, зменшення розміру та просіювання використовуються для зменшення розміру продуктів, залишків або сировини, щоб вони були придатними для продажу або подальшої обробки. Використовуються багато типів дробарок, у тому числі конусних та кульових дробарок. Вологі або сухі матеріали дробляться, і може бути включений етап усереднення. Конкретне обладнання, що використовується, залежатиме від оброблюваної сировини. Сухе дроблення потенційно є основним джерелом викидів пилу, тому використовуються системи видалення та очищення, при цьому уловлений пил зазвичай повертається в процес. Вологі матеріали можна дробити там, де утворення пилу може спричиняти проблеми, і де потім відбуваються етапи вологого гранулювання.

Гранулювання використовується для отримання дрібних часток шлаку, які підходять для використання у якості матеріалу для дробоструминної обробки, дорожнього насипу або матеріалу, який можна переробляти для відновлення вмісту металу. Розплавлений шлак заливають у водяну баню або виливають через струмінь води. Гранулювання також використовується для виготовлення металевого дробу. У процесі гранулювання може утворюватися тонкодисперсний пил та аерозолі, які необхідно контролювати.

Електронні компоненти є джерелом декількох кольорових металів, і їх можна подрібнювати в подрібнювачах або млинах, щоб відокремити друковані плати та інші матеріали від металевих компонентів, щоб їх можна було розділити.

2.5.1.4 Подрібнення акумуляторів

Подрібнення акумуляторів використовується для вилучення з акумуляторів свинцю, нікелю, кадмію та інших матеріалів. Для свинцево-кислотних акумуляторів використовуються молоткові дробарки для подрібнення корпусів акумуляторів, щоб вивільнити свинець (у вигляді сіток) та сполуки свинцю (у вигляді пасти) та дати змогу відновити матеріал пластикового корпусу (в основному поліпропілен). Електроліт також видаляється та обробляється або використовується. Двоступеневе дроблення можна використовувати для контролю розміру часток та запобігання попаданню оксиду свинцю в пластик під час одноступеневого подрібнення. Пластиковий матеріал відокремлюють та промивають для покращення якості та отримання пластику, придатного для переробки. Кислота, що міститься в акумуляторах, може забруднити ґрунт та воду, якщо її не уловлювати та не обробляти належним чином. Герметичні кислотостійкі дренажні системи можуть використовуватися зі спеціальними резервуарами для уловлювання та зберігання. На стадіях подрібнення може утворюватися кислотний туман, який можна уловлювати в мокрих скруберах або фільтрах для очищення повітря від туману.

Нікель-кадмієві акумулятори піддаються піролізу для видалення будь-якого пластикового покриття та для відкривання акумуляторів. Піроліз здійснюється за низьких температур, а гази обробляються в допалювачі, а потім у тканинному фільтрі. Кадмій та нікель вилучають з електродів, а сталь із матеріалу корпусу.

2.5.1.5 Усереднення

Усереднення виконується для отримання суміші руд або концентратів різної якості та для поєднання флюсів або відновників із рудою для отримання стабільної сировини для основного процесу. Усереднення може бути досягнуто за допомогою обладнання для змішування на етапі подрібнення або на етапах транспортування, сушіння та зберігання. Точні суміші виробляються з використанням установок для усереднення шихти, систем дозування, що працюють за принципом втрати ваги, конвеєрних ваг або за об'ємом із завантажувального обладнання. Під час усереднення може утворюватися багато пилу, тому використовуються високі рівні утримання, вилучення та знепилення. Уловлений пил повертається в процес. Вологе змішування також використовується, щоб уникнути утворення пилу; утворюється суспензія, яка потім зневоднюється та використовується в процесі гранулювання. З цією ж метою також можуть бути використані покривальні та зв'язувальні речовини. Залежно від процесу може знадобитися гранулювання усередненого матеріалу перед подальшою обробкою, такою як спікання.

2.5.1.6 Брикетування, гранулювання та інші методи агломерації

Для обробки концентратів, димового пилу та інших вторинних матеріалів використовується безліч технологій, у тому числі пакетування дроту або дрібного брухту, пресування брикетів матеріалу, як згадувалося раніше, та екструдування або прокатка пасти для отримання кульок матеріалу однакового розміру. З цією метою використовуються покривальні та зв'язувальні речовини, щоб зменшити утворення пилу на подальших етапах процесу.

Брикети та котуни, які містять суміш дрібнодисперсної руди або концентрату, переробленого пилу та додаткових матеріалів, таких як відновники, часто виробляються для забезпечення ефективних умов виплавки. Після додавання в'яжучих речовин або води суміш подають у прес для отримання подушкоподібного брикету або обертовий барабан для гранулювання, гранулювальний диск або змішувальну машину для виробництва котунів. В'яжучий матеріал повинен мати такі властивості, щоб брикети мали достатню міцність у сирому стані, щоб їх можна було легко обробляти й щоб вони залишалися цілими під час завантаження в піч. Можна використовувати різні типи в'яжучих матеріалів, наприклад, чорний луг (з целюлозно-паперової промисловості), мелясу та вапно, силікат натрію, металовмісний шлак або цемент, і вони також зменшують утворення пилу. Пек може бути доданий для покращення міцності у сирому стані. Грубодисперсні фракції пилу з рукавного фільтра печі та пилу з фільтрів від процесу дроблення та просіювання можна змішувати з іншими матеріалами для брикетування.

2.5.1.7 Спікання та кальцинація

Ці процеси використовуються для збільшення розміру сировини або хімічного складу, щоб він був придатним для подальшої обробки. Агломерація та спікання забезпечують більш рівномірний потік газу через шар печі та зменшують утворення пилу, об'єм газу та дифузні викиди [106, Raffinot, P. 1993].

Спікання та кальцинація також використовуються з цією метою й додатково використовуються для коригування хімічної форми суміші або для перетворення будь-якої наявної сірки, наприклад, кальцинацію доломіту для утворення доломітового вапна під час отримання магнію. Основний механізм зв'язування під час спікання руди досягається шляхом доведення руди до температури, за якої мінерали порожньої породи починають плавитися, в результаті чого окремі частки сплавляються разом в основі розплавленого шлаку. У деяких випадках утворення нових кристалів на колишніх міжзернових межах грає певну роль у процесі спікання. Агломерат зазвичай дроблять та сортують, а дрібні матеріали повертають у процес спікання. Іноді матеріалу, що повертається, у два-чотири рази більше, ніж виробленого спіку. Потім частки сировини направляються до плавильного заводу.

Спікання і випалювання сульфідних руд часто проводяться разом за високих температур, і в цьому випадку гази, що утворюються, містять велику кількість діоксиду сірки. Окислення сірки забезпечує необхідне процесу тепло. Як правило, руда змішується з повернутим спіком і флюсувальними добавками й може бути гранульована перед спіканням. У випадку з оксидами, такими як вторинна сировина, також додається кокс.

Агломераційні заводи використовують рухомий колосник, решітку з безперервним завантаженням або сталеву стрічку для транспортування матеріалу через зони нагрівання та охолодження; деякі заводи використовують сталеві піддони для зберігання сировини. Гази втягуються вгору або вниз через шар (спікання з висхідним або низхідним потоком). Також використовується агломераційна машина, у якій використовується комбінація етапів зі висхідним та низхідним потоком, яка здатна мінімізувати об'єми газу та дифузні викиди та ефективно рекуперувати тепло. Іноді між решітками використовується шар спеченого матеріалу, а суміш використовується для захисту сталевої решітки.

Спікання сульфідних руд є екзотермічним, хоча для інших матеріалів як паливо використовується природний газ. Гарячі гази зазвичай переробляються для попереднього нагрівання шару чи повітря для згорання. Спік охолоджується потоком повітря на шарі або у воді. Потім спік просівають і іноді дроблять, щоб отримати кінцевий вихідний матеріал однорідного розміру. Дрібні матеріали повертаються в процес спікання.

Кальцинацію проводять в обертових печах, печах із псевдозрідженим шаром або багатоподових печах, і зазвичай під час процесу вуглець не додається. Кальцинація сульфідних концентратів виконує стадію випалювання та обговорюється у главах із 3 до 9, присвячених виробництву металу.

2.5.1.8 Процеси ф'юмінгування

Ці процеси використовуються для випаровування летких металів, таких як свинець або цинк, із субстрату. У цих процесах використовуються високі температури та джерело вуглецю для отримання інертного шлаку шляхом випаровування металів з матеріалу. Це дозволяє відновлювати метали, зазвичай у вигляді оксидів, для подальшої обробки. Використовуються вельц-печі, печі Херрешоффа та шлаковипарні печі. Ф'юмінгування також досягається під час процесів періодичного перетворення, коли леткі метали видаляються під час процесу.

2.5.1.9 Видалення покриття та знемаслювання

Операції з видалення покриття та знемаслювання зазвичай виконуються на вторинній сировині, щоб зменшити вміст органічних речовин сировини для деяких основних технологічних процесів. Використовуються процеси промивання та піролізу. Центрифугування може відновити оливу та знизити навантаження на теплову систему. Істотні зміни у вмісті органічних речовин можуть призвести до неефективного згоряння в деяких печах та утворення великих об'ємів газоподібних продуктів згоряння, що містять залишкові органічні сполуки. Наявність покриття також може значно знизити швидкість плавлення [122, ETSU 1994], [118, Laheye, R. et al. 1998]. Це може призвести до значних викидів диму, ПХДД/Ф та металевого пилу в повітря, якщо тільки системи уловлювання та спалювання газу не будуть достатньо надійними. Можуть утворюватися іскри або горючі частинки, які можуть завдати значної шкоди очисному обладнанню. Видалення покриття з забрудненого брухту в печі також є менш ефективним у більшості випадків, ніж видалення покриття з подрібненого матеріалу в окремій печі, через утворення більшої кількості окалини [122, ETSU 1994], але деякі печі спеціально призначені для приймання органічних забруднювачів.

Видалення оливи та деяких лакофарбувальних матеріалів досягається у спеціально розробленій печі, такій як сушарка для стружки. У більшості випадків обертова піч, використовується за низької температури для випаровування оливи та води. Використовується пряме та непряме нагрівання матеріалу. Для руйнування органічних продуктів, що утворюються в печі, використовується допалювач, що працює за високої температури (більше ніж 850°C), а гази зазвичай фільтруються в тканинному фільтрі.

Механічне зняття покриття також часто використовується для видалення ізоляції з кабелів та покриття з інших матеріалів. У деяких процесах використовуються кріогенні методи, щоб зробити покриття крихким, щоб його було легко видалити. Також можна використовувати промивання розчинниками (іноді хлорованими) або мийними засобами. Системи очищення парами розчинника з вбудованими конденсаторами є найбільш поширеними. Ці процеси також застосовуються для знежирення продукції виробництва. У цих випадках використовуються системи очищення для запобігання забрудненню води.

2.5.1.10 Спалювання та піроліз

Процеси спалювання та піролізу зазвичай використовуються для обробки фотоплівки, відходів, каталізаторів та інших матеріалів для концентрації вмісту дорогоцінних металів або відновлення нікелю. Вони також використовуються для попередньої обробки каталізаторів для видалення вмісту органічних речовин перед подальшою обробкою. Ці процеси зазвичай проводять за низьких температур, щоб запобігти винесенню металів. Потім гази, що утворюються в установці для спалювання, обробляються в допалювачі та тканинному фільтрі. Для цих процесів треба зазначити можливість утворення ПХДД/Ф.

Прості камерні печі й обертові печі використовуються для етапів спалювання або піролізу. Сировина подається в камерні печі в лотках. Зола, збагачена металами, уловлюється або охолоджується перед подальшою обробкою.

2.5.1.11 Процедури вилуговування та промивання

Процедури вилуговування або промивання використовуються для концентрування металу із руд або концентратів у рідкій фазі. Промивання використовується для видалення домішок, таких як луги та лужноземельні метали з деяких концентратів і вторинної сировини перед подальшою обробкою. Промивання також використовується для зниження вмісту кадмію, хлоридів, сульфатів тощо у відходах для задоволення технологічних вимог або для їхнього відновлення.

Нижче наведено приклади процедур вилуговування та промивання:

- оксид процесу Вельца можна промивати, щоб отримати матеріал, придатний для використання у процесі виробництва первинного металу;
- кадмій із пилу з фільтра може бути вилучений до того, як пил буде повернуто до плавильного заводу;
- вторинні свинцеві матеріали вилуговуються для видалення хлоридів, лугів та цинку перед переплавленням.

Вилуговування також використовується для видалення металів із комплексних складів або для концентрування дорогоцінних металів, що використовуються для покриття каталізаторів. Такі руди, як кварцеві, перед використанням промивають та просіюють. Використовуються процеси промивання з відкритим або замкнутим циклом, а в системі із замкнутим циклом використовується відведення рідини. Відпрацьовані води проходять очищення перед скиданням.

2.5.1.12 Технології розділення

Ці процеси використовуються для видалення домішок із сировини перед її використанням.

На заводах із виробництва кольорових металів технології розділення найчастіше використовуються для вторинної сировини, і найпоширенішим є магнітне розділення для видалення залізних елементів. Технології ручного та механічного розділення використовуються для попередньої обробки потоків відходів, такої як видалення батарей, ртутних контактів тощо з електронного обладнання відповідно до Директиви щодо відпрацьованого електричного й електронного обладнання або відокремлення автомобільного каталізатора від сталевого корпусу. Розділення дає змогу відновлювати більше металів у спеціальних процесах. Розділення у важкому середовищі й відносній щільності (занурення/спливання) використовується в промисловості з переробки брухту, але може зустрічатися й у кольоровій металургії, наприклад, під час переробки акумуляторного брухту для видалення пластикового матеріалу. У цьому випадку різниця в щільності та розмірах різних фракцій використовується для розділення металів, оксидів металів та пластикових компонентів за допомогою водного шару. Повітряне розділення також використовується для відокремлення металів від менш щільних матеріалів, таких як пластик та волокна, з електронного брухту. Також використовується флотація для збагачення залишків від вилуговування та використовується в мідному секторі для вилучення міді з пічного шлаку. Для відокремлення твердих частинок використовуються водні імпульси, які називаються відсадженням [243, France 2008].

Магнітне розділення використовується для видалення шматків заліза, щоб зменшити забруднення сплавів. Як правило, над конвеєрами використовуються надстрічкові магніти. Похилі поди у відбивній печі використовуються для плавлення цинку, свинцю та алюмінію, щоб залишити домішки з вищою температурою плавлення (наприклад, залізо) на поді для подальшої обробки.

Рухомі електромагнітні поля (розділення вихровим струмом) використовуються для відділення алюмінію від інших матеріалів. Різновид цієї технології використовує це рухоме електромагнітне поле для перекачування розплавленого алюмінію або інших металів без прямого контакту між металом і механічними деталями.

Інші технології розділення передбачають використання кольорових, УФ, ІЧ, рентгенівських, лазерних та інших систем виявлення в поєднанні з механічними або пневматичними сортувальними машинами. Вони використовуються, наприклад, для відокремлення нікель-кадмієвих акумуляторів від інших типів акумуляторів, хоча ці технології все ще розробляються для інших галузей застосування.

2.5.1.13 Системи транспортування і завантаження

Ці системи використовуються для транспортування сировини між етапами попередньої обробки та переходу в основний процес. Використовуються технології, подібні до тих, які використовуються для вторинної сировини, та існують аналогічні проблеми утворення, утримання та видалення пилу. Також використовуються пневматичні системи, системи з використанням щільного повітря та системи аерожолобу, і вони навіть можуть вирівняти відмінності в складі вихідного матеріалу. Уловлений матеріал використовується повторно.

Попередньо оброблені матеріали можуть бути сухішими, ніж сировина, і для запобігання викидам пилу використовуються суворіші методи. Системи розпилення води, як правило, не використовуються, але необхідні високі стандарти організації виробництва. Конвеєри для транспортування матеріалів, що утворюють пил, як правило, закриті, і в цих випадках на відкритих та вразливих ділянках, таких як точки зміни конвеєрів, використовуються ефективні системи видалення та очищення. Альтернативою є використання дрібнодисперсних розпилювачів води або туману. Нижні скребки використовуються на конвеєрах для запобігання винесення матеріалу на зворотній частині стрічки. Пневматичні системи транспортування в щільній фазі також часто використовуються.

Деякі матеріали надходять у бочковій тарі, біг-бегах або іншій упаковці. Якщо матеріал пилоподібний, спорожнення цих контейнерів необхідно проводити в системах уловлювання пилу, наприклад, герметичні пристрої під аспірацією, під зрошуванням або в закритих будівлях. У деяких випадках змішування цих матеріалів із водою або з вологою сировиною є доцільним залежно від матеріалу, за умови відсутності реакцій. В інших випадках краще обробляти їх окремо в закритих системах.

2.6 Процеси виробництва металу

Існує кілька процесів або комбінацій процесів, що використовуються для виробництва та плавлення металів. Ці процеси переважно пов'язані з металами, і тому вони докладно описані в главах, присвячених конкретним металам. Проте загальний огляд пірометаллургійних та гідрометалургійних процесів та їхніх комбінацій можна знайти в Додатку 13.1.

Організовані викиди від процесів виробництва металів мають відомі джерела й можуть бути уловлені та оброблені.

Методи, що використовуються для видалення пилу, газоподібних сполук (таких як NH_3, SO_2, SO_3, HF, HCl та NO_X), діоксинів, діоксиду сірки та ртуті описані в Розділі 2.12.5. Пил і кислі гази зазвичай видаляються, а цінні або токсичні металеві компоненти вилучаються для використання в інших процесах. Розробка процесу боротьби з викидами має вирішальне значення, і застосовуються такі чинники, як ефективність, придатність методу, а також вхідне та вихідне навантаження матеріалу, що уловлюється.

2.7 Діоксид сірки

Діоксид сірки утворюється під час сушіння та виплавки сульфідних концентратів та інших матеріалів. Під час кальцинації, виплавки, конвертування та інших операціях утворюється діоксид сірки в різних концентраціях, і системи видалення, що використовуються, залежать від концентрації.

Сірка, присутня в сировині, може бути включена в шлаки або штейни з використанням відповідних реагентів, а штейни можуть бути використані в процесах. Сірка, яка не вловлюється в штейні або шлаку в процесі виплавки, зазвичай присутня у вигляді SO_2 і може бути вилучена у вигляді елементарної сірки, рідкого SO_2, гіпсу або сірчаної кислоти. Наявність ринків для цих продуктів впливає на вибір кінцевого продукту, але найбільш екологічно безпечним варіантом є виробництво гіпсу чи елементарної сірки за відсутності надійних ринків збуту інших продуктів. Діоксид сірки отримують у результаті випалювання та виплавки сульфідних концентратів та пов'язаних із цим процесів перетворення. Ці процеси працюють таким чином, щоб отримати максимальну концентрацію діоксиду сірки для підвищення ефективності вилучення сірки. Вилучення сірки усуває проблеми забруднення різних компонентів довкілля.

2.7.1 Прикладні процеси та технології

Розрізняють методи, що застосовуються для скорочення викидів SO_2 з відхідних газів із вмістом SO_2 менше ніж 1%, і для газів із більш високим вмістом SO_2.

Методи для відхідних газів із вмістом діоксиду сірки до 1%

1. Вдування вапна з подальшим тканинним фільтром.
2. Взаємодія слабких газів із сульфітом натрію та водою з утворенням бісульфіту натрію. З цього розчину можна виділити концентрований діоксид сірки та отримати рідкий діоксид сірки або інші продукти, такі як сірка (відновлюваний процес Веллмана-Лорда).
3. Очищення за допомогою розчинника на основі аміну або поліефіру, який може поглинати діоксид сірки, який потім десорбується і направляється як побічний потік на завод із виробництва сірчаної кислоти або видаляється шляхом реакції з водою з отриманням сірчаної кислоти або рідкого діоксиду сірки.
4. Окиснення перекисом водню з утворенням сірчаної кислоти.
5. Окиснення активованим вугіллям у якості каталізатору на основі з одержанням сірчаної кислоти.
6. Десульфуризація димових газів (ДДГ) у сухому або напівсухому скрубері з використанням вапна, $NaHCO_3$ або мокрого вапняку для отримання гіпсу або інших продуктів десульфуризації. Ця технологія широко використовується на електростанціях.
7. Подвійне лужне очищення з абсорбцією каустичної соди та осадженням гіпсу.
8. Очищення морською водою.
9. Абсорбція глинозему та осадження гіпсу (процес Dowa).
10. Очищення $Mg(OH)_2$ та кристалізація сульфату магнію.
11. Вологе або сухе очищення оксидом цинку для отримання сульфіту або сульфату цинку, які можна обробляти на етапі вилуговування цинку.

Методи для відхідних газів із високим вмістом SO_2 (> 1 %)

Діоксид сірки утворюється в більш високих концентраціях під час спікання, випалювання та виплавки широкого спектра сульфідних руд та концентратів. Виробляються такі метали: мідь, нікель, свинець, цинк, молібден та кілька змішаних металів. Технології, що використовуються для обробки цих відхідних газів, наведені нижче.

1. Абсорбція діоксиду сірки в холодній воді (наприклад, холодній морській воді) з подальшим вакуумним очищенням та відновленням у вигляді рідкого діоксиду сірки. Цей процес використовується за участі установки з виробництва сірчаної кислоти для вилучення нерозчиненого діоксиду сірки. Потенціал виробництва рідкого діоксиду сірки залежить від наявності місцевого ринку.
2. Виробництво сірчаної кислоти. Виробництво сірчаної кислоти шляхом спалювання сірки для утворення діоксиду сірки є стабільним хімічним процесом. Ці установки мають перевагу завдяки постійній високій концентрації газу та, отже, мають менше

технологічних обмежень. Гази з печі для випалювання або з плавильних заводів не мають цих характеристик, з ними складніше працювати, і вони можуть не досягати такого ж рівня або стабільності перетворення.

Гази від плавильних печей очищаються, охолоджуються та можуть бути висушені, як показано на малюнку 2.3 (див. також Розділ 4.4.11 Довідкової документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива). Діоксид сірки в газі потім перетворюється на триоксид сірки в контактному процесі, коли гази пропускають через шар каталізатора пентооксиду ванадію. Іноді каталізатор доповнюється оксидом цезію, що покращує характеристики, особливо за низької та непостійної концентрації SO_2 або за низької температури. Конструкція установки повинна забезпечувати роботу за нижчих температур (залежно від ефективності теплообміну). Див Розділ 4.4.4 Довідкової документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива. Удосконалені каталізатори використовуються для підвищення ефективності перетворення в установках однократного та подвійного контактування/подвійної абсорбції [339, COM 2007].

В **установці однократного контактування** гази проходять через серію із трьох або більше шарів каталізатора для досягнення високої ефективності перетворення. Виробництво триоксиду сірки є екзотермічним процесом, і якщо вміст діоксиду сірки досить великий для утворення достатньої кількості тепла, гази охолоджуються між кожним проходом. Для газів із низьким вмістом діоксиду сірки може знадобитися додавання тепла перед проходом. Триоксид сірки, що утворився, потім поглинається 98% сірчаною кислотою, яку потім розбавляють, утворюючи сірчану кислоту.

Процес виробництва мокрої сірчаної кислоти (процес WSA) ґрунтується на конденсації кислоти (а не на абсорбції), що особливо підходить для газів, що містять 1–4 % SO_2. Він може досягати до 99% перетворення.

Присутність триоксиду сірки перешкоджає перетворенню діоксиду сірки, тому процес **подвійного контактування/подвійної абсорбції** найчастіше використовується для досягнення більш ефективного перетворення діоксиду сірки, коли вміст діоксиду сірки в газі досить великий. У цьому випадку триоксид сірки поглинається 98% сірчаною кислотою після другого або третього проходу, що дозволяє перетворити більшу кількість діоксиду сірки в подальших проходах. Потім передбачено ще одну стадію абсорбції триоксиду сірки. Використання установки подвійного контактування/подвійної абсорбції підвищує ефективність видалення діоксиду сірки з 98% до 99,7% [130, Eurometaux 1998]. Також повідомлялося, що якщо конструкція установки дає змогу працювати за більш низької температури (залежно від ефективності теплообмінника), використання каталізатора, активованого цезієм, може підвищити її до більш ніж 99,9% [137, Riekkola-Vanhanen, M. 1999]. Коефіцієнт перетворення до 99,97% спостерігався за дуже особливих умов [240, Nyrstar Budel 2008]. Каталізатори втрачають свою ефективність у міру старіння, і цей ефект може призвести до зниження перетворення на 0,1% протягом трьох років експлуатації [339, COM 2007]. Установку подвійного контактування/подвійної абсорбції показано на Рисунку 2.4.

Перехід до подвійного контактування/подвійної абсорбції складний і дорогий, але можна використовувати установку з однократного контактування з десульфуризацією залишкового газу для досягнення нижчих концентрацій залишкового SO_2. Гіпс може вироблятися для зовнішнього продажу або, як альтернатива, може вироблятися сульфіт (або сульфат) цинку, який можна використовувати на етапі вилуговування цинку. Ці варіанти можуть забезпечити економію енергії та менше утворення відходів, але їхню вартість необхідно порівнювати з перетворенням у місцевих умовах. Якщо ринку гіпсу немає, необхідно враховувати витрати на захоронення гіпсу.

Видалення пилу перед контактним процесом необхідне для захисту каталізатора і отримання чистої кислоти. Це знижує концентрацію більшості металів, наприклад цинку, до прийнятного рівня в кислоті, що утворюється, і запобігає отруєнню каталізатора. Попередня обробка газового потоку зазвичай включає кілька етапів, залежно від забруднювачів, присутніх у газовому потоці. Етапи можуть включати охолодження з рекуперацією тепла, гарячий електростатичний фільтр, очищення від ртуті тощо, а також мокрий електростатичний фільтр. Слабка кислота, що утворюється в секції газоочищення, зазвичай містить 1-50% H_2SO_4. Також будуть присутні галогеніди у вигляді HCl (10-5000

ч/млн) та HF (10-1000 ч/млн, включно з H_2SiF_6). На польському заводі Глогув 2 спостерігається високий рівень вмісту фторидів у газі, що надходить у скрубер для охолодження та промивання (500-2000 ч/млн). Для видалення фторидів із газового потоку використовується система дозування розчину силікату натрію в цикли скруберів. Кислота також може містити такі метали, як мідь, цинк та залізо (до 2500 ч/млн окремо для кожного випадку), ртуть (до 1900 ч/млн) та свинець (до 50 ч/млн). Миш'як може бути присутнім до рівня 10 000 ч/млн. Інші елементи, такі як алюміній, нікель, хром, кадмій, вісмут, сурма тощо, також можуть бути присутніми залежно від забруднювачів, присутніх у сировині плавильного заводу. Слабка кислота також буде насичена SO_2 (зазвичай від 2000 до 5000 ч/млн залежно від вмісту SO_2). Ця кислота може бути розкладена, а гази, що надходять на кислотний завод, можуть бути нейтралізовані для виробництва гіпсу для продажу, або оброблені та утилізовані або використані, наприклад, якщо поблизу відбувається процес вилуговування.

У процесі виробництва сірчаної кислоти будь-який залишковий пил і метали видаляються перед етапом контактування, щоб вони не переносилися в кислоту, що отримується. Видалення пилу та металів перед контактним процесом (див. малюнок 2.3) означає, що вони не є суттєвими компонентами в газах, що викидаються в повітря [234, UBA (D) 2007]. Кислотні тумани можуть виділятися з димової труби, і у разі необхідності можна використовувати фільтри-свічки або мокрі скрубери для усунення цих туманів. Повідомляється, що високі рівні фторидів у газі знижують ефективність видалення туману фільтрами [103, COM 1998] (див. також Довідкову документацію за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива [339, COM 2007]).

Будь-який NO_X, присутній у газах, оброблюваних на установці з виробництва сірчаної кислоти, поглинається кислотою, що виробляється. За високих концентрацій утворюється коричнева кислота, що може бути неприйнятним для потенційних клієнтів. Отже, проблема полягає у потенційних продажах. Коли сірчана кислота має коричневий колір через органічні сполуки, можна додати перекис водню для видалення кольору.

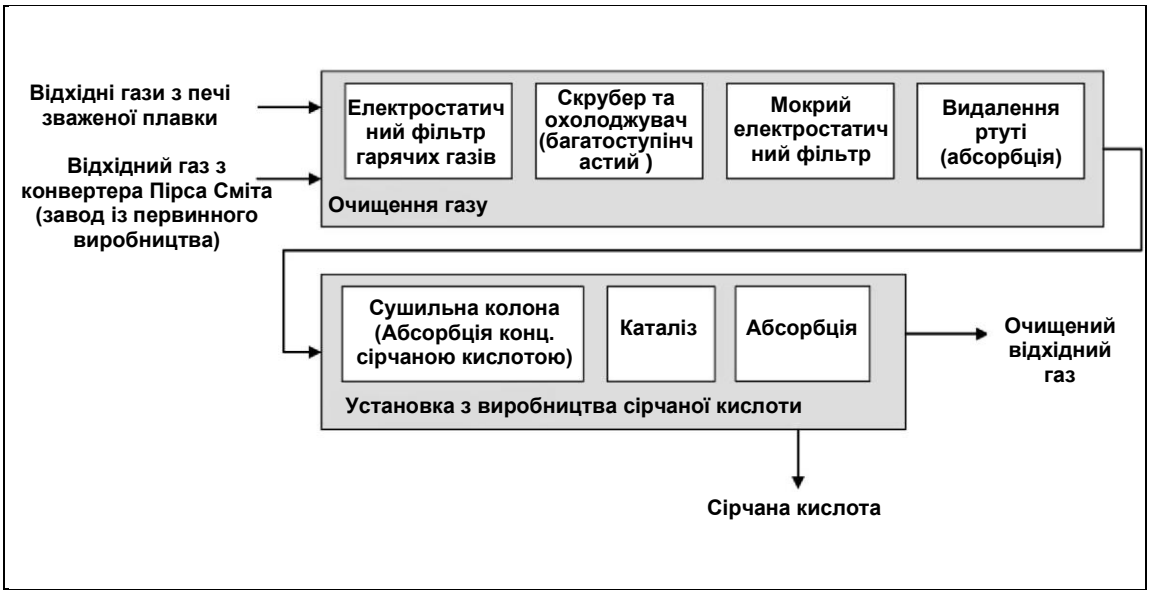


Рисунок 2.3: Типова схема газоочищення для установки з виробництва сірчаної кислоти

Димові гази з печі зваженої плавки, що надходять на кислотний завод Глогув 2 у Польщі, містять високий рівень NO_X (до 1000 ч/млн), тому для підтримки необхідного рівня 5 ч/млн у кислоті, що виробляється, використовуються дві системи розкладання оксидів азоту. Одна з них дозує гідразин у цикли сушіння та абсорбції кислоти, інша розкладає сполуки азоту з конденсату тумановловлювачів шляхом розведення та продування газом, збагаченим SO_2 (метод Лургі) [238, ECI 2012]. Завод у Нідерландах використовує ВКВ (вибіркове каталітичне відновлення) (SCR (Selective Catalytic Reduction)) на першому проході для досягнення тієї ж якості кислоти, а остаточний викид NO_X становить 12 мг/Нм^3 [240, Nyrstar Budel 2008].

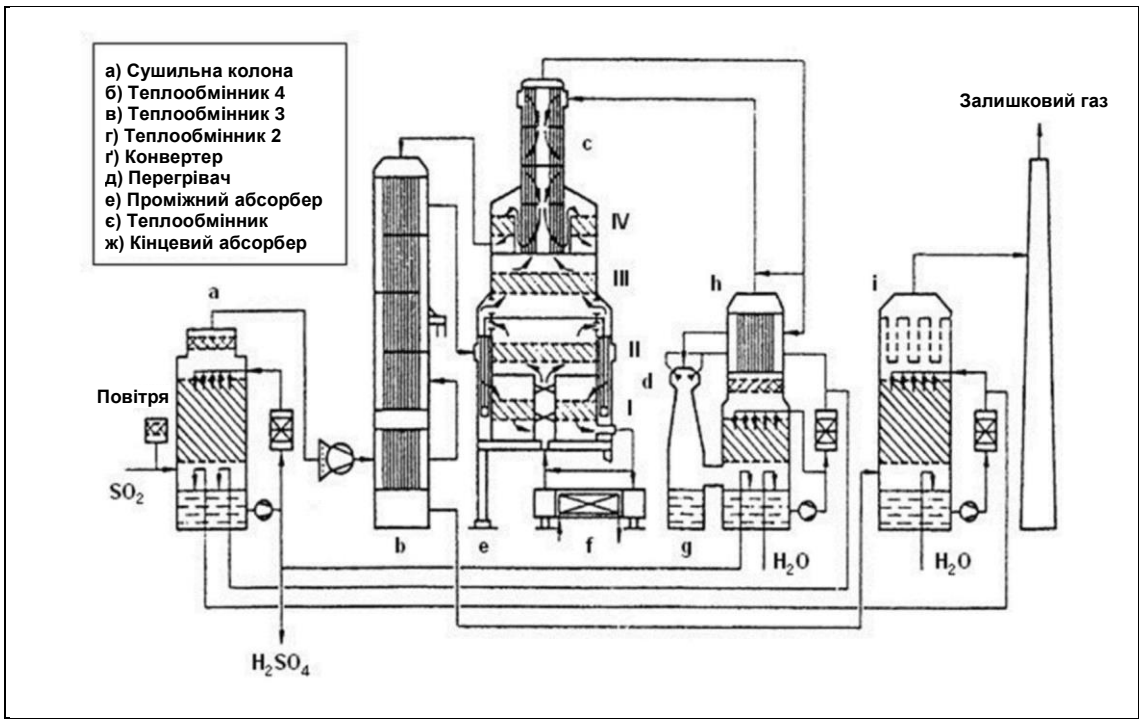
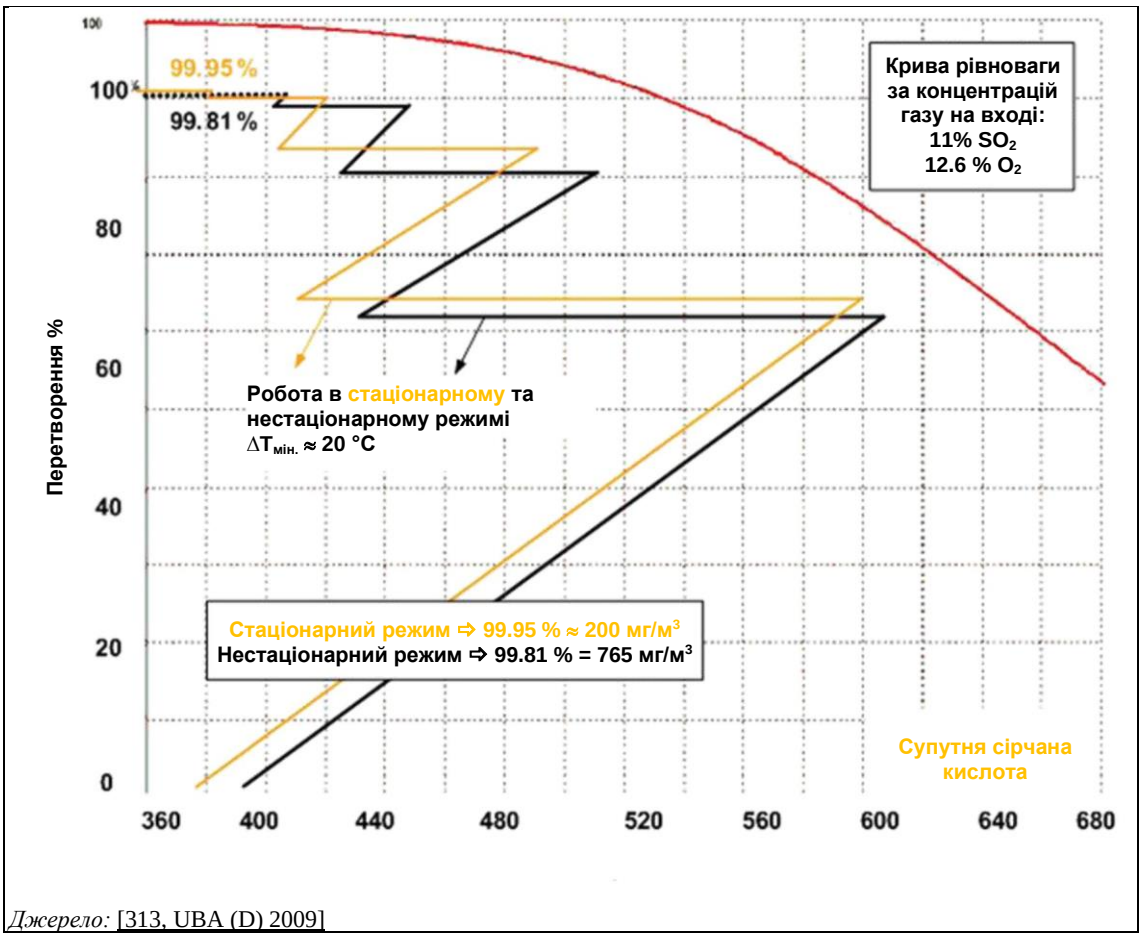


Рисунок 2.4: Типова установка з виробництва сірчаної кислоти подвійної абсорбції

Управління процесом, засноване на вимірюванні вмісту SO_2 у відхідних газах, призводить до уповільнення реакції процесу. У секторі кольорових металів рівень кисню можна використовувати для управління процесом, але це робить управління установкою із виробництва сірчаної кислоти набагато складнішим, ніж контроль спалювання сірки [234, UBA (D) 2007].

Установки з виробництва сірчаної кислоти в цьому секторі, які мають дуже різні концентрації SO_2 на вході, повинні працювати за температур, які на 20 °C нижче за граничні температури каталізатора, щоб каталізатор не дезактивувався. Ефект показано на Рисунку 2.5. Каталізатори також можуть не спрацювати, якщо температура надто низька, і тому дуже важливо підтримувати досить високий рівень температури, щоб запобігти швидкій закінченню дії каталізу, що відбувається при низькому рівні SO_2 на вході. Температура приблизно на 10–30 °C вище, ніж під час роботи в стаціонарному режимі, що призводить до значного зниження коефіцієнта перетворення. Отже, діапазон робочих температур для заводів із виробництва сірчаної кислоти в цьому секторі, що використовується як технологія відновлення сірки, більш обмежений, ніж для заводу зі спалювання сірки, що використовується як установка для виробництва H_2SO_4. З тих же причин випуск перетворення SO_2 нижче за випуск установки з виробництва H_2SO_4.



Джерело: [313, UBA (D) 2009]

Рисунок 2.5: Порівняння впливу концентрацій SO_2 на вході в стаціонарному та нестаціонарному режимах на ефективність перетворення

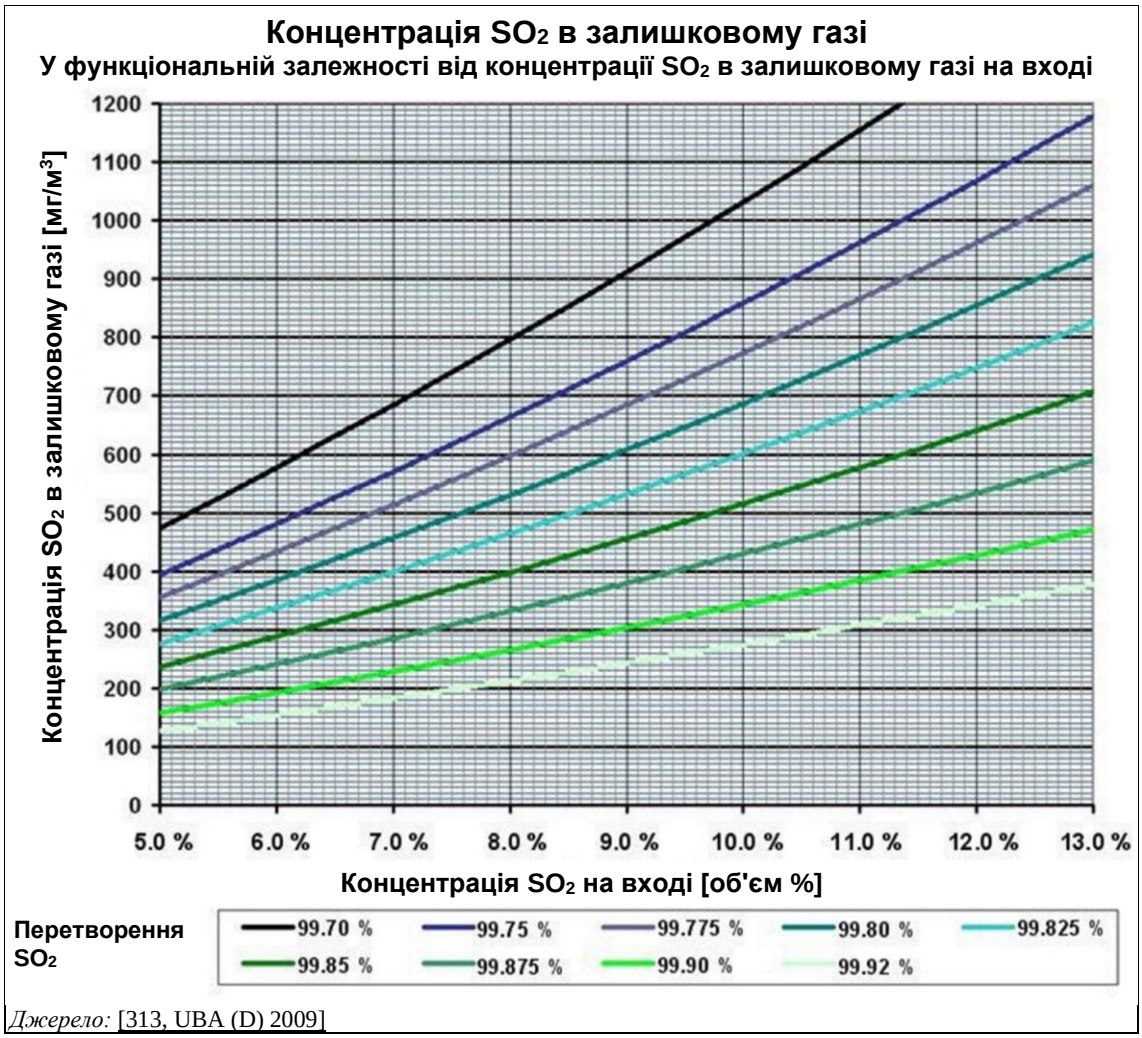
Викиди діоксиду сірки на заводах із виробництва сірчаної кислоти пропорційні коефіцієнту перетворення за умови, що вміст діоксиду сірки в сировинному газі є постійним (відповідно пропорційно вмісту діоксиду сірки в сировинному газі) [313, UBA (D) 2009]. Дані наведені в Довідковій документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива [339, COM 2007] для коефіцієнта перетворення та концентрацій SO_2 на виході для певного вмісту газу на вході. Однак, через відсутність інформації в Довідковій документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива [339, COM 2007], розраховане значення для інших установок подвійного контактування/подвійної абсорбції (680 мг/Нм^3) не враховує зменшення об'єму газу внаслідок поглинання SO_3 у процесі. Правильне рівняння для розрахунку концентрації на виході та коефіцієнта перетворення наведено на Рисунку 2.6 де ή — коефіцієнт перетворення, а ρ — щільність:

$$C_{SO_2,\,out} = \frac{\left(1-\eta_{SO_2}\right)\times\rho_{SO_2}\times C_{SO_2,\,inlet}\times 10^6}{\left(1-1.5\times C_{SO_2,\,inlet}\right)}$$

Рисунок 2.6: Рівняння для розрахунку концентрації на виході та коефіцієнта перетворення

Дані для наявних заводів у Довідковій документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива [339, COM 2007] були розраховані при перетворенні 99,8% за концентрації SO2 на вході 11%, а концентрація відпрацьованих газів була розрахована на рівні 680 мг/нм^3. Еквівалентний результат при використанні правильного графіка дає прогнозовану концентрацію відпрацьованих газів 770 мг/Нм^3 за того ж коефіцієнта перетворення й концентрації газу на вході [313, UBA (D) 2009], [314, UBA (D) 2009]. Як наслідок,

концентрація, зазначена в Таблиці 4.24 Довідкової документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива для інших установок подвійного контактування/подвійної абсорбції (680 мг/нм^3), тепер становить 770 мг/нм^3. Тепер відсутні дані надані, а виправлений графік показаний на Рисунку 2.7.



Джерело: [313, UBA (D) 2009]

Рисунок 2.7: Перетворення SO_2 у сірчану кислоту

2.7.2 Поточні рівні викидів та споживання

Продуктивність установок з виробництва сірчаної кислоти ЄС-28, пов'язаних з виробництвом кольорових металів, показана в Таблиці 2.3, Таблиці 2.4 та Таблиці 2.5 [238, ECI 2012], [230, COM 2007], [229, Umicore etc. 2007], [233, COM 2008], [231, COM 2007]. Інші відповідні дані наведено в Довідковій документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива [339, COM 2007].

Таблиця 2.3: Установки подвійного контактування/подвійної абсорбції з виробництва сірчаної кислоти, пов'язані з виробництвом кольорових металів

Інформація щодо установки з виробництва сірчаної кислоти (з додатковими заходами для боротьби з викидами, якщо вони зазначені в Типі процесу, та установками, що працюють у звичайному режимі)											
Компанія	**Джерело SO_2**	**Рядок**	**Потуж-ність (т/день)**	**Тип процесу**	**Кількість шарів**	**Каталізатор активований Cs**	**Об'єм SO_2 на вході (%)**	**Коефіцієнт перетворення (%)**	**SO_2 на рік у середньому ($мг/м^3$)**	**SO_2 на день у середньому ($мг/м^3$)**	**SO_2 макс. 1/2 год у середньому ($мг/м^3$)**
Atlantic Copper, Уельва	Піч зваженої плавки й конвертер Пірса Сміта	1	2200	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	5	Частково четвертий шар	5–11,5	99,7–99,83	500–700	400–800	До 1000
		2	600		4	Останній шар	5,5–8,5	99,7	500–700	400–800	До 1200
		3	1300		5	Немає	5–10	99,7–99,8	500–800	До 900	До 1200
Aurubis AG, Пирдоп	Піч зваженої плавки й конвертер Пірса Сміта	1	1862	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Останній шар	7,4–11,3	99,7–99,8	864	600–1000	До 1150
		2	1862		4	Перший та останній шар	7,4–11,3	99,7–99,8			
KGHM Глогув 1	Конвертер Hoboken	НЗ	700	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Немає	4,5–8	99,8	НЗ	250–800	НЗ
KGHM Глогув 2	Піч зваженої плавки (для Cu), Піч Kaldo (для Ag)	НЗ	900	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Немає	6–8	99,9	НЗ	140–800	НЗ
Boliden, Гар'явалта	Cu: піч зваженої плавки + конвертери Пірса Сміта Ni: піч зваженої плавки	1	2400	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Перший шар	7–12	99,8–99,9	350	500	До 600
		2	1000		4	Перший шар	8–13	99,7–99,8	800	1000	До 1200
Aurubis AG, Гамбург	Піч зваженої плавки й конвертер Пірса Сміта	1	1300	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Перший та останній шар	5–12	99,7–99,8	500–800	270–1080	330–1980
		2	1300		4	Перший та останній шар	5–12	99,7–99,8			
		3	1300		5	Перший шар	5–12	99,8			
Asturiana de zinc Xstrata zinc	Піч для випалювання	1	300	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Немає	7–8	99,5	1015	992–1365	НЗ
		2	450		4	Немає	7–8	99,5	1398	716–1320	НЗ

		3	850		4	Немає	7–8	99,7	1014	476–936	НЗ
		4	900		4	Останній шар	7–8	99,7	715	441–894	НЗ
Xstrata Zink, Норденгам	Піч для випалювання ZnS	1	590	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Частково перший і третій шар	5–8,5	99,5–99,7	НЗ	522	До 1300
Nyrstar, Бален	Піч для випалювання у псевдозрідженому шарі (цинковий конц.)	F5	850	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Останній шар + третій шар верхнього прошарку	8–9,5	99,5–99,6	800–1200	НЗ	До 1500
Nyrstar, Обі	Піч для випалювання у псевдозрідженому шарі (цинковий конц.)	1	570	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	НЗ	8–8,5	99,5–99,7	900–1200	НЗ	НЗ
Kemira, Коккола	Піч для випалювання Boliden Kokkola	1	1000	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Немає	6-9	99,6–99,8	600–1000	НЗ	До 400
Boliden, Одда	Завод із виплавки Zn	1	370	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Частково перший і третій шар	7–8	99,2	900–1500	НЗ	НЗ
				Мокрий скрубер, що працює на морській воді	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	50–300 На основі двох точкових проб на рік	НЗ
ВВН Штольберг	Завод із виплавки Pb за технологією QSL	НЗ	360	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Перший шар верхнього прошарку + повний четвертий шар	5–12	99,6–99,7	1000	НЗ	490
Weser-Metall, Норденгам	Завод із виплавки Pb за технологією Ausmelt	1	300	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	5	Перший шар, частково четвертий	2-8	99,4–99,7	600–1100	200–800	До 1300

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [238, ECI 2012], [230, COM 2007], [229, IZA plant data 2008], [233, COM 2008] [231, COM 2007], [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 2.4: Модернізовані установки з виробництва сірчаної кислоти з нижчими коливаннями концентрації SO_2 на вході, пов'язані з виробництвом кольорових металів

Дані установки з виробництва сірчаної кислоти (установки, що працюють у звичайному режимі)										
Компанія	**Джерело SO_2**	**Потужність (т/день)**	**Тип процесу**	**Кількість шарів**	**Каталізатор активований Cs**	**Об'єм SO_2 на вході (%)**	**Коефіцієнт перетворення (%)**	**SO_2 на рік у середньому ($мг/м^3$)**	**SO_2 на день у середньому ($мг/м^3$)**	**SO_2 макс. 1/2 год у середньому ($мг/м^3$)**
Boliden, Рьоннскяр	Піч для випалювання, плавильна піч, піч зваженої плавки, конвертер Пірса Сміта	2000	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	5	Останній шар	7–10,5	99,97	100–160	НЗ	НЗ
Boliden, Рьоннскяр	Піч для випалювання, плавильна піч, піч зваженої плавки, конвертер Пірса Сміта	НЗ	Установка, що працює з використанням холодної морської води	НП	НП	7–10,5	НЗ	120–220	НЗ	НЗ
Umicore, Хобокен	ISASMELT	360	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Останній шар	Мін. < 1 Макс. 7–10	> 99,7	80	55–246	До 300
KCM, Пловдив	Піч для випалювання Zn	440	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Останній шар	6–7,5	99,8–99,85	140–280	НЗ	До 360
Nyrstar, Бюдел	Піч для випалювання у псевдозрідженому шарі (цинковий конц.)	1000	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	5	Так	5–7,2 (низьке коливання конц. на вході)	До 99,97	50–80	НЗ	39–193

Примітка: НП = не передбачено; НЗ = не зазначено.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]. [238, ECI 2012], [230, COM 2007], [229, IZA plant data 2008], [233, COM 2008], [231, COM 2007], [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 2.5: Установки з виробництва сірчаної кислоти однократного контактування, пов'язані з виробництвом кольорових металів

Дані установки з виробництва сірчаної кислоти (з додатковими заходами для боротьби з викидами й установками, що працюють у звичайному режимі)											
Компанія	**Джерело SO_2**	**Рядок**	**Потужність (т/день)**	**Тип процесу**	**Кількість шарів**	**Каталізатор активований Cs**	**Об'єм SO_2 на вході (%)**	**Коефіцієнт перетворення (%)**	**SO_2 на рік у середньому ($мг/м^3$)**	**SO_2 на день у середньому ($мг/м^3$)**	**SO_2 макс. 1/2 год у середньому ($мг/м^3$)**
KGHM Легниця	Шахтна піч, Конвертер Hoboken	1	210	Установка однократного контактування /однократної абсорбції та установка Solinox	4	Немає	5–12	96–98	НЗ	200–600	НЗ
		2	210		4	Немає	5–12	96–98	НЗ	200–600	НЗ
Nyrstar, Бален	Піч для випалювання у псевдозрідженому шарі (цинковий конц.)	F4	320	Однократна абсорбція зі скрубером ZnO	4	Останній шар	4,5–7	98,8–99,1	НЗ	600–900	До 1700
Sadaci	Піч для випалювання молібденіту	1	115	Конденсатор WSA	3	Два перші шари	1–3,5	99	НЗ	320–450	100–700

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [238, ECI 2012], [230, COM 2007], [229, IZA plant data 2008], [233, COM 2008], [231, COM 2007], [378, Industrial NGOs 2012].

2.8 Водокористування та очищення стічних вод

У цьому Розділі надається огляд утворення рідких відходів у звичайному процесі. Обговорюються способи зменшення об'єму відпрацьованих вод та практика переробки води, щоб дати розуміння деяких концепцій, які можуть передаватися між групами металів [27, M. Barry et al. 1993]. Очищення стічних вод на установках з очищення відпрацьованих вод описано в Розділі 2.12.6.

2.8.1 Основні джерела рідких відходів

Виробництво кольорових металів пірометалургійним та гідрометалургійним способами пов'язане з утворенням різних рідких відходів. Основні джерела найважливіших потоків стічних вод можна класифікувати, як показано на Рисунку 2.8.

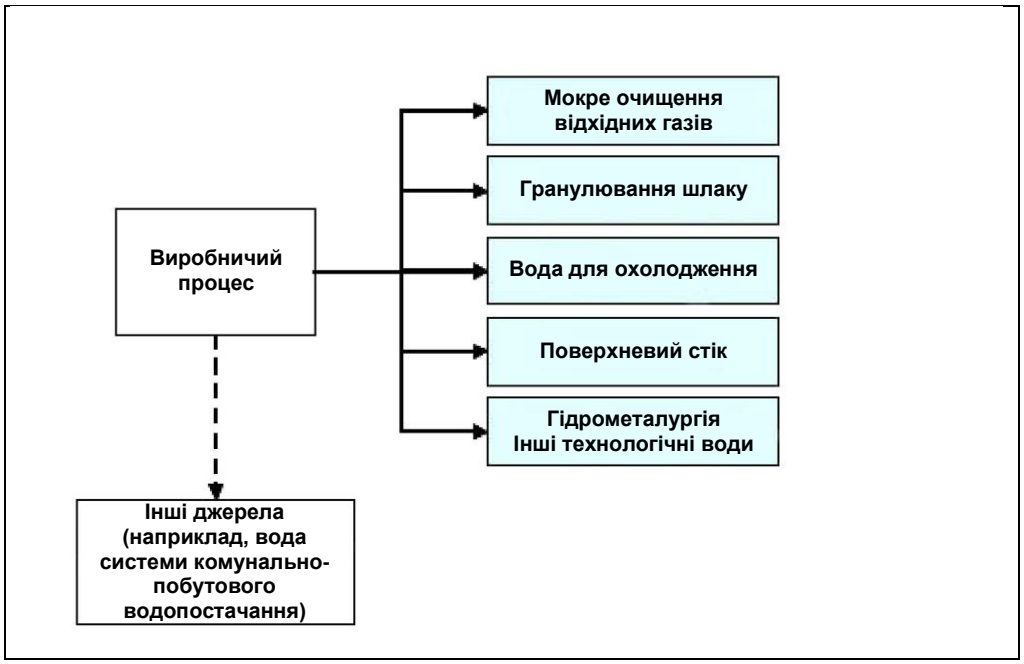


Рисунок 2.8: Класифікація стічних вод

Вищезазначені потоки відпрацьованих вод можуть бути забруднені металовмісними сполуками в результаті виробничих процесів і можуть сильно впливати на довкілля. Навіть у низьких концентраціях деякі метали, такі як ртуть і кадмій, дуже токсичні. Про це свідчить той факт, що ртуть та кадмій очолюють список пріоритетних небезпечних речовин, складений на Конференції по Північному морю 1984 р., яка вимагала скорочення викидів у Північне море на 50%. Токсичний вплив деяких металевих сполук також пов'язаний із тим, що за правильних хімічних умов метали можуть легко потрапляти в природні водотоки як розчинні сполуки та швидко й необоротно асимілюватись у харчовий ланцюг [166, Clark, J.H. 1995] (див. також Додаток 13.2.2 з методології MERAG [301, MERAG 2007]).

2.8.1.1 Стічні води від очищення відхідних газів

Обладнання для очищення повітря від забруднення вологого типу поступово замінюється методами сухого очищення. Сухі методи боротьби з викидами, такі як тканинні фільтри, мають перевагу в тому, що осад або відпрацьовані води не обробляються, а уловлений пил часто можна повторно використовувати в основному процесі, тому проблеми впливу на різні компоненти довкілля зменшуються у порівнянні з вологими системами.

Існують певні випадки, коли необхідно застосовувати методи вологого очищення повітря, тобто мокрі скрубери або мокрі електростатичні фільтри. Вони використовуються, зокрема, коли інші системи очищення не підходять, коли існує ризик вибуху або горіння від легкозаймистих часток, а також якщо газоподібні речовини (наприклад, діоксид або триоксид сірки), а також частки повинні бути видалені з потоку відхідного газу. Мокрі електростатичні фільтри необхідні, коли необхідно очищати вологі, насичені гази з високим вмістом пилу. Наприклад, під час виробництва первинного цинку та міді відхідні гази процесу, що містять пил і діоксид сірки, очищають за допомогою скрубера та мокрого електростатичного фільтра. Мокрі електростатичні фільтри також використовуються для уловлювання смоляного туману у відхідних газах печі для випалювання електродів. У мокрих скруберах прискорення й уповільнення газового потоку та розпилюваної змочувальної рідини створює сильну турбулентність між газами, пилом і краплями рідини. Частки пилу дуже швидко змочуються та прискорюються хімічні реакції. Наступна система уловлювання витягує краплі рідини та змочений пил із газової пари. Потім забруднені стічні води можуть бути видалені для подальшого очищення. Якщо змочувальна рідина не збагачена розчинними компонентами, видалення завислих твердих часток за допомогою згущувача дає змогу повторно використовувати змочувальну рідину. Однак у деяких випадках необхідно проводити осадження розчинних компонентів для повторного використання відпрацьованої змочувальної рідини.

Рідкі відходи зазвичай вимагають подальшої обробки, наприклад, шляхом нейтралізації та/або седиментації для розділення твердої та рідкої речовин. Іноді видалення дуже шкідливих або цінних металевих сполук використовуються спеціальні заходи обробки, такі як іонний обмін. Наприклад, іонний обмін використовується для вилучення ренія зі стічних вод скрубера, що утворюються під час очищення відхідних газів печі для випалювання молібденіту. Цей процес використовується як для видалення металовмісних сполук із відпрацьованих вод, так і як найважливіше джерело для виробництва металевого ренію.

Слабка кислота, що утворюється в мокрих електростатичних фільтрах, може бути оброблена декількома способами:

- шляхом концентрування та подальшого розкладання у плавильній печі, коли SO_2 можна вилучити на кислотній установці;
- оброблена рідина зазвичай може бути направлена назад у систему мокрого очищення, але для контролю складу змочувальної рідини необхідне відведення;
- слабка кислота, отримана в результаті цих процесів також може бути повторно використана в інших процесах, якщо такі є.

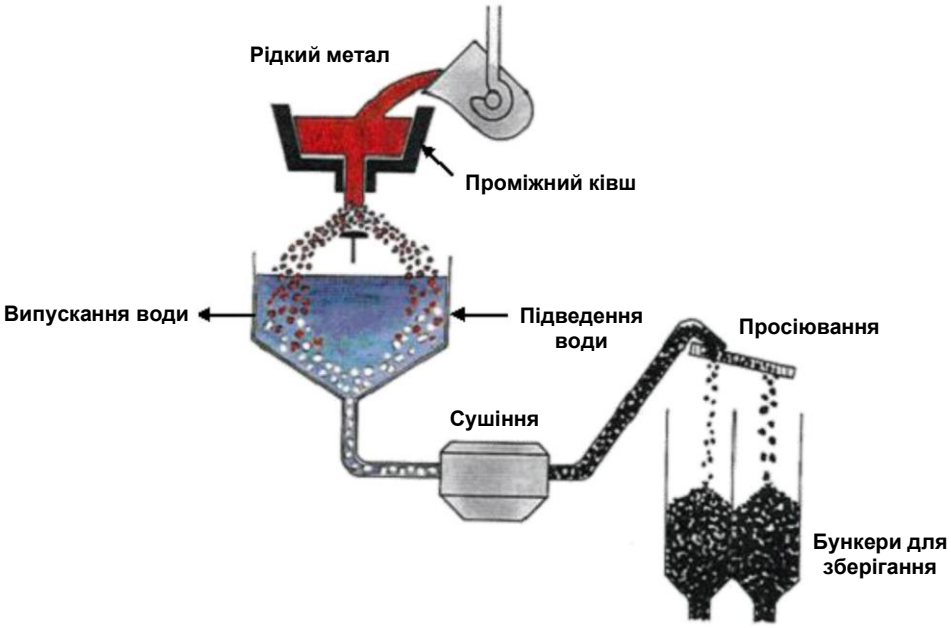
Повідомлялося, що в деяких випадках технологічна вода із системи мокрого очищення плавильної печі містить ціаніди, що утворюються внаслідок реакції вуглецю з атмосферним азотом. Рівень ціанідів можна знизити, використовуючи промивну воду для гранулювання шлаку, що призводить до випаровування й окиснення більшої частини ціанідів.

Інший основний потік стічних вод виникає від видалення ртуті з деяких відхідних газів печі для випалювання. Етап видалення ртуті включає резервуар для газорідинного контакту із розчином хлориду ртуті ($HgCl_2$). Цей хлорид ртуті реагує з металевою ртуттю газу, утворюючи твердий осад Hg_2Cl_2 (каломель). Осаджену суспензію видаляють та окиснюють Cl_2 з утворенням промивного розчину $HgCl_2$. Частина суспензії зневоднюється фільтрпресом і продається як Hg_2Cl_2 для відновлення ртуті або утилізується як спеціальні відходи.

Стічні води процесу попередньо обробляються на місці для видалення ртуті шляхом реакції з цинковим пилом або шляхом осадження у вигляді HgS перед обробкою на установці остаточного очищення стічних вод.

2.8.1.2 Стічні води в результаті гранулювання штейну або шлаку та виробництва металевого дробу та поділу за щільністю

Під час виробництва кольорових металів штейн, шлак та отриманий метал випускатимуться з печей. Матеріали можна гранулювати окремо, виливаючи їх у воду, використовуючи водяний струмінь високого тиску або інші системи охолодження для утворення часток однакового розміру. Потім гранульований метал можна продавати у вигляді металевого дробу. Гранульований шлак можна використовувати для інших цілей, а гранульований штейн можна використовувати на етапі конвертування. Типову схему етапу гранулювання показано на Рисунку 2.9.



Джерело: [149, Schei, A, et al. 1998]

Рисунок 2.9: Гранулювання розплавленого металу

Рідкі відходи, що утворюються на етапі гранулювання, зазвичай переробляють у замкненому циклі (див. Рисунок 2.10). Для запобігання накопиченню завислих твердих часток і сполук металів слід постійно видаляти продувальну воду із системи кругообігу води.

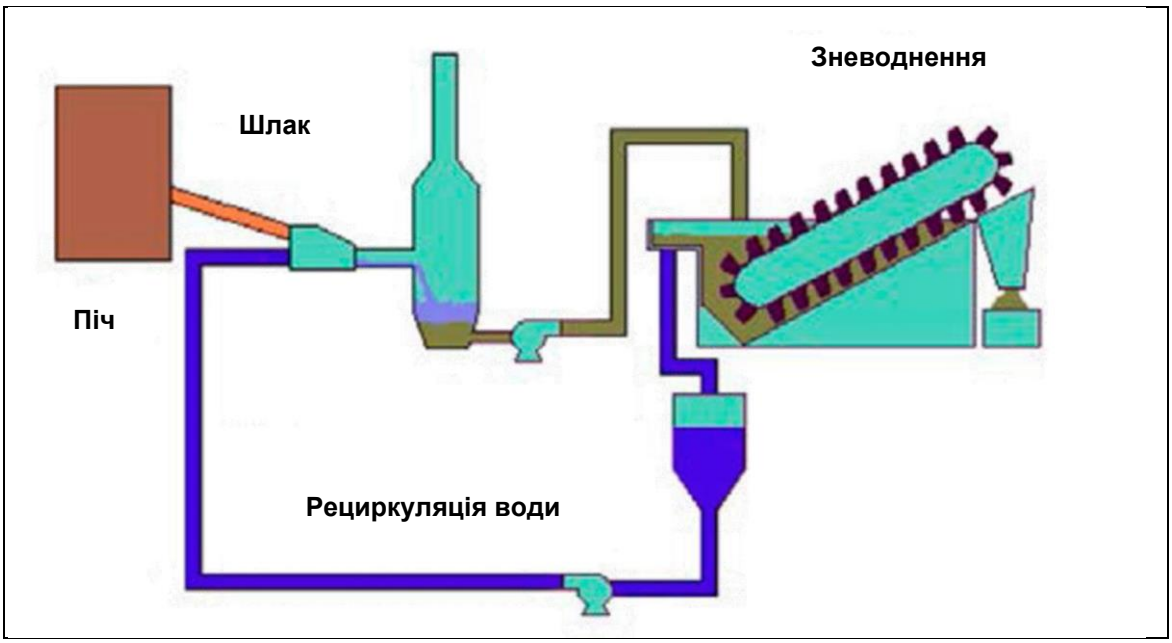


Рисунок 2.10: Замкнений водяний контур у системах гранулювання

Поділ за відносною щільністю (осадження або випливання) також використовується для відділення металів та сполук від легких забруднювачів, наприклад, для видалення пластикових компонентів після подрібнення. Рідкі відходи, що утворилися, зазвичай обробляють, а матеріали, що випливають, видаляють. Для запобігання накопиченню завислих твердих часток і металів необхідно постійно видаляти продувальну воду із системи кругообігу води.

Продувальні або стічні води зазвичай направляють на центральну установку з очищення відпрацьованих вод.

2.8.1.3 Вода для охолодження

Вода для охолодження широко використовується для задоволення різних потреб в охолодженні в металургійній промисловості. Її можна розділити на безконтактну та контактну воду для охолодження, як детально описано нижче.

- Безконтактна вода для охолодження використовується для охолодження печей, витяжок печей, розливних машин тощо. Залежно від розташування заводу охолодження може здійснюватися за допомогою прямотічної системи або рециркуляційної системи з випарними градирнями. Вода з прямотічної системи охолодження зазвичай випускається назад у природне джерело, наприклад, у річку або став-охолоджувач. У цьому випадку перед випусканням води в природне водоймище слід враховувати потенційне підвищення температури. Безконтактна вода для охолодження також може рециркулювати через градирні.
- Під час деяких операцій лиття використовують контактне охолодження. Ця вода для охолодження зазвичай забруднена металами й завислими твердими частками та часто утворюється у великих кількостях. Через специфічний склад і для того, щоб уникнути ефекту розведення контактна вода для охолодження повинна, як правило, оброблятися окремо від інших відпрацьованих вод.

Кількість тепла, що виділяється, і максимальні температури на виході залежать від місцевих умов. Зокрема, вплив на водне середовище необхідно розглядати в кожному конкретному випадку. За потреби розробляються спеціальні системи технологічного охолодження. Якщо потрібне технологічне охолодження, його можна застосувати за допомогою таких методів:

- теплообмін із водою (поверхневою тощо);
- теплообмін із повітрям;
- випарні градирні.

Щоб мінімізувати вплив охолодження на довкілля в цілому, слід використовувати Довідкову документацію за найкращими доступними технологіями для промислових систем охолодження.

2.8.1.4 Поверхневі стоки

Поверхневі стоки утворюються внаслідок забруднення дощових вод, що збираються з дахів будівель та брукованих територій на виробничих об'єктах. Забруднення дощової води відбувається, коли в дренажну систему потрапляють такі матеріали, як пил, що містить метали із зон зберігання, поверхневого осадження тощо, або мастила. Забрудненню поверхневих вод можна запобігти або мінімізувати, використовуючи передові методи зберігання сировини, а також проводячи належне обслуговування та очищення всього виробничого підприємства.

Поверхневі стоки можна збирати окремо. Після етапу седиментації або хімічного очищення їх можна повторно використовувати для інших цілей у виробничому процесі, наприклад, як воду для охолодження або в розпилювачах води для запобігання утворенню пилу.

2.8.1.5 Стічні води від гідрометалургійного процесу

Основні рідкі відходи гідрометалургійного виробництва кольорових металів наведені в Таблиці 2.6 нижче.

Таблиця 2.6: Потенційні джерела рідких відходів гідрометалургійного виробництва кольорових металів

Технологічна установка	Операція/джерело	Застосування
Очищення газів печі для випалювання	Мокре очищення газів печі для випалювання	Установка з очищення відпрацьованих вод, яка передбачає етапи осадження, іноді з видаленням металів за допомогою йонообмінників
Вилуговування	Загальні операції включно з мокрим очищенням газу	Повернення до процесу вилуговування
Очищення	Загальні операції	Повернення до процесу вилуговування або до наступного етапу обробки
Електроліз	Очищення електролізерів, анодів і катодів Відпрацьований електроліт. Злитий електроліт	Повернення до процесу вилуговування. Повернення до процесу електролізу після очищення

Процес гідрометалургійного виробництва зазвичай починається з операції вилуговування. Під час вилуговування потрібний метал та інші елементи вивільняються з мінералу й розчиняються в рідку фазу.

Типові реагенти, що використовуються під час вилуговування, та реакції показані нижче [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]:

- вода для водорозчинних сполук (сульфат міді);
- сірчана, соляна та азотна кислоти або гідроксид натрію для оксидів металів;
- комплексоутворювачі, наприклад, ціанід (золото, срібло) або аміак (мінерали, що містять мідь та нікель);
- виділення мінералу за допомогою відповідного газу або окиснення, наприклад, діоксиду марганцю за допомогою діоксиду сірки, та нікелевого штейну за допомогою хлору;
- кислотно-основні реакції, наприклад, відновлення вольфрамового комплексу з вольфраму за високого значення pH.

Для збільшення кількості цільового металу в розчині вилуговування можна використовувати низку гідрометалургійних методів очищення та збагачення. Цільовий метал можна відновити з очищеного розчину з використанням різних методів, таких як цементація, газові реакції, селективне осадження, іонний обмін, екстракція розчинником, кристалізація, концентрування випарюванням або електроліз. Для забезпечення правильного балансу деяких із цих процесів зазвичай необхідно постійно видаляти частину рідини.

Під час виробництва цинку, наприклад, електроліт може відводитися для контролю накопичення магнію, який в іншому випадку може мати шкідливий вплив на роботу електролізерів. Потоки в електролізерах відносяться до того ж (замкнутого) водного контуру, що й етапи вилуговування й очищення: сірчана кислота, що утворюється під час електролізу, надходить у процес вилуговування, а решта рідини очищається та подається в електролітичний процес.

Злиті стічні води циклу електролізу-вилуговування-очищення мають сильну кислотність і містять високі концентрації цинку та завислих твердих часток. Об'єм зливу сильно залежить від складу цинкових концентратів, які використовуються в процесі випалювання. Компоненти, які схильні до накопичування (тобто недостатньо видаляються з розчину) у циклі, особливо магній, визначатимуть потік зливу.

Багато підприємств уже продемонстрували, що стічні води, що утворюються під час зливу електроліту, можуть повертатися до операції вилуговування залежно від присутніх забруднювачів. Злитий електроліт також може повертатися до процесу електролізу після видалення забруднювальних речовин або малоцінних елементів.

2.8.1.6 Інші технологічні води

У цьому секторі існують інші джерела стічних вод. Найважливішими є:

- розчини, отримані в процесі Байєра для виробництва глинозему;
- кислі відпрацьовані води, що утворюються під час переробки свинцево-кислотних акумуляторів або під час переробки дорогоцінних металів;
- слабка сірчана кислота з установок із виробництва сірчаної кислоти;
- відпрацьовані води від процесу рафінування германію, галію тощо.

Ці відпрацьовані води більш детально розглядаються в главах, присвячених конкретним металам, але процеси, що використовуються, іноді дають змогу повернути розчини назад у процес або використовувати кислотність розчину в інших процесах.

Операції травлення також є джерелом технологічних вод, і наступні два приклади показують, як можна використовувати безкислотне травлення та як мінімізувати вплив кислотного травлення.

Безкислотне травлення
Цей процес відбувається в замкнутому циклі. Катанки можна травити в потоковій системі, що складається з розділеної на відсіки горизонтальної сталевої труби. Використовується 2,5-5% водний розчин ізопропанолу (ІПС (ізопропіловий спирт)). Для міді процес перетворення окалини оксиду міді в паровій фазі з утворенням міді (що залишилася на катанці) відомий як процес Бернса [90, Traulsen, H. 1998]. Відпрацьований травильний розчин може бути перероблений для отримання ІПС або дистильований у вакуумі. Осад/тверді частки, відокремлені від травильних розчинів, використовуються для вилучення металів. Воду від вилучення ІПС та дистилювання відпрацьованого травильного розчину можна повторно використовувати для приготування емульсії або направити на установку з очищення відпрацьованих вод.

Кислотне травлення
Під час кислотного травлення використовується розділена на відсіки горизонтальна система [90, Traulsen, H. 1998]. На першому етапі матеріал травлять розведеною сірчаною кислотою; потім залишкова кислота змивається в кілька етапів із поверхні металу шляхом розпилення води з подальшим сушінням стисненим повітрям. Травлення поверхні зазвичай

проводять сірчаною кислотою, але для деяких сплавів та металів, таких як титан, азотна кислота, іноді сумішшю із сірчаною кислотою, використовується в лініях безперервного виробництва або автоматизованих системах. Очищення газів використовується для вилучення чи видалення парів азотної кислоти; кислоту періодично змінюють. Відпрацьовану кислоту направляють на очищення та до процесу вилучення металу. Системи травлення вентилюються для захисту робітників.

Продукція промивається, промивна вода направляється на очищення, а осад переробляється, якщо це можливо. Для видалення мастила з поверхні прокату застосовують мийні засоби. Відпрацьована вода очищується шляхом ультрафільтрації. Якщо для видалення мастила з поверхні використовують органічні розчинники, застосовується система знежирення в парах розчинника. У цьому випадку хлоровані вуглеводні можуть бути присутніми в будь-якому осаді, що утворюється в процесі очищення відпрацьованих вод.

Альтернативний процес використовується для виробництва мідної катанки. Після часткового охолодження в довгій, заповненій водою трубі катанку формують у спіралі, що відповідають діаметру бунта. Ці спіралі розподіляються по роликовому столу, де температура знижується до 20ºC за допомогою зрошування водою. Конвеєр із кислототривкого сплаву подає ці спіралі в травильні ванни, де катанка протравлюється 20% розчином сірчаної кислоти. Система кислотного травлення забезпечує ідеальне видалення всіх оксидів із поверхні катанки. Потім петлі промивають водою й, нарешті, покривають захисним розчином воску.

Електроліз можна використовувати для відновлення металу, розчиненого травильною кислотою. Промивний розчин може бути очищений за допомогою іонного обміну.

2.8.1.7 Інші джерела

На промисловому підприємстві з виробництва кольорових металів існує багато інших джерел. Прикладами є рідкі відходи зі станцій очищення для вантажівок, що доставляють сировину; ущільнювальна вода від насосів; стічні води від загальних операцій, у тому числі від очищення обладнання, підлог тощо. Ці рідкі відходи зазвичай збираються та очищуються. Вода із санітарної системи зазвичай відводиться в каналізаційну систему загального користування.

2.8.2 Прикладні процеси та технології

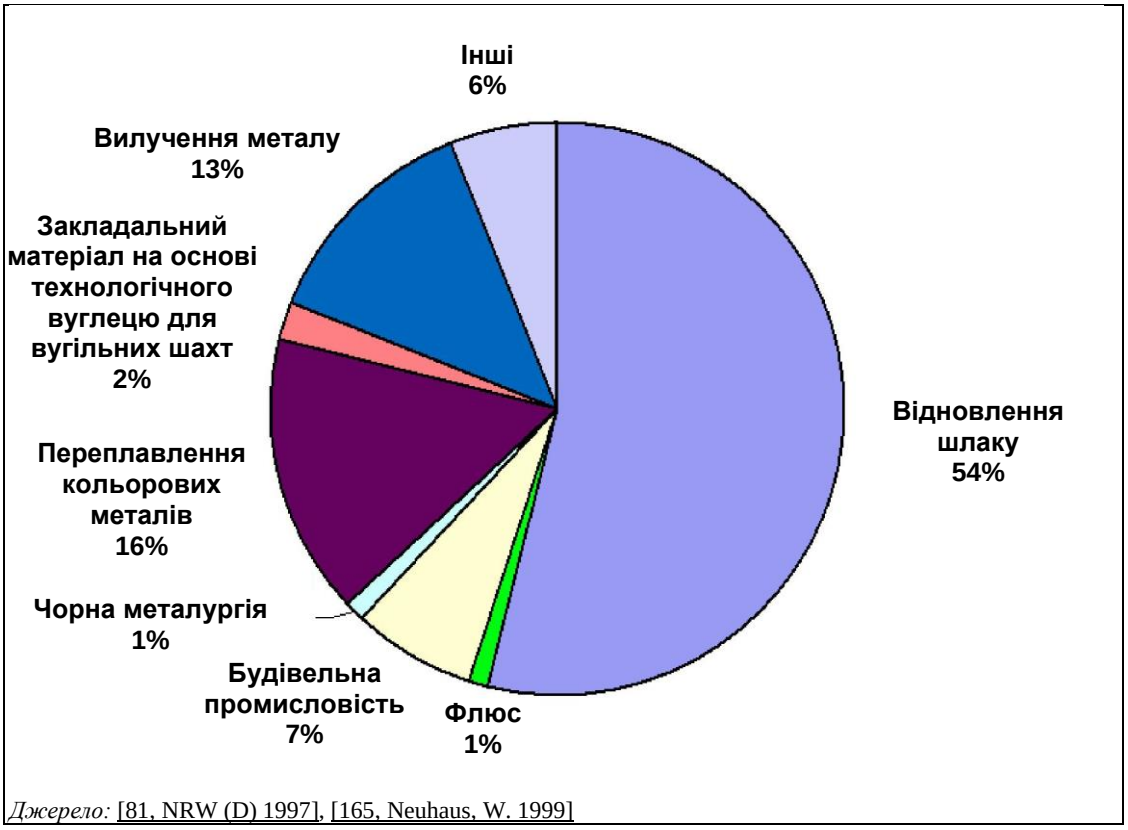
Описано інтегровані в процес заходи та технології очищення відпрацьованих вод.

2.9 Управління відходами

Виробництво кольорових металів із первинної та вторинної сировини пов'язане з можливістю утворення різноманітних побічних продуктів, проміжних продуктів та відходів. Необхідно завжди зосереджувати увагу на мінімізації відходів шляхом оптимізації процесу та максимального використання залишків та відходів за умови відсутності негативного впливу на різні компоненти довкілля. Ці залишкові продукти утворюються на різних етапах виробничого процесу, таких як металургійні операції та процес виплавки, а також під час очищення відхідних газів та відпрацьованих вод [83, NRW (D) 1997]. Склад і кількість елементів, які містяться в залишках, впливають на можливість їхнього повторного використання, наприклад, анодний шлам є придатною сировиною для вилучення дорогоцінних металів. Це треба враховувати за будь-якого позначення залишку як відходів для утилізації. Крім того, у якості побічного продукту може використовуватися деякий пил із фільтрів, такий як мікрокремнезем, що утворюються в процесі виплавки феросиліцію та металевого кремнію [226, Nordic Report 2008].

Згідно з чинним законодавством ЄС (Директива 2008/98/ЄС про відходи (Рамкова директива про відходи)), багато цих залишків вважаються відходами. Проте, кольорова металургія протягом багатьох десятиліть використовувала численні відходи як сировину для інших процесів, і вже давно була створена розвинута мережа металургійних операторів для збільшення вилучення металів та скорочення кількості відходів, які направляються на утилізацію. Повідомлялося, що деякі законодавчі заходи контролю за переміщенням відходів перешкоджають переробці залишків металургійного виробництва [96, Bontoux, L. et al. 1997]. Також добре відомо, що металургійна промисловість має один із найвищих показників із переробки серед усіх галузей промисловості: більшість перелічених вище матеріалів переробляється або повторно використовуються як у самій кольоровій металургії, так і в інших галузях, наприклад, у виробництві цементу, абразивів та в будівельній промисловості (див. Рисунок 2.11). Це не пов'язано з наміром позбутися або утилізувати їх. Це є результатом поділу металів, необхідного для їхнього відновлення та отримання чистих металів із комплексних джерел. Це допомагає мінімізувати негативний вплив на різні компоненти довкілля. Однак проблема залишків, що утворюються на виробничих об'єктах, і призначення деяких з цих матеріалів також відіграватимуть важливу роль у майбутній видачі дозволів, і пошук технології зазвичай зосереджується на цьому аспекті. Однак, речовина може бути описана як відходи або вторинна сировина, залежно від контексту її виробництва, транспортування, використання або відновлення.

Відповідно до дослідницького проєкту щодо запобігання та переробки відходів великої кількості заводів із виплавки кольорових металів у Північному Рейні-Вестфалії, наступна розбивка на Рисунку 2.11 демонструє важливість різних шляхів переробки.



Джерело: [81, NRW (D) 1997], [165, Neuhaus, W. 1999]

Рисунок 2.11: Різні шляхи переробки в залежності від кількості залишків, що утворюються на деяких заводах із виробництва кольорових металів у Північному Рейні-Вестфалії.

У наступних розділах дається опис найчастіше застосовуваних процесів та технологій. Детальну інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

2.9.1 Прикладні процеси та технології для залишків, що утворюються в процесі виплавки

Основними залишками, що утворюються під час виплавки кольорових металів, є шлак, окалина і знімання, що видаляються під час пірометалургійних процесів. Шлак утворюється в результаті реакції шлакоутворювальних супутніх елементів (наприклад, Fe) з доданими флюсами. У процесі виплавки шлак є рідким і його щільність відрізняється від щільності розплавленого металу, тому його можна випускати окремо.

Більша частина шлаку, що утворюється в результаті наступних операцій або рафінування в процесах виробництва кольорових металів, зазвичай може бути перероблена або використана для подальшого вилучення металу.На Рисунку 2.12 показана схема очищення мідних шлаків у електричній печі для забезпечення внутрішньої переробки шлаку. У цьому прикладі отриманий із конвертера розплавлений шлак із високим вмістом міді повертається на плавильну установку. Шлак, що виходить із плавильної установки, знеміднюється в електричній печі для очищення шлаку. Ця піч працює безперервно з майже безперервним потоком шлаку. Залежно від місцевих умов отриманий чистий шлак або гранулюють для виробництва абразивів, або повільно охолоджують і подрібнюють на шматки для виробництва заповнювача або будівельного матеріалу.

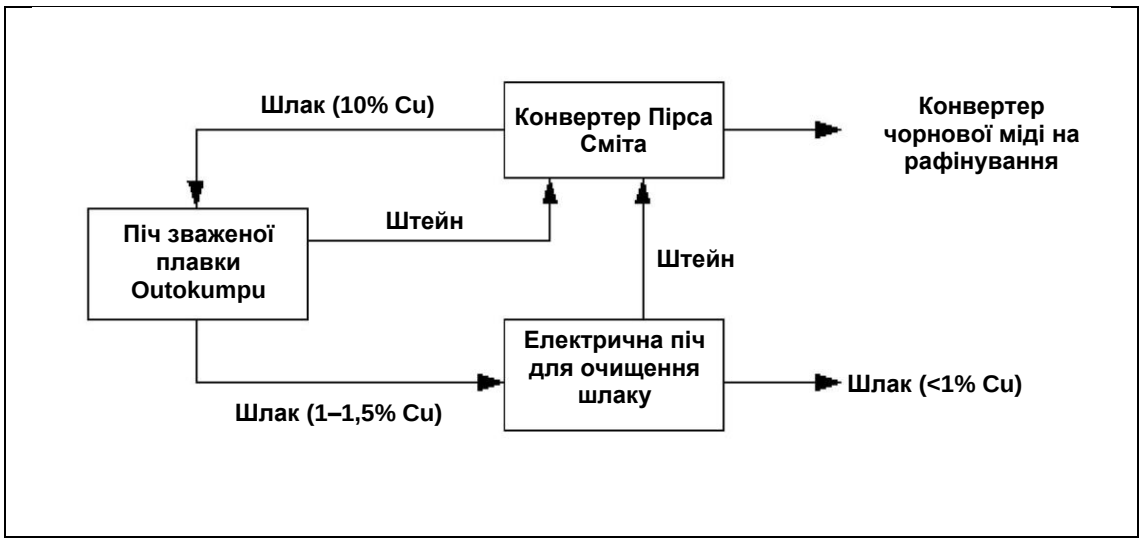


Рисунок 2.12: Очищення мідного шлаку в електричній печі

Існує різниця між шлаком із високим вмістом металу, який перероблюється в процесі або направляється в інший процес або об'єкт для вилучення, і кінцевим шлаком із низьким вмістом металу.

Декілька підприємств кольорової металургії продемонстрували, що існує ринок, на якому вони можуть продавати шлак для подальшого корисного використання. Використання шлаку у якості будівельного матеріалу для заміни заповнювачів можливе лише в разі низької кількості вилужних металовмісних сполук. Існують різні тести, що підтверджують це, наприклад, [268, Belgium 2008], [289, USEPA 2008]. Шлак, який не можна використовувати як абразив або в цивільному будівництві, використовують для переробки, або використовують у якості будівельного матеріалу в особливих випадках (наприклад, у будівництві зон утилізації), або відправляють на утилізацію.

Сольовий шлак утворюється під час виплавки легких металів (алюміній, магній). Використання сольового флюсу запобігає окисненню розплавленого металу і зв'язує домішки, що утворюються в процесі. Існують різні способи мінімізації кількості використовуваного сольового флюсу, а також різні технології вилучення для отримання солі та металів, які більш детально обговорюються в Главі 4.

Дрос і знімання утворюються в результаті окиснення металів на поверхні ванни або в результаті реакції з вогнетривким матеріалом, що використовується у якості футерівки печі. Вміст металів у зніманні/дросі порівняно великий (від 20% до 80%), тому їх зазвичай можна повернути на переробку в основний процес або направити на інші заводи з виробництва кольорових металів для вилучення металів.

Ще одним джерелом залишків є відпрацьовані футерівки та вогнетриви. Вони виникають під час випаданні вогнетривкого матеріалу з футерівки печі або в разі повної заміни футерівки печі. Строк служби футерівки печі становить від декількох тижнів до декількох років залежно від процесу та металу (наприклад, для печі зваженої плавки Outotec при виробництві первинної міді можливий строк від 6 до 10 років). Кількість відпрацьованої футерівки, що утворюється, може досягати 5 кг на тонну виробленого металу в залежності від розплавленого металу [83, NRW (D) 1997]. Для футерівки печей застосовуються такі методи: обробка в плавильному заводі для отримання інертного шлаку, наприклад, футерівка від процесу виплавки латуні направляється безпосередньо на місцевий завод із виплавки вторинної міді; використання у якості компонента маси для випускного отвору; утилізація інертної футерівки.У Таблиці 2.7 наведений огляд кількості перероблених, повторно використаних та скинутих залишків деяких печей для виплавки кольорових металів у Німеччині. У цьому сенсі переробка означає, що залишки повертаються в процес, у якому вони були зроблені. Повторне використання означає, що залишки використовуються з іншою, наприклад, шлак може бути повторно використаний у якості будівельного матеріалу.

Таблиця 2.7: Кількість перероблених, повторно використаних та скинутих залишків, зареєстрована в 1996 році для деяких заводів із виробництва кольорових металів у Північному Рейні-Вестфалії

Залишки	Кількість залишків, зазначена в тоннах, в 1996 році		
	Перероблені або повторно використані	Утилізовані	Загальна кількість
Вогнетривкі відходи (діоксид кремнію)	21	188	209
Вогнетривкі відходи	1655	1145	2800
Вогнетривкі відходи зі шкідливими компонентами	637	728	1365
Шлак	16 869	3	16 872
Окалина від виплавки свинцю	1903	0	1903
Алюмінійвмісні знімання/дрос	45 904	927	46 831
Магнійвмісний дрос	615	81	696
Сольовий шлак від процесу виплавки алюмінію	112 438	0	112 438
Інші залишки	348	0	348
Джерело: [81, NRW (D) 1997]			

2.9.2 Прикладні процеси та технології для залишків систем боротьби з викидами

Системи боротьби з викидами є ще одним великим джерелом утворення твердих матеріалів. До них належать пил димових газів та осад, які збираються з обладнання для очищення повітря, а також інші тверді відходи, такі як відпрацьований фільтрувальний матеріал, такий як фільтрувальні рукави.

Пил від зберігання та обробки сировини або від операцій установки попередньої обробки уловлюється системою знепилення (зазвичай тканинним фільтром) і прямує назад до основного процесу або іншого плавильного заводу. У деяких випадках пил треба агломерувати, перш ніж його можна буде направити на переробку на станцію зберігання та обробки сировини.

Відхідні гази плавильних і рафінувальних заводів, насичені пилом, можна очищати (як описано в Розділі 2.12.5) з використанням різних технологій боротьби з викидами. Матеріал, уловлений у вигляді пилу під час очищення відхідних газів, може бути агломерований і відправлений назад на плавильний завод або поставлений як сировина для подальшого вилучення металу на інших підприємствах. Прикладом може бути насичений цинком пил із конвертера або електричної печі для очищення шлаку в процесі виплавки первинної міді, який можна вважати побічним продуктом і повторно використовувати як сировину на заводі з відновлення цинку [90, Traulsen, H. 1998]. Іншим прикладом є використання мікрокремнезему, який уловлюється в тканинному фільтрі під час виплавки металевого кремнію або феросиліцію і продаються як цінний побічний продукт у будівельній промисловості.

Осад зі скрубера, що містить метал, зазвичай висушують, наприклад, у камерному фільтрпресі, і відправляють назад на плавильний завод.

Коли очищення відхідних газів відбувається в системі сухого знепилення, фільтрувальний матеріал необхідно час від часу замінювати. Фільтри містять сполуки та частки металів із процесу. Існує низка прикладів використання фільтрувального матеріалу в пірометалургійному процесі. Якщо це неможливо, його відправляють на остаточну утилізацію на установку для спалювання або в інше місце утилізації. У Таблиці 2.8 наведена деяка інформація про кількість перероблених, повторно використаних та скинутих залишків із систем боротьби з викидами на деяких підприємствах кольорової металургії в Німеччині.

Таблиця 2.8: Кількість перероблених, повторно використаних та скинутих залишків, зареєстрована в 1996 році для деяких заводів із виробництва кольорових металів у Північному Рейні-Вестфалії

Залишки	Кількість залишків, зазначена в тоннах, в 1996 році		
	Перероблені або повторно використані	Утилізовані	Загальна кількість
Пил, що містить метали	6550	1886	8436
Пил	201	13	214
Мінеральні залишки від системи боротьби з викидами	2638	1752	4390
Осад	508	4	512
Пил, що містить алюміній	1477	66	1543
Джерело: [82, NRW (D) 1997]			

Кількість відпрацьованих фільтрувальних рукавів можна зменшити, використовуючи надійніші сучасні фільтрувальні матеріали. Тканинні фільтри належать до технологій боротьби з викидами, що не потребують особливого обслуговування. У разі пошкодження рукава відповідний відсік фільтру можна ізолювати накладками до безпечного проведення ремонту. Заміна фільтра зазвичай потрібна лише в тому випадку, якщо 10–20% відсіків фільтру виведено з експлуатації.

Заміна фільтрувальних рукавів сучасними надійними тканинами часто не є складним процесом, але треба враховувати технічні вимоги та відповідні інвестиційні витрати в кожному окремому випадку. У разі переобладнання або оновлення системи фільтрації зменшення строку експлуатації та працездатності фільтру може означати, що потрібно менше рукавів. Якщо це призводить до додаткових витрат на встановлення, їх можна компенсувати шляхом зменшення кількості несправностей рукавів.

2.9.3 Прикладні процеси та технології для залишків, що утворюються під час очищення рідких відходів

Пірометалургійні процеси виробництва кольорових металів зазвичай не призводять до утворення шкідливих стічних вод. Вода використовується для прямого чи непрямого охолодження печей, продувних фурм і ливарних машин, наприклад, для лиття мідного анода або безперервного лиття. Ця вода нагрівається шляхом охолодження обладнання, але зазвичай не містить хімічних домішок чи металевих часток. Тому вода для охолодження зазвичай скидається безпосередньо назад у приймальне джерело після відстоювання або іншого етапу очищення. Видалений твердий матеріал повертається до плавильного заводу.

Якщо для очищення відхідних технологічних газів використовується мокрий скрубер, утворюється відпрацьована вода. Цей потік відпрацьованої води має бути очищений, щоб зменшити кількість металовмісних сполук. У результаті цього очищення утворюється осад, який може мати великий вміст металу й іноді може бути повторно використаний у процесі, якщо вміст металу досить великий.

Технологічна вода утворюється в результаті гідрометалургійних операцій та становить високий ризик забруднення води. Тому її необхідно очищувати на установках з очищення відпрацьованих вод. Очищення відбувається шляхом нейтралізації або осадження окремих іонів. Основними залишками цих систем очищення стічних вод є гіпс ($CaSO_4$), гідроксиди металів і сульфіди. Осад іноді направляють на переробку назад до основного виробничого процесу.

2.9.4 Прикладні процеси та технології для залишків, що утворюються від гідрометалургійних процесів отримання кольорових металів

Виробництво кольорових металів за допомогою гідрометалургійних процесів є ще одним значним джерелом твердих залишків. У процесі вилуговування може утворюватися відносно велика кількість осаду (наприклад, приблизно 0,3–0,5 тонн твердих речовин на основі заліза на тонну цинку в залежності від якості концентрату). Ці залишки зазвичай

утилізуються в спеціальних герметичних або підземних сховищах, наприклад, у печерах у горах, що утворилися в результаті вибуху. Деякі залишки перед утилізацією ущільнюються або обробляються за допомогою процесу Jarofix.

У процесі вилуговування та очищення та в електролітичному процесі також утворюються інші тверді речовини з вмістом металу. Зазвичай вони мають великий вміст певного металу й іноді можуть бути повернуті у виробничий процес або направлені для вилучення металу на інші підприємства з виробництва кольорових металів (наприклад, для отримання дорогоцінних металів, свинцю, міді та кадмію). Наприклад, анодний шлам із цеху електролізу міді є одним із найважливіших сировинних матеріалів для вилучення дорогоцінних металів і тому вважається цінним побічним продуктом виробництва міді. Ці питання обговорюються в главах, присвячених окремим групам металів.

2.9.5 Прикладні процеси та технології для інших залишків, що утворюються під час виробництва кольорових металів

Там, де це можливо, потоки відходів, пов'язані з основними процесами, повинні бути відокремлені для відновлення або належної безпечної утилізації.

У всьому механічному обладнанні, яке експлуатується на промислових установках, використовують оливу в якості мастила. Її слід заміняти через налипання металу та хімічних реакцій в оливі. Регулярне технічне обслуговування, ремонт та профілактичне обслуговування можуть звести до мінімуму втрати оливи в результаті витоку та збільшити інтервали між замінами оливи. Зменшення кількості масла також досягається шляхом фільтрування, що продовжує строк використання. Наприклад, можуть бути встановлені перепускні фільтри для безперервного очищення невеликої частини оливи. Ці заходи призводять до збільшення строку використання до 10 разів, залежно від конкретної системи фільтрації. Якщо використані оливні фільтри збираються окремо, їх можна подрібнювати в подрібнювачі. Метал можна повторно використовувати в плавильному заводі як вторинну сировину, а оливу можна піддати центрифугуванню і потім направити на завод з рафінування відпрацьованої оливи (або в деяких країнах, наприклад, в Італії, його обов'язково потрібно відправити консорціуму або агенції).

У деяких випадках ці відходи олив можуть використовуватися у якості джерела енергії на об'єкті, але оскільки цей метод включає (спільне) спалювання відходів, установка повинна відповідати Главі IV Директиви про промислові викиди.

2.9.6 Приклади переробки та повторного використання

Як було показано в цьому розділі, залишки, що утворюються під час виробництва кольорових металів значною мірою можуть бути перероблені та використані повторно. У Таблиці 2.9 наведено різні варіанти переробки та повторного використання цих залишків. Додаткову інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Таблиця 2.9: Залишки та можливі напрями використання

Джерело залишків	Супутні метали	Проміжний продукт або залишок	Варіанти переробки або повторного використання
Обробка сировини тощо	Усі метали	Пил, сміття від підмітання	Сировина для основного процесу
Піч для виплавки	Усі метали	Шлак	Повернення до процесу виплавки; будівельний матеріал; виробництво абразивів; частина шлаку може бути використана у якості вогнетривкого матеріалу, наприклад, шлак від виробництва металевого хрому
	Деякі феросплави	Збагачений шлак	Сировина для інших процесів виробництва феросплавів
Конвертерна піч	Cu	Шлак	Повторне використання на плавильному заводі
Рафінування	Cu	Шлак	Повторне використання на плавильному заводі
	Pb	Знімання/дрос	Вилучення інших цінних металів
	Дорогоцінні метали	Знімання/дрос та шлак	Внутрішня та зовнішня переробка
Обробка шлаку	Cu та Ni	Очищений шлак	Будівельний матеріал, абразиви, заповнювач для дренажу, заповнювач у виробництві цементу
		Штейн	Вилучення металу
Піч для плавлення	Усі метали	Знімання/дрос	Повернення до процесу після очищення
		Шлак	Вилучення металу
	Вторинний Al	Сольовий шлак	Вилучення металів, солей і оксидів
Електролітичне рафінування	Cu	Злитий електроліт	Відновлення Ni
		Анодні залишки	Повернення в конвертер
		Анодний шлам	Вилучення дорогоцінних металів
Електрохімічне вилучення	Zn, Ni, Co, PMs	Відпрацьований електроліт	Повторне використання в процесі вилуговування
Електроліз розплавленої солі	Al Na та Li	SPL	Паливо або утилізація
		Надлишкова ванна	Продаж у якості електроліту
		Анодні ніпелі	Відновлення
		Матеріал електролізера	Металобрухт після очищення
Дистилювання	Hg	Залишки	Повторне використання у якості сировини для процесу
	Zn, Cd	Залишки	Повернення до печі ISF
Вилуговування	Zn	Залишки фериту	Утилізація, повторне використання розчину
	Cu	Залишки	Утилізація
	Ni	Залишки Cu/Fe	Відновлення, утилізація
Установка з виробництва сірчаної кислоти		Каталізатор	Відновлення, переробка та утилізація
		Кислі осади	Вилучення металу, утилізація
		Слабка кислота	Вилуговування, розкладання, нейтралізація, виробництво гіпсу
Футерівка печі	Усі метали	Вогнетрив	Використання у якості шлакоутворювальної речовини, утилізація; повторне використання у якості вогнетриву
Подрібнення, помел	Вуглець	Вуглецевий та графітовий пил	Використання у якості сировини в інших процесах
Травлення	Cu, Ti	Відпрацьована кислота	Відновлення

Системи сухого очищення	Більшість металів (з використанням тканинних фільтрів або електростатичних фільтрів)	Пил із фільтра	Повернення до процесу; вилучення інших металів
Системи мокрого очищення	Більшість металів (з використанням скруберів і мокрих електростатичних фільтрів)	Осад із фільтра	Повернення до процесу або вилучення інших металів; утилізація (наприклад, Hg)
Осад від очищення відпрацьованих вод	Більшість металів	Гідроксидний та сульфідний осад	Утилізація, повторне використання
Вилуговування глинозему	Глинозем	Червоний шлам	Утилізація, повторне використання розчину

2.10 Зняття з експлуатації

Стаття 11(h) Директиви про промислові викиди вимагає, щоб після остаточного припинення діяльності було вжито необхідних заходів, щоб уникнути будь-якого ризику забруднення та повернути місце експлуатації в задовільний стан. Захист ґрунту та води має важливе значення, і слід запобігати повторному попаданню ґрунту та пилу в повітря, щоб вони не утворювали дифузних викидів після закриття установки або частини установки [237, UBA (A) 2004]. Комплексний підхід означає, що вживаються щонайменше такі заходи.

- Мінімізується кількість ґрунту, який необхідно викопати або замінити у зв'язку з будівництвом, та забезпечується ретельна обробка викопаного ґрунтового матеріалу (для уникнення шкідливих змін властивостей ґрунту).
- Мінімізується потрапляння речовин у ґрунт унаслідок витоку, осадження з повітря та неналежного зберігання сировини, продуктів або технологічних залишків на експлуатаційного періоду підприємства.
- Оцінюється історичне забруднення, щоб урахувати умови до регулювання, щоб забезпечити "чисте" закриття, коли роботу об'єкта зупинено, наприклад, очищення та реконструкція, що дозволяють використовувати територію в майбутньому. Природні функції ґрунту мають бути збережені, якщо це можливо.

Звіти щодо об'єкта можуть бути складені при першій нагоді, щоб встановити вихідні дані, за якими можна буде оцінити подальше забруднення об'єкта. Потім цей звіт про фоновий стан можна порівняти з пізнішими звітами, коли установка буде продано, закрито або реконструйовано. Звіт про фоновий стан також можна використовувати для визначення пріоритетів дій, які потрібно виконати на установці.

Заходи з ліквідування наслідків, які можуть бути вжиті, індивідуальні для окремих об'єктів, але можуть включати проміжне покриття, збір продуктів вилуговування, поверхневе покриття, видалення забрудненої землі та створення геологічних бар'єрів [237, UBA (A) 2004], [248, UBA (A) 2009].

Для нових заводів виведення з експлуатації необхідно розглядати на етапі проєктування, щоб запобігти забрудненню. Агентство з охорони довкілля Великобританії опублікувало керівництво, у якому описано технології, які треба використовувати на етапі проєктування, щоб виведення з експлуатації являло собою частину загальної концепції. Керівництво підготовлено Університетом Бата [288, UK, 2002]. Агентство з охорони довкілля Великобританії також вимагає, щоб оператори заходів, перелічених у Додатку I Директиви про промислові викиди, надали план виведення з експлуатації на додаток до своїх дозволів. Для наявних установок оператору пропонується підготувати план як частину Програми вдосконалення.

2.11 Питання безпеки

Питання безпеки можуть бути охоплені системою управління но основі OHSAS 18001, або стандартом інтегрованої системи управління, таким як PAS 99. Загальна політика запобігання промисловим аваріям, підготовки до них та реагування на них заснована на принципах, описаних нижче.

2.11.1 Принцип запобігання

Будівництво та експлуатація заводу повинні здійснюватися:

- таким чином, щоб запобігти неконтрольованому розвитку порушення функціонування;
- таким чином, щоб зменшити наслідки аварій;
- відповідно до найкращої доступної техніки безпеки (сучасна техніка безпеки).

2.11.2 Розгляд комплексних систем у переробній промисловості

Комплексні системи можна досліджувати лише за допомогою систематичних, логічних методів. Цей факт враховується шляхом застосування:

- систематичних аналітичних методів дослідження, таких як дослідження факторів небезпеки та працездатності (HAZOP (hazard and operability)) або аналіз видів та наслідків несправностей (FMEA (failure mode and effects analysis));
- детального аналізу безпеки з урахуванням умов конкретного випадку.

2.11.3 Доцільність засобів

Вимоги безпеки класифікуються відповідно до «типу та масштабу очікуваних небезпек». З цією метою в країнах-членах зазвичай встановлюються правила для:

- речовин, пов'язаних з аваріями (критерії речовин, перелік речовин);
- виробничої діяльності, пов'язаної з аваріями (перелік заводів).

Взаємозв'язок між потенціалом катастрофи та кількістю небезпечних речовин розглядається в рамках концепції порогового значення, що визначає різні рівні вимог безпеки, залежно від кількості.

2.12 Загальні технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ

У цьому розділі описано технології (або їхні комбінації) та пов'язаний із ними моніторинг, які, як вважається, мають потенціал для досягнення високого рівня захисту навколишнього середовища в діяльності, що входить до галузі застосування цього документа. Технології, що описуються, включатимуть як використовувану технологію, так і способи проєктування, будівництва, технічного обслуговування, експлуатації та виведення з експлуатації установок.

Охоплюються системи екологічного управління, технології, інтегровані в технологічний процес, та заходи, що вживаються наприкінці виробничого циклу. Запобігання та управління відходами, включно з процедурами мінімізації відходів та переробки, також розглядаються, а також технології, що зменшують споживання сировини, води та енергії шляхом оптимізації використання та повторного використання. Описані технології також охоплюють заходи для запобігання або обмеження екологічних наслідків аварій та інцидентів, а також заходи для відновлення території. Вони також охоплюють заходи, що вживаються для запобігання або скорочення викидів в умовах, відмінних від нормальних умов експлуатації (таких як операції запуску та зупинки, виток, несправність, короткочасні зупинки та остаточне припинення експлуатації).

У Додатку III до Директиви перераховано низку критеріїв для визначення НДТ, й інформація в цьому розділі стосуватиметься цих критеріїв. Наскільки це можливо, стандартна структура в таблиці 2.10 використовується для опису інформації щодо кожної технології, щоб забезпечити можливість порівняння технологій та оцінки відповідності визначенню НДТ у Директиві.

У цьому розділі не обов'язково наводиться вичерпний перелік технологій, які можна застосовувати в цьому секторі. Можуть існувати або бути розроблені інші технології, які можна враховувати під час визначення НДТ для окремої установки.

Таблиця 2.10: Інформація за кожною технологією

Заголовки в розділах
Опис
Технічний опис
Досягнуті екологічні переваги
Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Вплив на різні компоненти довкілля
Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Економічні аспекти
Стимул до впровадження
Приклади заводів
Довідкова література

2.12.1 Системи екологічного управління

Опис
Формальна система для демонстрації відповідності екологічним цілям.

Технічний опис
Директива визначає "технології" (під визначенням "найкращі доступні технології") як "використовувану технологію, так і способи проєктування, будівництва, технічного обслуговування, експлуатації та виведення з експлуатації установки".

У цьому відношенні система екологічного менеджменту (СЕМ) – це метод, що дає операторам установок змогу систематично й наочно розв'язувати екологічні проблеми. СЕМи найбільш ефективні та дієві там, коли вони становлять невіддільну частину загального управління та експлуатації установки.

СЕМ фокусує увагу оператора на екологічній ефективності установки; зокрема шляхом застосування чітких робочих процедур як для нормальних, так і для відмінних від нормальних умов експлуатації, а також шляхом визначення відповідних галузей відповідальності.

Усі ефективні СЕМ включають концепцію постійного вдосконалення, що означає, що екологічне управління є безперервним процесом, а не проєктом, який зрештою закінчується. Існують різні проєкти процесів, але більшість СЕМ засновано на циклі «планування–виконання–перевірки–вживання заходів» (який широко використовується в інших контекстах управління компанією). Цикл є ітеративною динамічною моделлю, у якій завершення одного циклу перетікає в початок наступного (див. Рисунок 2.13).



Рисунок 2.13: Постійне вдосконалення в моделі СЕМ

СЕМ може набувати форми стандартизованої або нестандартизованої ("адаптованої") системи. Впровадження та дотримання міжнародно визнаної стандартизованої системи, такої як EN ISO 14001:2015, може підвищити довіру до СЕМ, особливо за умови проведення належним чином зовнішньої перевірки. EMAS забезпечує додаткову довіру шляхом взаємодії з громадськістю через висновок про стан довкілля та механізм забезпечення дотримання застосовного законодавства з охорони довкілля. Проте, нестандартизовані системи в принципі можуть бути такими ж ефективними за умови, що вони належним чином розроблені та впроваджені.

У той час як стандартизовані системи (EN ISO 14001:2015 або EMAS), так і нестандартизовані системи в принципі застосовні до **організацій**, у цьому документі застосовується більш вузький підхід, що не передбачає всі види діяльності організації, наприклад, щодо їхніх продуктів та послуг, у зв'язку з тим, що Директива регулює лише **установки/заводи**.

СЕМ може містити такі компоненти:

1. відданість керівництва, у тому числі найвищого керівництва;
2. визначення екологічної політики, що передбачає постійне вдосконалення установки керівництвом;
3. планування та встановлення необхідних процедур, цілей та завдань у поєднанні з фінансовим плануванням та інвестиціями;
4. виконання процедур з особливою увагою до:

   (a) структури й відповідальності,
   (b) набору, навчанню, обізнаності та компетентності,
   (c) зв'язку,
   (d) залучення співробітників,
   (e) документації,
   (f) ефективного управління процесом,
   (g) програм обслуговування,
   (h) готовності до аварійних ситуацій та реагування на них,
   (i) забезпечення дотримання законодавства з охорони довкілля;

5. перевірка ефективності та вживання коригувальних заходів з особливою увагою до:
   (a) моніторингу та вимірювання (див. також Довідковий звіт із моніторингу),
   (b) коригувальних та запобіжних заходів,
   (c) ведення записів,
   (d) незалежного (де це можливо) внутрішнього або зовнішнього аудиту для визначення того, чи відповідає СЕМ запланованим заходам і чи правильно вона впроваджена та підтримується;

6. перевірка СЕМ та її відповідності сучасним вимогам, адекватності та ефективності вищим керівництвом;
7. підготовка регулярних висновків про стан довкілля;
8. валідація атестаційною організацією або зовнішнім верифікатором СЕМ;
9. стеження за розвитком екологічно чистіших технологій;
10. врахування впливу на довкілля від можливого виведення установки з експлуатації на етапі проєктування нового заводу та протягом усього терміну її експлуатації;
11. проведення зіставного аналізу сектору на регулярній основі.

розробка та реалізація плану дій щодо дифузних викидів пилу (див. НДТ 5 тер) також є частиною СЕМ.

Досягнуті екологічні переваги
СЕМ сприяє та підтримує постійне вдосконалення екологічної ефективності установки. Якщо установка вже має хороші показники загальної екологічної ефективності, СЕМ допомагає оператору підтримувати високий рівень ефективності.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Усе значне споживання (в тому числі енергії) та викиди координується оператором у короткостроковій, середньостроковій та довгостроковій перспективі в поєднанні з фінансовим плануванням та інвестиційними циклами. Це означає, наприклад, що адаптація короткострокових рішень наприкінці виробничого циклу до викидів може прив'язати оператора до довгострокового більш високого споживання енергії та відстрочити інвестиції в потенційно більш екологічно вигідні рішення загалом. Це вимагає певного розгляду питань, пов'язаних із впливом на різні компоненти довкілля, та рекомендації з цих питань, а також із питань розрахунку витрат та рентабельності наведено в Довідковій документації щодо Економічних аспектів та питань впливу на різні компоненти довкілля [336, EC 2006] та в Довідковій документації щодо енергоефективності. [333, EC 2008]

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено. Систематичний аналіз первинних впливів на довкілля та можливостей для вдосконалення в контексті СЕМ закладає основу для оцінки найкращих рішень для всіх компонентів довкілля.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Компоненти, описані вище, зазвичай можуть застосовуватися до всіх установок, що охоплюються цим документом. Обсяг (наприклад, рівень деталізації) та характер СЕМ (наприклад, стандартизована або нестандартизована) будуть пов'язані з характером, масштабом та складністю установки, а також діапазоном впливу на довкілля, який вона може мати.

Економічні аспекти
Важко точно визначити витрати та економічні вигоди від впровадження та підтримки належної СЕМ. Існують також економічні вигоди, які є результатом використання СЕМ і вони дуже відрізняються в залежності від сектору.

Зовнішні витрати, пов'язані з верифікацією системи, можна оцінити за рекомендаціями Міжнародного форуму з акредитації [417, IAF 2010].

Стимули для впровадження
Стимули для впровадження СЕМ:

- покращений рівень екологічної ефективності;
- покращене розуміння екологічних аспектів компанії, яке може бути використане для виконання екологічних вимог клієнтів, регулювальних органів, банків, страхових компаній або інших зацікавлених сторін (наприклад, людей, які живуть або працюють поблизу установки);
- покращена основа для прийняття рішень;
- підвищена мотивація персоналу (наприклад, керівники можуть бути впевнені, що вплив на довкілля контролюється, а співробітники можуть відчувати, що працюють в екологічно відповідальній компанії);
- додаткові можливості зниження експлуатаційних витрат та підвищення якості продукції;
- покращення іміджу компанії;
- скорочення витрат пов'язаних із відповідальністю, страхуванням та недотриманням вимог.

Приклади заводів
СЕМ застосовуються в низці установок у всьому ЄС.

Довідкова література
[333, COM 2009], [336, COM 2006], [417, IAF 2010], [420, EC 2009], [430, CEN 2015].

2.12.2 Управління енергоспоживанням

Крім технологій, наведених нижче, необхідно враховувати технології, описані в Розділі 2.2.1.

2.12.2.1 Використання збагачення киснем в повітрі для згорання

Опис
Збагачення киснем використовується для забезпечення автотермічного окиснення сульфідних руд, для збільшення продуктивності або швидкості плавлення окремих печей і для забезпечення окремих областей, насичених киснем, у печі, щоб забезпечити повне спалювання окремо від відновлювальної зони.

Технічний опис
Збагачення киснем повітря для згорання часто використовують у процесах виробництва кольорових металів. У процесах використовується технічний кисень безпосередньо або в корпусі печі.

Використання кисню може дати як фінансові, так і екологічні переваги, за умови, що завод зможе витримувати додаткове тепло, що утворюється. Існує ймовірність, що під час збагачення киснем можуть бути отримані більш високі концентрації оксидів азоту, але пов'язане з цим зменшення об'єму газу зазвичай означає зменшення маси. Докладніше це

описано у відповідних главах, присвячених металам.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання викидам металів, пилу та інших сполук у повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Збагачення киснем дозволяє досягти таких поліпшень.

- Збільшення кількості тепла, що виділяється в корпусі печі, що дає змогу збільшити продуктивність або швидкість плавлення і зменшити кількість використовуваного палива з відповідним зменшенням викидів парникових газів. Деякі процеси можна проводити в автотермічному режимі та змінювати рівень збагачення киснем "в режимі реального часу", щоб контролювати металургійний процес і запобігати викидам.
- Значне зменшення обсягу утворюваних технологічних газів у міру зниження вмісту азоту, що дає змогу значно зменшити розмір повітроводів та систем боротьби з викидами на подальших етапах, та запобігає втраті енергії, необхідної для нагрівання азоту.
- Збільшення концентрації діоксиду сірки (або інших продуктів) у технологічних газах, що дає змогу підвищити ефективність процесів перетворення та відновлення без використання спеціальних каталізаторів.
- Використання чистого кисню в пальнику призводить до зниження парціального тиску азоту в полум'ї, отже, може зменшитись утворення термічних NO_X.
- Виробництво технічного кисню на об'єкті пов'язане з виробництвом газоподібного азоту, відокремленого повітря. Він іноді використовується для вимог інертного газу на об'єкті. Інертні гази використовуються в системах боротьби з викидами за наявності пірофорних матеріалів (наприклад, сухих концентратів міді), для дегазації розплавленого металу, у зонах охолодження шлаку та дросу, а також для контролю диму під час операцій випуску та розливання.
- Вдування кисню в окремих точках печі після основного пальника дає змогу контролювати температуру та умови окиснення незалежно від роботи основної печі. Це дає змогу збільшити швидкість плавлення без недопустимого підвищення температури. Прикладом може бути забезпечення вбудованої зони допалювання в доменній печі.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Це технологія, яку можна застосовувати до більшості використовуваних процесів спалювання та пірометалургійних процесів. Повна вигода найкраще досягається з новими заводами, де камера згоряння та системи очищення також можуть бути спроєктовані для менших об'ємів газу. Ця технологія також може бути застосована до наявних заводів і в багатьох випадках може бути модернізована.

Для печей, у яких використовується сировина, що містить сірку або вуглець, використання повітря, збагаченого киснем, або чистого кисню в пальниках може забезпечити автогенну виплавку або повне згоряння вуглецевмісного матеріалу.

Економічні аспекти
Деякі дані про витрати, пов'язані зі спалюванням кисневого палива у виробництві вторинного алюмінію, наведено в Таблиці 2.11.

Повідомляється про економію газоспоживання в розмірі 12 євро/т, що, з огляду на очікувану потужність у 13 500 т/рік (одна піч), дає щорічну економію в розмірі 152 000 євро. Споживання кисню — це додаткові витрати в розмірі 12 євро/т., що становить річні витрати в розмірі 152 000 євро.

Отже, економічні переваги переважно пов'язані з підвищенням продуктивності. У 1999 р. постійні витрати становили близько 145 євро/т для двох печей (виробництво 22 561 т/рік). Вищий рівень продуктивності з використанням киснево-паливних пальників призведе до скорочення цих витрат приблизно до 122 євро/т (22 651 × 145/27 000). Таким чином, існує можливість економії в розмірі 23 євро/т за рівня продуктивності 27 000 т/рік.

Таблиця 2.11: Техніко-економічне порівняння киснево-паливного пальника з повітряно-паливним пальником

Параметр	Переваги/витрати	Коментар
Час плавлення	− 2.45 год/заряд	Зменшення часу періодичного плавлення
Потужність	+ 0.84 т/год	Підвищення продуктивності печі
Газоспоживання	− 80 м^3/т (тонн кисню)	Зменшення газоспоживання
Споживання O_2	+ 126 м^3/т	Додаткове споживання кисню

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія енергоресурсів.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Австрії, Франції, Бельгії та Сполученому Королівстві.

Довідкова література
[122, ETSU 1994], [276, Schmitt G. 2008], [103, COM 1998].

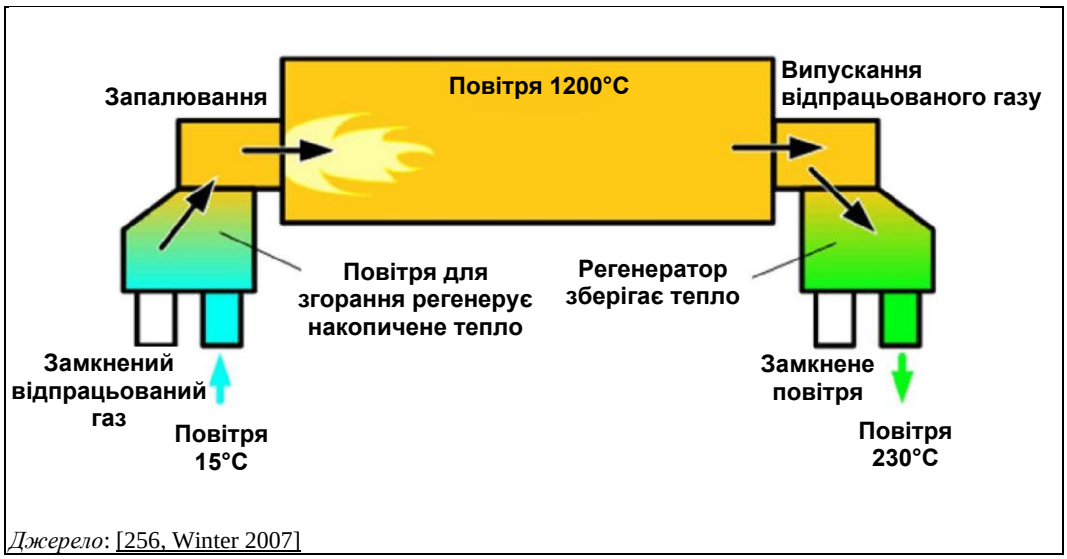
2.12.2.2 Використання регенеративного пальника

Опис
У регенеративному пальнику відпрацьований газ та повітря для горіння по черзі проходять через камеру, заповнену теплоносієм; заповнення потоком відпрацьованих газів і випускання потоку повітря.

Технічний опис
Регенератори, якщо вони виготовлені з матеріалів, здатних витримувати повну температуру відпрацьованих газів із топкової камери та протистояти будь-яким корозійним елементам, що містяться в них, не спричиняють жодних труднощів, які зазвичай спостерігаються в роботі рекуператорів.

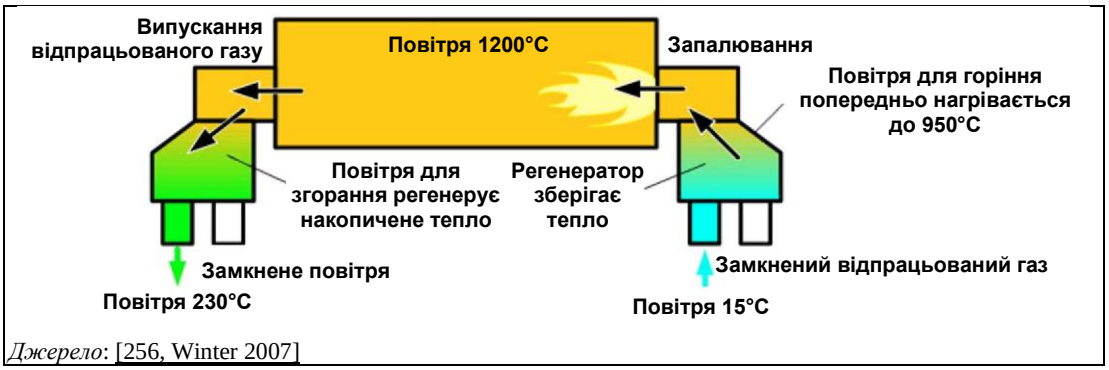
Регенеративний пальник із подвійним шаром складається з повністю керамічного високотемпературного пальника, тісно пов'язаного з компактним керамічним регенератором короткого циклу. Пальник служить для двох цілей, виконуючи роль впуску або випуску з топкової камери в залежності від циклу. Один повний регенеративний пальник із подвійним шаром складається з двох пальників, двох регенераторів, реверсивних клапанів та системи керування.

- У той час як один із пальників працює, використовуючи холодне повітря, що подається до основи його регенератора, відпрацьований газ проходить через інший пальник і спускається в пов'язаний із ним регенератор для попереднього нагрівання насадки, а потім випускається в газоочисну установку. Коли регенератор, що нагрівається, достатньо наповнений, повітряний потік змінює напрямок так, що холодне повітря надходить до щойно нагрітого регенератора й попередньо нагрівається, водночас раніше охолоджений регенератор повторно нагрівається відпрацьованими газами, що утворюються під час запалювання іншого пальника. Перша та друга половини циклу показані на Рисунку 2.14 та Рисунку 2.15.



Джерело: [256, Winter 2007]

Рисунок 2.14: Перша половина циклу регенеративного пальника



Джерело: [256, Winter 2007]

Рисунок 2.15: Друга половина циклу регенеративного пальника

Досягнуті екологічні переваги

Енергія гарячих газів використовується для нагрівання допоміжних матеріалів і може знизити енергоспоживання на 70% у порівнянні зі звичайним пальником. Відомо, що регенеративні пальники споживають на 30% менше енергії, ніж рекуперативні пальники.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Регенеративні пальники використовують у низці сфер застосування. Процес залежить від циклу чергування газів, через низку опорних зон із використанням керамічних кульок, де відбуваються цикли нагрівання й охолодження. Повітря для згорання можна попередньо нагріти приблизно до 900°C.

Вплив на різні компоненти довкілля

Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Ця технологія застосовується до цілої низки ряду нових та наявних процесів. Залежно від вихідного матеріалу може знадобитися додаткова обробка газів.

Економічні аспекти
Повідомляється, що термін окупності регенеративних пальників у секторі виробництва вторинного алюмінію становить менше одного року.

Стимул до впровадження
Підвищена енергоефективність.

Приклади заводів
Завод в Австрії.

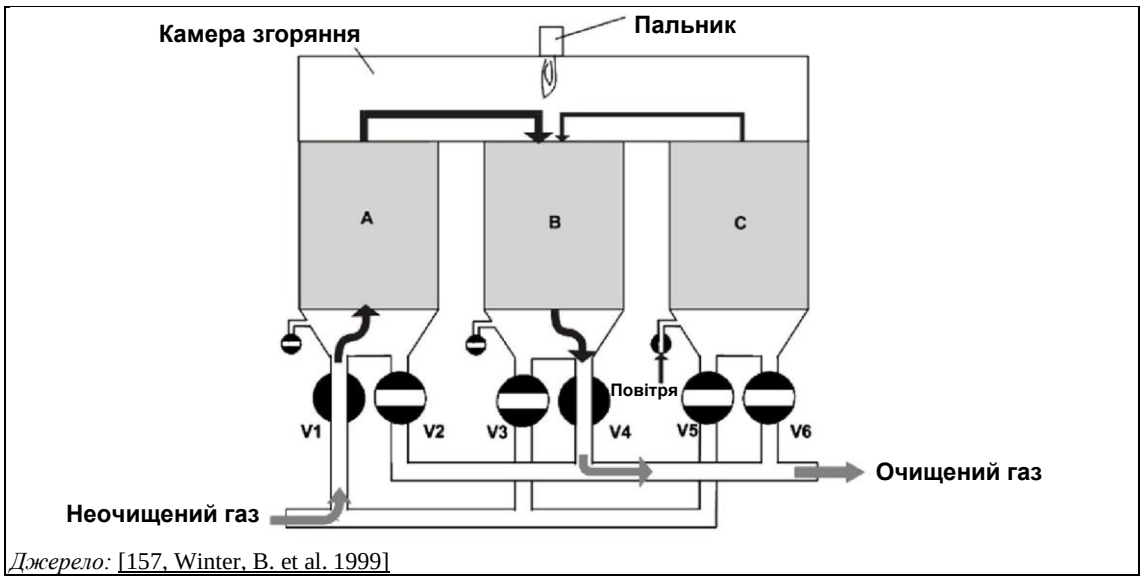
Довідкова література
[103, COM 1998], [256, Winter 2007]

2.12.2.3 Використання регенеративного допалювача

Опис
Система спалювання, у якій використовується регенеративний процес для використання теплової енергії газу та сполук вуглецю з використанням вогнетривких опорних шарів. Колекторна система необхідна для зміни напрямку потоку газу для очищення шару.

Технічний опис
Регенеративні допалювачі, також іменовані регенеративними термічними окисниками (РТО), служать для очищення відхідних газів. Процес залежить від циклу чергування газів, через низку опорних зон, де відбуваються цикли нагрівання, охолодження та очищення. Горюча фракція нагрівається в зоні нагрівання та проходить у загальну камеру перебування, де завершується процес згоряння. Потім гарячі гази проходять у секцію охолодження, яка нагрівається і стає наступною зоною нагрівання. Зони змінюються за допомогою системи колектора для забезпечення можливості очищення.

Регенеративний допалювач показаний на Рисунку 2.16.



Джерело: [157, Winter, B. et al. 1999]

Рисунок 2.16: Регенеративний допалювач

Досягнуті екологічні переваги
Енергія, що міститься в гарячих газах та забруднювальних речовинах (вуглеводні та ПАВ), використовується для нагрівання матеріалів підкладки та, у такий спосіб, може знизити споживання енергії на 70% у порівнянні зі звичайним допалювачем.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Регенеративні пальники або допалювачі використовують у низці сфер застосування. Процес залежить від циклу чергування газів, через низку опорних зон із використанням керамічних кристалів, де відбуваються цикли нагрівання й охолодження. Повітря для горіння можна попередньо нагріти приблизно до 900 °C. Рівні викидів, пов'язані з продуктивністю регенеративних термічних окиснювачів, можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
Повідомлялося про збільшення концентрацій ПХДД/Ф у регенеративному допалювачі, що обслуговує доменну піч. Вважається, що це пов'язано з більшим часом перебування газів у діапазоні температур синтезу de novo.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується до цілої низки процесів, коли потрібно видалення горючих забруднювачів. Основний принцип надійний, але перехід до фази очищення та більший час перебування газів у діапазоні температур синтезу de novo може призвести до викиду неспаленого матеріалу, якщо конструкція недосконала. Для регенеративного допалювача може знадобитися додаткова попередня та подальша обробка газів.

Економічні аспекти
Інформація не надана, але кілька установок працюють економічно ефективно.
Стимул до впровадження
Зменшення викидів ЗЛОС, ПАВ та ПХДД/Ф та підвищення енергоефективності.

Приклади заводів
Заводи в Австрії, Німеччині, Сполученому Королівстві та Нідерландах.

Довідкова література
[103, COM 1998], [157, Winter, B. et al. 1999], [242, Infomil 2008].

2.12.2.4 Використання низькопотенційного тепла

Опис
Усі пірометалургійні процеси виробляють тепло або у вигляді гарячих газів, або гарячої води. Варіанти рекуперації низькопотенційного тепла завжди були складним питанням, оскільки вони обмежені. Можна рекуперувати тепло з рідин за температури близько 55 °C, і відомо про два приклади.

Технічний опис
Перший приклад – використання води від зрошувального охолодження металургійного шлаку, що збирається у відстійнику та проходить через теплообмінник для нагрівання контуру, у якому використовується етиленгліколь. Споживачі низькопотенційного тепла можуть відбирати тепло з контуру через інший теплообмінник [233, COM 2008].

У другому прикладі низькопотенційне тепло використовується для генерації електроенергії, що дає змогу отримувати електроенергію із нагрітих відпрацьованих вод із температурою 85 °C та вище.

Досягнуті екологічні переваги
Рекуперація тепла та запобігання викиду тепла.
Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Тепло обмінюється й передається в замкнутий контур, що містить рідину-носій, яка розширюється і приводить у дію турбіну, яка, своєю чергою, приводить у дію генератор, див. Рисунок 2.17. Генератор зазвичай виробляє електроенергію.

Електростанції малої потужності використовують два блок-контейнери. Вони мають довжину 12,2 метра, ширину 2,3 метра та висоту 3,0 метра, вага брутто 25 тонн.

Контейнери підключені до ліній подання теплих відпрацьованих вод, а також підключені до входу необхідної води для охолодження. Крім того, у контейнерах розміщуються необхідні пристрої для підключення до наявних мереж розподілу електроенергії. Більші установки можуть бути побудовані на об'єкті або у якості альтернативи можуть бути встановлені за допомогою необхідної кількості контейнерів, з'єднаних паралельно.

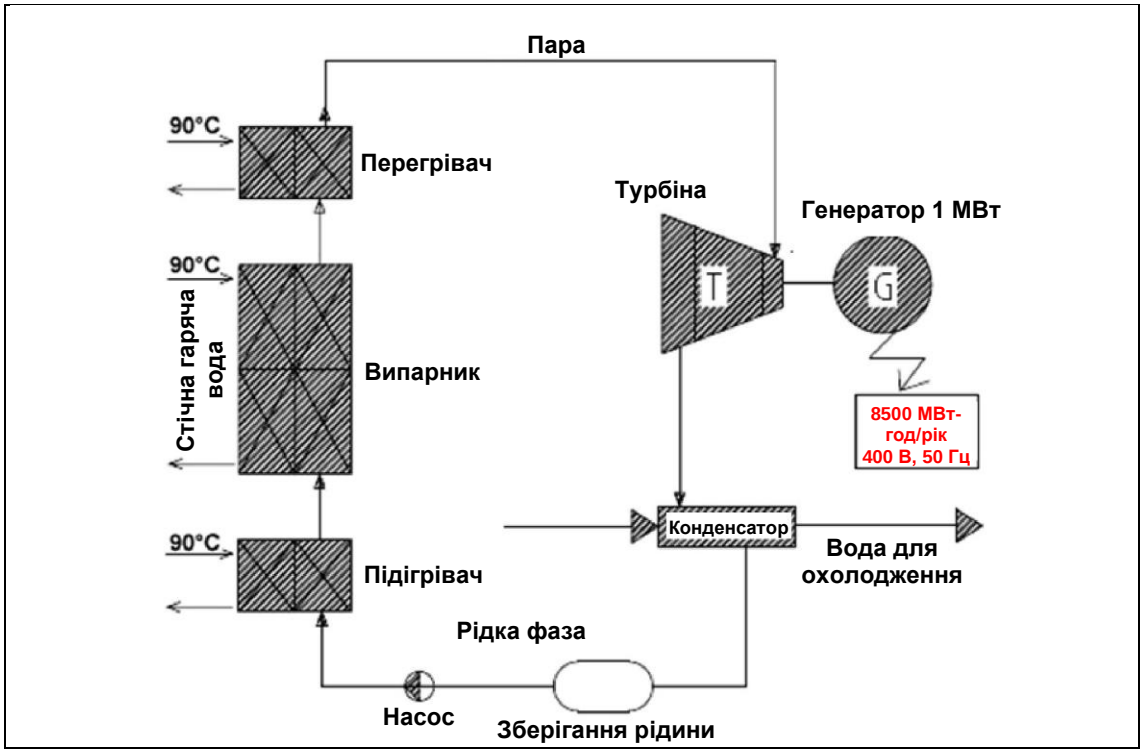


Рисунок 2.17: Виробництво електроенергії з низькопотенційного тепла

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується до цілої низки процесів.

Економічні аспекти
Інформація не надана, але кілька установок працюють економічно ефективно.

Стимул до впровадження
Підвищена енергоефективність.

Приклади заводів
Заводи в Норвегії.

Довідкова література
[233, COM 2008]

2.12.2.5 Використання відходів у якості палива або відновника

Традиційні види палива або відновники можна замінити відходами. Різні види відходів використовуються як паливо або відновники в кольоровій металургії. Оскільки цей метод передбачає спалювання відходів, установка повинна відповідати Директиві про спалювання відходів (2000/76/ЄС).

Відходи часто можна використовувати лише після певних етапів попередньої обробки, щоб отримати спеціальне паливо для спалювання. Оскільки операції з переробки відходів не охоплюються цим документом, більше корисної інформації можна знайти в Довідковій документації щодо галузі обробки відходів [341, EC 2006].

Опис

Відібрані відходи з відновлюваною нижчою теплотворною здатністю, такі як відпрацьована олива, розчинники та пластмаси, можуть використовуватися як паливо, замінюючи звичайні види палива, за умови, що вони відповідають певним специфікаціям та характеристикам. Різні критерії відіграють вирішальну роль у виборі відходів для використання у якості палива, оскільки вони можуть впливати на роботу печі та на викиди.

Для гарантування характеристик відходів, що використовуються у якості палива, потрібна система забезпечення якості. Зокрема, вона має включати положення про відбір проб, підготовку проб, аналіз та зовнішній контроль. Більше корисної інформації можна знайти в технічних специфікаціях Європейського комітету зі стандартизації, таких як CEN/TC 343 "Паливо з твердих відходів".

Досягнуті екологічні переваги
Відбір відходів для використання у якості палива зумовлений низкою взаємопов'язаних чинників, у тому числі такими основними моментами:

- зменшення викидів, наприклад, CO_2, отриманого з викопного палива;
- зменшення використання природних ресурсів, наприклад, викопного палива;
- зменшення відстаней транспортування;
- запобігання утилізації шляхом захоронення;
- безпечний шлях рекуперації відходів.

Вплив на різні компоненти довкілля
Залежно від своїх характеристик, наприклад, високі концентрації металів, відходи, що використовуються у якості палива, можуть впливати на кількість викидів.

Інформація про функціонування
Дослідження «Оцінка застосування та можлива розробка законодавчих актів спільноти з контролю спалювання та одночасного спалювання відходів» виявило шість заводів у галузі кольорової металургії, які використовують відходи у якості палива. Дослідження було проведено від імені Європейської комісії компанією Ökopol у 2007 р. [315, Ökopol 2007].

Відходи, що використовуються у якості палива в галузі кольорової металургії, мають високу теплотворну здатність, наприклад, відпрацьована олива з теплотворною здатністю 37 МДж/кг та розчинники з теплотворною здатністю 26 МДж/кг.

В обертовій печі заводу з випалювання нікелю в Австрії традиційне паливо замінюється відпрацьованою оливою та розчинниками.

Застосовність
Ці види палива в принципі можна використовувати там, де забезпечено повне згоряння органічних речовин, а контроль надходження відходів та контроль викидів гарантує низький рівень викидів, наприклад, металів та діоксинів.

Економічні аспекти
У порівнянні з використанням викопного палива, використання відходів у якості палива може знизити експлуатаційні витрати.

Стимул до впровадження
Зменшення витрат на паливо та доступність ресурсів

Приклади заводів
Заводи в Австрії.

Довідкова література
[311, Mauschitz 2007], [315, Okopol 2007].

2.12.3 Моніторинг та управління процесом

2.12.3.1 Технології управління технологічним процесом

Опис
Комплекс технологій для управління процесом та забезпечення безперебійного та стабільного ходу процесу.

Технічний опис
Управління та контроль процесів застосовуються до різних процесів. Основні технології описані нижче.

- Перевірка та вибір вихідних матеріалів відповідно до застосовуваних процесів та технологій боротьби з викидами. Типові процедури включають (здебільшого в письмовій формі):
  - перевірку товаросупровідних документів;
  - візуальну перевірку того, що поставлений матеріал відповідає зазначеному в контракті та товаросупровідним документам;
  - визначення маси;
  - Перевірку доставленого матеріалу на наявність будь-яких сторонніх речовин, які можуть впливати на довкілля або обладнання заводу, або які можуть викликати проблеми, пов'язані зі здоров'ям та безпекою:
    - візуальний огляд,
    - вибірковий контрольний аналіз залежно від типу матеріалу,
    - випробування на радіоактивність,
  - прийняття (або відхилення) вихідних матеріалів;
  - призначення до зони зберігання;
  - перевірку розвантаження та очищення транспортних засобів, якщо це необхідно;
  - якщо необхідно або можливо:
    - сортування сторонніх речовин: повернення постачальнику або відповідна утилізація,
    - відповідну обробку – у разі необхідності процес "адаптації";
  - відбір репрезентативних проб для визначення хімічного складу (шляхом хіміко-аналітичної оцінки або "сортування") для технічних чи комерційних цілей.
- Для оптимальної продуктивності процесу, вищої ефективності перетворення, зниження викидів у всі середовища довкілля, зниження енергоспоживання, підвищення якості та зниження рівня браку необхідно досягнути належне змішування різних вихідних матеріалів. Невеликі горшкові печі використовуються для визначення правильних сумішей сировини. Коливання вмісту вологи у вихідному матеріалі печі можуть призвести до того, що обсяги технологічного газу будуть надто великими для проєктної потужності аспірації, що призведе до дифузних викидів.
- Широко використовуються системи зважування та дозування вихідного матеріалу. З цією метою широко використовуються силоси із системою, що працює за принципом втрати маси, ваги та конвеєрні ваги.
- Пристрої для обробки даних використовуються для контролю швидкості подання вихідного матеріалу, критичних умов процесу та горіння, а також додавання газів. Деякі параметри, наведені нижче, вимірюються для забезпечення контролю процесів, а для критичних параметрів використовуються аварійні сигнали:
  - безперервний моніторинг температури, тиску в печі (або розрідження) та об'єму або потоку газу;
  - газові компоненти (O_2, SO_2, CO);

  - безперервний моніторинг вібрації для виявлення засмічень і можливих несправностей обладнання;
  - безперервний моніторинг струму та напруги електролітичних процесів;
  - безперервний моніторинг викидів для контролю критичних параметрів процесу;
  - безперервний моніторинг концентрації кислот та металів;
  - безперервний моніторинг параметрів гідрометалургійних процесів (наприклад, pH, окисно-відновний потенціал, температура); відбір та аналіз проміжних та кінцевих розчинів у гідрометалургійних процесах.
- Моніторинг та контроль температури в плавильних печах для запобігання утворенню пари із вмістом металів та оксидів металів у результаті перегрівання.
- Моніторинг та контроль температури електролізерів для виявлення зон перегрівання, що вказують на коротке замикання в електролізері.
- Кисневий коефіцієнт печі можна автоматично контролювати за допомогою математичної моделі, яка прогнозує зміни складу вихідного матеріалу та температури печі; модель може бути заснована на більш ніж 50 змінах процесу. У виробництві первинного алюмінію математичні моделі також використовуються в поєднанні з моніторингом умов роботи електролізера для запобігання анодним ефектам. Згідно з одним звітом [299, COM 2007], з 1990 року було досягнуто 80-відсоткового зменшення викидів поліфлоурокарбонів (ПФК). У виробництві первинного цинку використовується автоматизована система управління процесом випалювання для підвищення стабільності шару і зменшення проблем, пов'язаних з експлуатацією, дифузних викидів і зупинок.
- Технологічні гази уловлюються з використанням герметичних або напівгерметичних систем печей. Інтерактивні вентилятори з регульованою швидкістю використовуються для забезпечення оптимальної швидкості уловлювання газу та мінімізації витрат на енергію.
- Пари розчинників уловлюються та вилучаються, наскільки це можливо, з використанням герметичних реакторів або місцевого уловлювання пари у поєднанні з охолоджувачами або конденсаторами. Застосовується подальше видалення та спалювання парів розчинників для запобігання викидів ЛОС та запахів.
- Оператори, інженери та інші особи повинні регулярно проходити навчання та оцінювання щодо використання інструкцій з експлуатації, використання описаних сучасних технологій управління, а також значення аварійних сигналів та заходів, які необхідно вживати під час їхнього спрацьовування.
- Рівні контролю оптимізовані, щоб скористатися вищезазначеними перевагами, зберігаючи відповідальність оператора.
- Використовуються системи екологічного менеджменту та якості.
- Дослідження небезпеки та експлуатаційних можливостей проводяться на етапах проєктування для всіх змін процесу.
- Використовуються надійні системи обслуговування, у тому числі все ширше використовується спеціальний обслуговуючий персонал в складі груп операторів, а також додаткові спеціальні ремонтні групи. Аспекти розробки процесів описані в різних розділах цього документа, оскільки вони часто використовуються в цьому секторі. До повної розробки процесу професійні інженери, які мають досвід і знання про процес, а також про вплив на довкілля та вимоги, підходять з обережністю.
- Шлак, метал і штейн аналізуються на основі проб, що періодично відбираються, і це дає змогу оптимізувати використання флюсів та іншої сировини, визначити умови металургійного процесу та узгодити вміст металу в матеріалах.
- Для деяких процесів, можливо, доведеться брати до уваги особливі положення, такі як Директива Севезо або Директива про спалювання відходів.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання викидам металів, пилу та інших сполук у повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Жодної інформації про функціонування не повідомлялося, але додаткова інформація надається в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ці методи зазвичай застосовуються до більшості заводів.

Економічні аспекти
Інформацію не надана, але відомо, що процеси працюють економічно ефективно.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія сировини.
- Безперервний робочий процес.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Австрії, Франції, Бельгії, Польщі та Нідерландах.

Довідкова література
[299, COM 2007] [196, Finkeldei, L. 1999].

2.12.3.2 Технології розробки та контролю для очисної установки

Опис
Комплекс технологій для забезпечення належного функціонування установки для боротьби з викидами в повітря.

Технічний опис
Вибір і розробка відповідної технології боротьби з викидами є особливо важливими. Існує декілька технологій, і хоча деякі з них можуть здатися дуже ефективними, можуть виникнути проблеми, якщо не будуть повністю враховані такі характеристики, як вміст та природа газів, пилу та інших компонентів. Наприклад, вважається, що тканинний фільтр із використанням сучасних матеріалів забезпечує кращу екологічну ефективність ніж інші технології видалення пилу; однак його не можна вважати універсально застосовним через проблеми, пов'язані з налипанням та стиранням деякими видами пилу. Ці проблеми індивідуальні для окремих об'єктів та матеріалів, й оператор має враховувати ці фактори в професійному технічному завданні на проєктування.

Об'єм, тиск, температура і вміст вологи в газі є важливими параметрами та дуже впливають на технології або комбінації технологій, що застосовуються. Зокрема, усі ці параметри впливатимуть на точку роси, і треба враховувати їхні коливання протягом виробничого циклу.

Характеристика природи пилу або диму дуже важлива, тому важливо виявити будь-які незвичайні властивості пилу (гігроскопічність, піроформність, липкість, абразивність тощо). Розмір і форма часток, змочуваність та щільність матеріалу також є факторами, що впливають на вибір оптимальної технології. Концентрація пилу та її коливання також треба враховувати для створення надійної та міцної конструкції.

Багато операторів визначили, що продуктивність може погіршуватися з часом, оскільки обладнання зношується та потребує технічного обслуговування. За необхідності слід використовувати сучасні системи для забезпечення безперервного моніторингу продуктивності шляхом прямого вимірювання газів, що викидаються (наприклад, для пилу, CO, SO_2). Наприклад, пил можна контролювати за допомогою електродинамічного методу. Це технологія заснована на принципі індукції заряду, що ґрунтується на взаємодії частинок із вставленим у димову трубу або повітропровід зондом. Крім того, можна контролювати критичні параметри управління. У ці системи мають бути вбудовані системи сигналізації. Необхідно розглянути такі технології:

- Використання систем дозування реагентів.
- Використання процесорного управління поданням реагентів та експлуатаційними характеристиками заводу. Безперервний моніторинг може передбачати температуру,

перепад тиску, викиди пилу або інших забруднювальних речовин, струм та напругу електростатичного фільтра, потік змочувальної рідини та pH. Передбачені аварійні сигнали для індикації проблем, пов'язаних з експлуатацією.
- Навчання та оцінювання операторів щодо використання описаних інструкцій з експлуатації та сучасних технологій управління.
- Оптимізація рівнів контролю для використання вищезазначених переваг, зберігаючи відповідальність оператора.
- Використання систем екологічного менеджменту та якості.
- Використання прогнозних або інших математичних моделей для оцінки тенденцій у робочих умовах, наприклад, у мідній та алюмінієвій промисловості, для запобігання викидам або оптимізації процесу.
- Використання надійних систем обслуговування, у тому числі все ширше використання спеціального обслуговуючого персоналу в складі груп операторів.
- Використання процедур для перевірки надійності систем дозування.
- Використання виявлення розриву фільтрувального рукава на основі взаємодії між пристроєм для контролю вмісту пилу та циклом очищення.
- Використання невеликих печей для виплавки проб сировини, щоб можна було визначити оптимальні суміші сировини та флюсів та встановити оптимальний режим роботи печі. Ця технологія також використовується для визначення вмісту металів у кожній партії, щоб можна було узгодити закупівельні ціни.

Належне управління технологічним процесом використовується для досягнення цих цілей, а також для підтримки безпечних умов та аналізу минулих подій та реакцій процесу. Для всіх сучасних плавильних та технологічних процесів кольорової металургії потрібне впровадження ефективної системи управління технологічними процесами; без системи належного управління технологічним процесом операція не може вважатися НДТ.

У низці випадків (наприклад, у доменних печах) потрібна розробка та використання сучасних засобів управління технологічним процесом. Необхідна додаткова робота для визначення відповідних параметрів та систем управління.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання викидам металів, пилу та інших сполук.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Можлива економія сировини.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Австрії, Франції, Бельгії та Польщі.

Довідкова література
[226, Nordic Report 2008], [103, COM 1998].

2.12.3.3 Технології управління технологічним процесом очищення стічних вод

Опис
Комплекс технологій для забезпечення належного функціонування установки з очищення стічних вод.

Технічний опис
Необхідно розглянути такі технології [103, COM 1998].

- Системи дозування реагентів.
- Використання процесорного управління поданням реагентів та експлуатаційними характеристиками заводу. Оперативний моніторинг може включати (залежно від релевантності процесу): температуру, мутність, pH, провідність, окисно-відновний потенціал, ЗЛОС, окремі метали та витрату.
- Системи екологічного менеджменту та якості, у тому числі (також див. Розділ 2.12.1):
  - навчання та оцінювання операторів щодо використання описаних інструкцій з експлуатації та використання сучасних технологій управління;
  - оптимізація рівнів контролю для використання вищезазначених переваг, зберігаючи відповідальність оператора;
  - використання надійних систем обслуговування, у тому числі все ширше використання спеціального обслуговуючого персоналу в складі груп операторів.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання викидам металів, завислих речовин та інших сполук.

Склад рідких відходів пірометалургійних і гідрометалургійних процесів сильно залежить від металу, що виробляється, виробничого процесу і використовуваної сировини. Проте рідкі відходи заводу із виробництва кольорових металів зазвичай містять метали, тобто, мідь, свинець, цинк, олово, нікель, кадмій, хром, миш'як, молібден, ртуть та завислі тверді речовини.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Найбільш важливими чинниками мінімізації кількості відпрацьованих вод та концентрації забруднювальних речовин є:

- процес утворення відпрацьованих вод;
- кількість води;
- забруднювальні речовини та їхні концентрації;
- необхідний рівень очищення, наприклад, місцеві або регіональні стандарти якості води;
- наявність водних ресурсів.

Вплив на різні компоненти довкілля
Існує можливість утворення відходів для утилізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надана, але відомо, що процеси працюють економічно ефективно.

Стимул до впровадження
- Запобігання викидам.
- Економія сировини.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Австрії, Франції, Бельгії та Польщі.

Довідкова література

[166, Clark, J.H. 1995].

2.12.4 Дифузні викиди

Технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів, наскільки це можливо, дотримуються ієрархії запобігання, мінімізації та уловлювання димів, найближчих до джерела. Оцінка потенційних джерел дифузних викидів має призвести до плану заходів у рамках системи екологічного менеджменту (СЕМ). Ця оцінка повинна також враховувати повторну завись пилоподібних матеріалів із покинутих виробок, зон зберігання або пунктів утилізації внаслідок дії вітру та руху транспортних засобів.

План заходів щодо дифузних викидів може передбачати такі елементи:

- аналіз та вимірювання фактичних джерел викидів та оцінка загальної кількості дифузних викидів (наприклад, EN 15445);
- визначення відповідних заходів та технологій щодо зменшення дифузних викидів;
- розробка плану мінімізації викидів, якщо це необхідно, за результатами попередніх кроків;
- реалізація плану мінімізації та щорічний моніторинг результатів.

2.12.4.1 Технології запобігання дифузним викидам, що утворюються під час зберігання, обробки та транспортування сировини

Опис
Комплекс технологій запобігання дифузним викидам, що утворюються під час зберігання, обробки та транспортування сировини.

Технічний опис
Застосовувані технології, розглянуті в Розділі 2.4.2, здатні певною мірою запобігти викидам у всі компоненти довкілля. Застосовані технології значною мірою залежать від типу матеріалу, що використовується. Наприклад, великі та важкі предмети обробляються за допомогою зовсім іншого комплексу технологій, ніж дрібний пилоподібний матеріал. Ці проблеми індивідуальні для окремих об'єктів та матеріалів. Однак існує безліч загальних технологій, які вважаються більш ефективними для запобігання викидам, що утворюються під час зберігання, обробки та транспортування сировини, як детально описано нижче.

- Використання закритих будівель або силосів/бункерів для зберігання матеріалів, що утворюють пил, таких як концентрати, флюси та дрібні матеріали.
- Крите сховище для матеріалів, що утворюють пил, таких як концентрати, флюси, тверде паливо та кокс, а також вторинних матеріалів, що містять водорозчинні органічні сполуки.
- Герметична упаковка для зберігання матеріалів, що утворюють пил, або вторинних матеріалів, що містять водорозчинні органічні сполуки.
- Криті відсіки для зберігання гранульованих або агломерованих матеріалів.
- Використання розпилювачів води для пригнічення пилу або альтернативних методів, таких як розпилення, для створення дрібнодисперсного водяного туману для пригнічення пилу без надмірного змочування матеріалу. Використання розпилювачів води не застосовується для процесів, що потребують сухих матеріалів, або для руд/концентратів, які природно містять достатню кількість води для запобігання утворенню пилу. Застосування також обмежене в регіонах із дефіцитом води або дуже низькими зимовими температурами. Герметики, такі як меляса та полівінілацетат (ПВА), повинні використовуватися там, де це доречно та сумісно з матеріалом, щоб зменшити схильність матеріалу до утворення пилу.
- Системи зберігання рідини повинні розташовуватися в непроникних обвалуваннях, які здатні вмістити щонайменше обсяг найбільшого резервуара для зберігання в обвалуванні.
- Зони зберігання повинні бути спроєктовані таким чином, щоб витоки з резервуарів та систем подання уловлювалися і стримувалися обвалуванням.
- Матеріали, що використовуються для будівництва резервуарів, мають бути стійкими до матеріалів, що зберігаються. У деяких випадках доцільно використовувати

резервуари із подвійними стінками.

- За потреби необхідно використовувати системи виявлення витоків.
- Необхідно забезпечити відображення вмісту резервуару та використовувати відповідні аварійні сигнали, що вказують на витоки. Необхідно також використовувати систему планового подання та автоматизовану систему управління для запобігання переповненню резервуарів для зберігання.
- Зберігання сірчаної кислоти та інших хімічно активних матеріалів повинно здійснюватися в резервуарах із подвійними стінками або резервуарах, поміщених у хімічно-стійкі обвалування тієї ж місткості. Якщо існує ризик забруднення підземних вод, зона зберігання повинна бути непроникною і стійкою до матеріалу, що зберігається.
- Місця подання повинні бути розташовані всередині обвалування для збору просипаного або пролитого матеріалу. Витіснені гази повинні відводитися назад у засіб доставки для зниження викидів ЛОС. Для запобігання витоку слід використовувати автоматичну повторну герметизацію з'єднань для подання.
- Несумісні матеріали (наприклад, окислювачі та органічні матеріали) відокремлюються один від одного, і за необхідності в резервуарах або зонах зберігання треба використовувати інертні гази.
- Уловлювачі олив та твердих речовин використовуються для відведення із відкритих зон зберігання. Зберігання матеріалів, які можуть виділяти оливи, повинно здійснюватися в забетонованих зонах з огорожею або іншими пристроями для утримування. Слід використовувати методи очищення стічних вод для хімічних речовин, що зберігаються.
- Транспортувальні конвеєри та трубопроводи розміщуються в безпечних відкритих місцях над землею, щоб можна було швидко виявити витоки та запобігти пошкодженню від транспортних засобів та іншого обладнання.
- Якщо підземні трубопроводи використовуються для транспортування безпечних матеріалів, їхній маршрут має бути задокументований та позначений, а також мають бути застосовані системи безпечних земляних робіт.
- Для газів (в тому числі зріджених нафтових газів (ЗНГ)) треба використовувати належним чином спроєктовані та надійні ємності високого тиску з моніторингом тиску в резервуарах та трубопроводах для подання для виявлення розривів або витоків. Газоаналізатори необхідно використовувати у закритих приміщеннях та поряд з резервуарами для зберігання.
- Для транспортування дрібнодисперсних та пилоподібних матеріалів треба використовувати закриті конвеєри або пневматичні транспортні системи з належним чином спроєктованим надійним обладнанням для видалення та фільтрування, щоб запобігти викидам пилу з місць подання, вентиляційних отворів силосів, пневматичних систем транспортування та пунктів конвеєрного подання, де можливі викиди пилу. Криті конвеєри можуть використовуватися для матеріалів, що не утворюють пил. У разі використання відкритих стрічкових конвеєрів необхідно регулювати швидкість (< 3,5 м/с).
- Пилоподібний матеріал також можна транспортувати в закритих контейнерах або інших закритих резервуарах. Випорожнення резервуарів/контейнерів відбувається в закритій системі з вентиляційною системою та фільтрацією повітря рукавним фільтром. Матеріали з диспергованими або водорозчинними компонентами транспортуються в закритих мішках або бочках. Непильні матеріали доставляються та транспортуються навалом.
- Непильний, нерозчинний матеріал треба зберігати на непроникних та герметичних поверхнях, таких як бетон, щоб запобігти забрудненню ґрунту, з дренажем та збиранням дренажної води.
- Обрізки, стружку та інші оліїсті матеріали необхідно зберігати під навісом, щоб їх не змило дощовою водою.
- Необхідно використовувати раціоналізовані системи транспортування матеріалів, щоб мінімізувати утворення та перенесення пилу між процесами та всередині об'єкта. Дощова вода, що змиває пил, має бути зібрана та очищена перед скиданням.
- Використання закритої зони для розвантаження вантажівок або залізничних вагонів.
- Для очищення транспортних засобів, що використовуються для доставки або обробки пилоподібних матеріалів, необхідно використовувати системи миття коліс та кузовів або інші системи очищення. Місцеві умови, наприклад, утворення льоду, будуть впливати на вибір методу. Необхідно впроваджувати заплановані заходи з підмітання доріг.
- Обладнання для вологого прибирання доріг або інше спеціалізоване обладнання, що

використовує комбінацію водяних струменів та вакуумного уловлювання, може використовуватися для видалення пилу, що відклався, з зони руху транспортних засобів та вантажно-розвантажувальних зон для очищення та запобігання утворенню повторно завислого пилу.
- Для запобігання просипанню та для виявлення витоків необхідно використовувати системи управління запасами та контролю.
- Системи відбору проб та аналізу матеріалів мають бути інтегровані в систему обробки та зберігання матеріалів, де це можливо, для визначення якості сировини та планування методу обробки. Ці системи повинні бути розроблені та експлуатуватися відповідно до тих же самих високих стандартів, що й системи обробки та зберігання.
- Зони зберігання відновників, таких як вугілля, кокс або тріска, повинні бути під наглядом для виявлення пожеж, спричинених самозайманням.
- Необхідно застосовувати передові методи проєктування та будівництва, а також проводити належне технічне обслуговування.

Для відкритого зберігання сировини також необхідно розглянути такі методи, залежно від схильності сировини до виділення пилу.
- Регулярне змочування поверхні відвалу водою, або застосування пилозв'язувальних речовин, або накриття брезентом.
- Використання герметиків, таких як меляса та полівінілацетат, для тонкодисперсних матеріалів, що зберігаються на відкритому повітрі, для зменшення схильності матеріалу до утворення пилу.
- Розташування поздовжньої осі відвалу паралельно до напрямку панівного вітру.
- Використання захисних насаджень, вітрозахисних огорож або установок проти вітру для зниження його швидкості.
- Використання одного відвалу замість кількох, де це можливо.
- Використання підпірних стінок для формування відсіків.
- Збирання надлишків зрошувальної та дощової води та підключення до каналізаційної системи.
- Регулярне прибирання зони зберігання та за необхідності змочування водою.
- Використання уловлювачів олив та твердих речовин для відведення із відкритих зон зберігання. Зберігання матеріалів, які можуть виділяти оливи, таких як стружка, необхідно здійснювати в забетонованих зонах з огорожею або іншими пристроями для утримування.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання дифузним викидам металів, пилу та інших сполук.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії для роботи витяжних та фільтрувальних систем, таких як вентилятори та рукавні фільтри.

Якщо для змочування матеріалу додається вода, може спостерігатися значне збільшення енергоспоживання в процесі виплавки. Додана вода залишається в матеріалі й має бути видалена в сушарці або печі під час обробки. Це потребує додаткової енергії.

Очищення великих обсягів повітря та високе споживання енергії особливо пов'язані з витяжними системами даху. Через порівняно низьку концентрацію пилу у відпрацьованому повітрі фільтрувальні системи будівель працюють із меншою ефективністю.

Споживання води на змочування матеріалів, полив доріг, установку з миття коліс.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надана, але процеси працюють економічно ефективно.

Стимул до впровадження
- Запобігання викидам.
- Економія сировини.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Австрії, Франції, Бельгії, Польщі та Нідерландах.

Довідкова література
[196, Finkeldei, L. 1999], [290, EC 2006].

2.12.4.2 Технології запобігання дифузним викидам, що утворюються під час попередньої обробки сировини

Опис
Комплекс технологій для запобігання дифузним викидам, що утворюються під час попередньої обробки сировини

Технічний опис
Застосовані технології значною мірою залежать від типу матеріалу, що використовується. Наприклад, великі та важкі предмети обробляються за допомогою зовсім іншого комплексу технологій, ніж дрібний пилоподібний матеріал. Ці проблеми індивідуальні для окремих об'єктів та матеріалів. Однак операції попередньої обробки та транспортування часто мають справу з матеріалами, які є сухими або можуть виробляти технологічні викиди в будь-який компонент довкілля. Тому потрібно більш детальне проєктування технологічного устаткування, що використовується на цьому етапі, а технологічні процеси необхідно відстежувати та контролювати належним чином. Характер матеріалу (наприклад, пилоутворювальний, піроформний) необхідно враховувати під час оцінки потенційних джерел дифузних викидів. Зокрема, необхідно ретельно розробляти, конструювати та обслуговувати системи видалення та очищення. Огляд у цьому розділі застосованих технологій включає проблеми, з якими доведеться зіткнутися у різних варіантах процесу. Викиди ЛОС та ПХДР/Ф у теплових процесах також слід оцінювати, оскільки забруднення сировини є значним потенційним джерелом цих викидів, і тому попередня обробка є технологією, яку слід враховувати для їхнього зменшення. Також необхідно враховувати перелічені вище технології поводження із сировиною (див. Розділ 2.12.4.1).

Проте, зазначені далі технології вважаються найважливішими загальними технологіями.

- Використання процесів попередньої обробки та транспортування з належним чином розробленим міцним обладнанням для видалення та очищення для запобігання викидам пилу та інших матеріалів. Під час розробки цього обладнання необхідно враховувати характер викидів, максимальну інтенсивність викидів та всі потенційні джерела.
- Попередня термічна або механічна обробка для мінімізації органічного забруднення матеріалу, що завантажується в піч.
- Якщо потрібно звести до мінімуму утворення диму та підвищити швидкість плавлення, слід розробити процеси поділу для отримання матеріалів, придатних для подальших процесів.
- Збирання та очищення рідких відходів перед видаленням із технологічного процесу для видалення кольорових металів та інших компонентів.
- Використання передових методів проєктування та будівництва, а також належне технічне обслуговування.

Зазначені далі технології попередньої обробки вважаються характерними для металів і додатково описані в главах, присвячених конкретним металам.

- Використання систем мокрого подрібнення, усереднення та гранулювання, якщо інші технології боротьби з пилом не є можливими або доцільними.
- Системи термічного очищення та піролізу (наприклад, сушіння стружки та видалення покриття), у яких використовується надійне обладнання для допалювання для знищення продуктів згоряння, наприклад, ЛОС та ПХДД/Ф. Гази повинні витримуватися за температури вище 850 °C (1100 °C, якщо вони містять більше ніж 1% галогенованих органічних матеріалів) за умови наявності не менше 6% кисню протягом щонайменше двох секунд. Менший час перебування може також призвести до повного знищення ЛОС та ПХДД/Ф, але це має бути продемонстровано на місцевому рівні. Гази необхідно швидко охолоджувати в температурному інтервалі перетворення ПХДД/Ф.
- Методи ручного та механічного розділення для попередньої обробки потоків відходів, такої як видалення батарей тощо з електронного обладнання відповідно до Директиви щодо відпрацьованого електричного й електронного обладнання або відокремлення автомобільного каталізатора від сталевого корпусу.

- Зменшення потенціалу утворення ЛОС. У процесах промивання для видалення олив або інших забруднювальних речовин необхідно використовувати безпечні розчинники. Разом із цими технологіями треба використовувати ефективні системи рекуперації розчинників та пари.
- Використання сталевої стрічки, з висхідним потоком або повністю закритого процесу спікання з низхідним потоком. Спікання з використанням сталевої стрічки має декілька переваг для окремих груп металів і може мінімізувати обсяги газу, зменшити дифузні викиди та рекуперувати тепло. Системи видалення відхідних газів повинні запобігати дифузним викидам.
- Використання обертових печей із мокрим гасінням золи для процесів, пов'язаних зі зменшенням об'єму матеріалу, такого як фотоплівка. У невеликих установках можуть використовувати рухомий колосник. В обох випадках газоподібні продукти згоряння необхідно очищати від пилу та кислих газів, якщо вони присутні.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання викидам металів, пилу та інших сполук.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надана, але відомо, що процеси працюють економічно ефективно.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів. Економія сировини.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Австрії, Франції, Бельгії, Польщі та Нідерландах.

Довідкова література
[196, Finkeldei, L. 1999].

2.12.4.3 Технології запобігання дифузним викидам та уловлювання відхідних газів від процесів виробництва металів

Опис
Комплекс технологій для запобігання дифузним викидам та збору відхідних газів від процесів виробництва металів.

Технічний опис
Методи, які необхідно розглянути, ґрунтуються на застосуванні принципів технологій, викладених вище в Розділі 2.4.2. Ці технології ґрунтуються на професійній розробці та обслуговуванні систем збору відходів, а також на безперервному моніторингу викидів у трубопроводі для очищеного газу.

Технології, які слід розглянути:

- Герметизація печі (або використання герметичних печей) у поєднанні з технологіями управління технологічним процесом – це технологія, яку за можливості необхідно застосовувати всюди для запобігання чи стримування викидів від виробничих підприємств. Додаток 13.1, присвячений печам, вказує, де можлива герметизація печі та де можна використовувати інші технології уловлювання для забезпечення повноцінного уловлювання газу [246, France 2008]. Деякі приклади включають герметичні плавильні печі, герметичні електродугові печі та герметичні електролізери з точками подання для виробництва первинного алюмінію. Проте, герметизація печі

залежить від достатньої швидкості видалення газу для запобігання підвищенню тиску в печі.

Якщо герметичні печі недоступні, наприклад, у разі модернізації наявної відкритої печі, можна використовувати максимально можливу герметизацію для стримування пічних газів. Прикладом цього є використання «четвертого отвору» в склепінні електродугової печі для максимально ефективного видалення технологічних газів, див. малюнок 2.18.

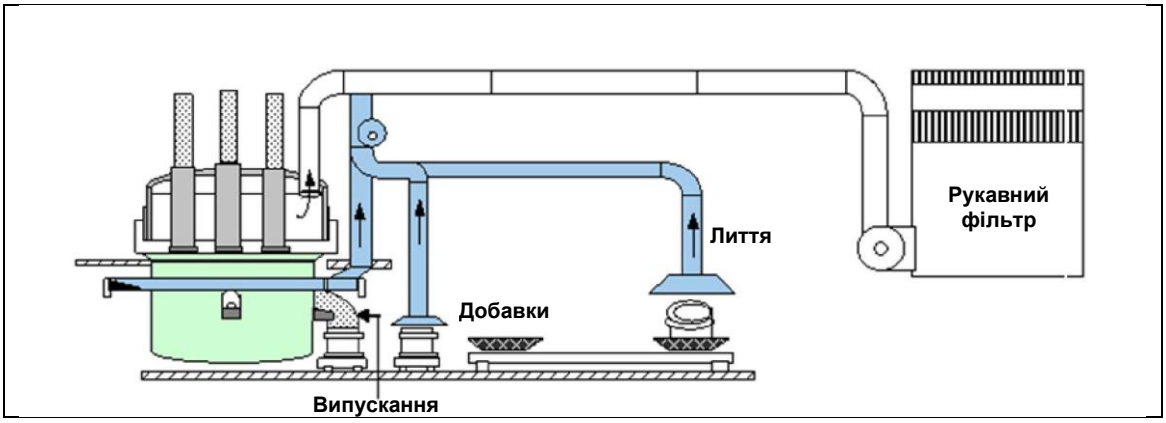


Рисунок 2.18: Уловлювання диму з четвертого отвору

- Використання герметичних систем завантаження печей для запобігання дифузним викидам під час відкриття печі, наприклад, використання завантажувальних скіпів, що щільно притуляються до завантажувального вікна печі, та використання систем завантаження через ковпак. Ці технології можуть бути застосовані до всіх нових та наявних процесів, зокрема, до непостійних процесів.
- Технічне обслуговування ковпака уловлювача, повітроводів, фільтрувальних систем та вентилятора має особливо важливе значення для забезпечення того, щоби швидкість уловлювання або видалення залишалася на проєктному рівні. Також важливо використовувати систему заслінок та альтернативних точок видалення, щоб спрямовувати всмоктування до місць, де виділяється дим. Прикладом цього є ситуація, коли піч нахилена для випуску шлаку або металу, а точка видалення четвертого отвору не з'єднується з трубопроводом. Для спрямування всмоктування до місця випускання слід використовувати заслінки. Перевага віддається автоматичному перемиканню заслінок.
- Необхідно проводити регулярний огляд та профілактичне технічне обслуговування, щоб гарантувати відсутність фізичного пошкодження внаслідок зіткнення або стирання, відкладень у повітроводах та відкладень на лопатях вентилятора. Ця технологія застосовується до цілого ряду нових та наявних процесів.
- Важливою загальноприйнятою практикою для досягнення належного видалення є використання автоматизованого керування заслінками, щоб можна було спрямувати зусилля витяжки на джерело утворення диму, не витрачаючи надто багато енергії. Елементи керування дозволяють автоматично змінювати точку видалення на різних етапах процесу. Наприклад, завантаження та випуск печей зазвичай не відбуваються одночасно, тому точки завантаження та випуску можуть бути спроєктовані так, щоб вони розташовувалися близько одна до одної, щоб потрібна була лише одна точка видалення. Точка видалення також спроєктована таким чином, щоб забезпечити легкий доступ до печі та забезпечити належну швидкість видалення. Витяжка має надійну конструкцію та належним чином обслуговується. Цей принцип легко застосувати до короткої обертової печі.

  Прикладом цього є пристосування короткої обертової печі (див. малюнок 2.19). Завантажувальне вікно та випускні отвори знаходяться на одному кінці печі. Ковпак для уловлювання диму забезпечує повний доступ до шлаковозного ковшу та завантажувального конвеєра. Він також є досить міцним, щоб витримувати незначне ударне навантаження під час використання.

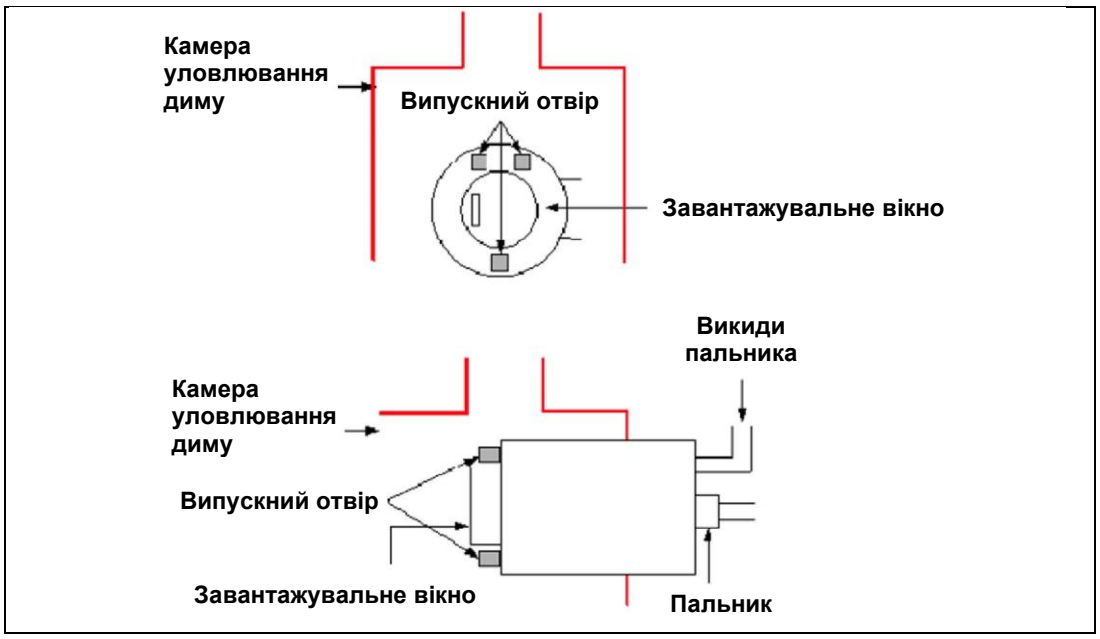


Рисунок 2.19: Узгоджена система завантаження та випускання

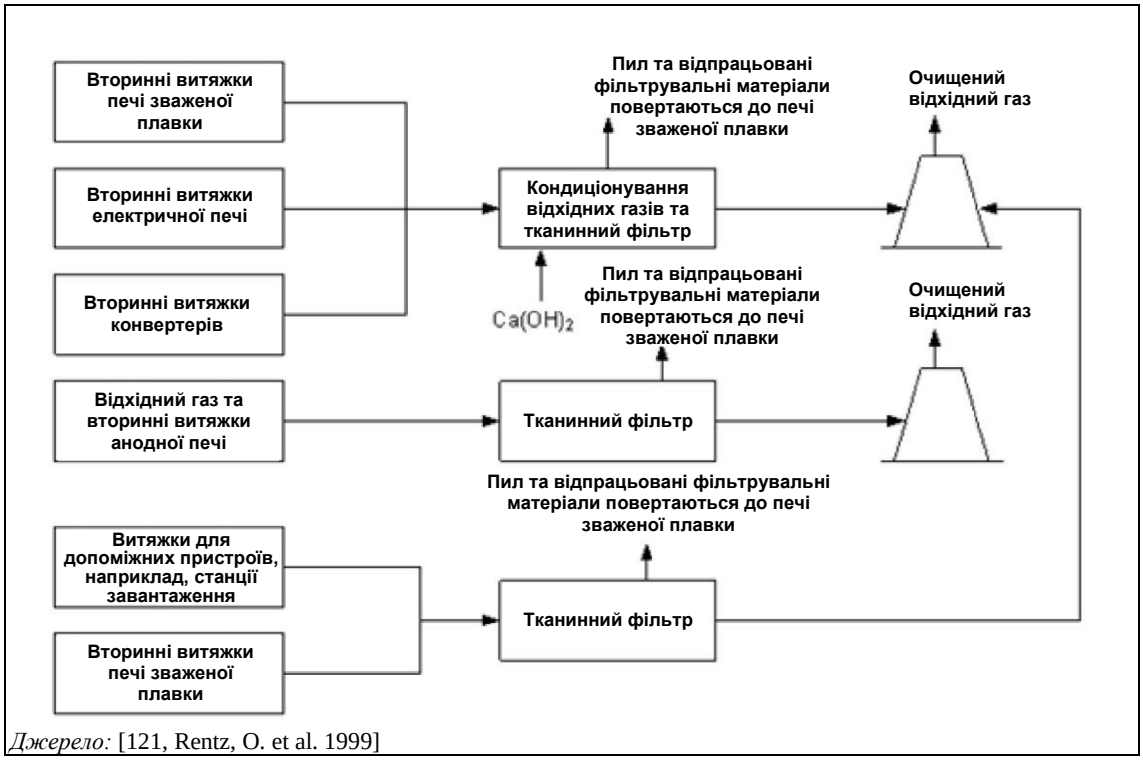
Принцип спрямування зусилля витяжки на джерело диму, що змінюється, також може бути реалізований через автоматизоване управління заслінками для видалення диму з основного джерела під час робочого циклу, наприклад, завантаження, випускання. Коротка обертова піч і обертовий конвертер із верхнім дуттям також можуть бути повністю закритими.

- Використання обчислювальної гідродинаміки та індикаторів для моделювання потоку пічних газів. Процедуру уловлювання диму було вдосконалено шляхом застосування моделювання методом комп'ютеризованої гідродинаміки до пічних газів для полегшення розробки оптимального процесу уловлювання диму. Результатом цієї роботи з оцінки задимлення стало введення в експлуатацію керованого захисного екрана задля досягнення максимальної продуктивності. Значний прогрес також був досягнутий шляхом модифікації схеми завантаження електричної відновлювальної печі через регулярне подання невеликих кількостей шихтового матеріалу замість повного завантаження. Основний ефект полягав у зменшенні різких стрибків, що спричиняють дифузні викиди, та запобіганні переохолодженню печі; результати зменшення кількості ПХДР/Ф у цьому випадку були значними. [233, COM 2008]
- Використання уловлювання газу вторинними витяжками. Якщо дифузним викидам неможливо запобігти або мінімізувати до прийнятного рівня, можна використовувати вторинні системи уловлювання диму. Деякі печі можуть бути обладнані вторинними витяжками для уловлювання дифузних викидів під час завантаження або випускання. Всмоктувальна дія вентилятора відбувається безпосередньо біля джерела диму, щоб оптимізувати зменшення дифузних викидів. Можна використовувати інтелектуальну систему для автоматизованого керування вентиляторами під час роботи етапів технологічного процесу, в результаті яких утворюється дим. У якості альтернативи повітря можна було б відводити через даховий вентилятор, але тоді необхідно було б обробляти великий обсяг повітря, який не може бути ефективно очищений у тканинному фільтрі. Іншими недоліками є високе енергоспоживання, великі капіталовкладення та велика кількість відходів (використані фільтрувальні матеріали). Вторинні системи уловлювання диму призначені для окремих випадків. Енергоспоживання може бути мінімізоване шляхом автоматизованого керування точкою видалення за допомогою заслінок та засобів керування вентиляторами, тому системи використовуються, коли й де вони необхідні, наприклад, під час завантаження або під час запуску конвертора.

  Нижче наведено деякі приклади уловлювання газів вторинними витяжками.

  - У процесі показаному на Рисунку 2.20 швидкість повітряного потоку регулюється за допомогою системи контролю замкнутого циклу за допомогою редукційних заслінок. Вентилятори із регулюванням швидкості використовуються для

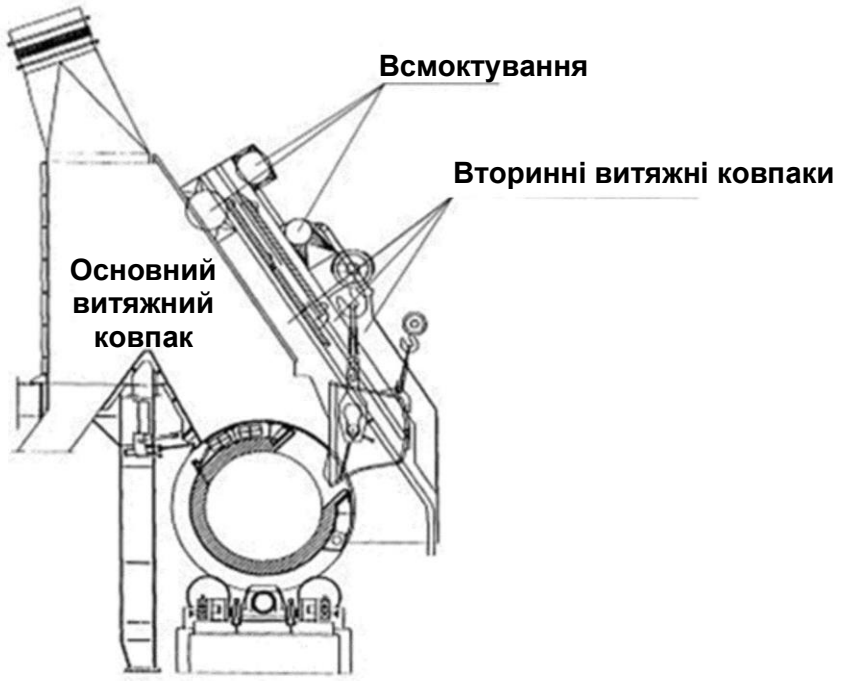
мінімізації енергоспоживання; 875 000 нм^3/год газів вторинного очищення уловлюється та очищається тканинними фільтрами. При цьому споживається 13,6 ГВт год/рік електроенергії та уловлюється 700 кг пилу на годину.



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]

Рисунок 2.20: Схема вторинної системи уловлювання диму для процесу виробництва первинної міді

- Уловлювання газів із конвертера періодичної дії може бути важким, тому що переміщення ковшу заважають роботі ковпаків-уловлювачів. Деякі установки уловлюють усі дими з лінії даху, але потребують великих витрат енергії. В іншій установці, крім основної витяжки, використовується система до трьох витяжок. Ці витяжні ковпаки можуть бути підключені або до заводу з виробництва сірчаної кислоти (витяжний ковпак 1), або до вторинної системи очищення (витяжний ковпак 2 та 3). Під час операцій заповнення та розливання окремі витяжки приводяться в положення, що забезпечують оптимальну ефективність уловлювання. Вторинну систему витяжного уловлювання газу показано на Рисунку 2.21.



Джерело: [198, Velten 1999], [233, COM 2008]

Рисунок 2.21: Вторинна витяжна система для конвертера

- Інший приклад показує, як дими під час випускання з доменної печі можуть уловлюватися вторинною системою уловлювання диму. Пиловловлювальне обладнання складається з різних витяжних ковпаків, розташованих над випускним отвором доменної печі, головного жолоба та пристрою для розливання рідкого металу в торпедний ківш. Уловлені дими очищаються в окремому тканинному фільтрі. Система уловлювання диму з випускного отвору (вид зверху на доменну піч) показано на Рисунку 2.22.

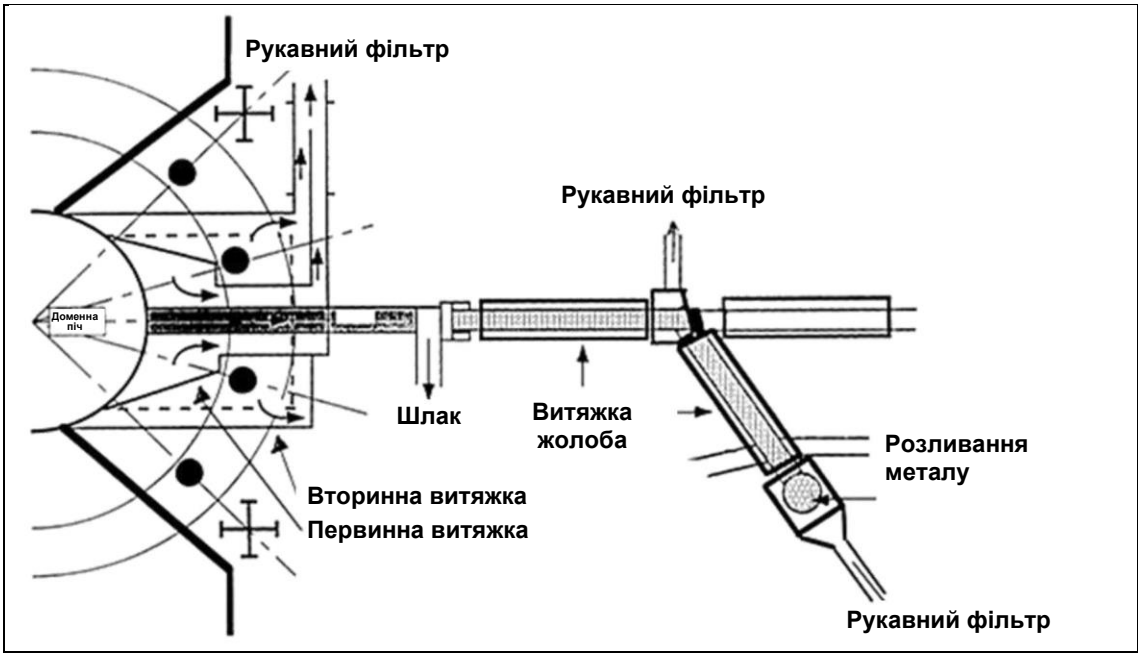


Рисунок 2.22: Уловлювання диму з випускного отвору

- Використання третинних систем уловлювання. Гази, які не уловлюються вторинними витяжками, можуть уловлюватися третинною системою уловлювання, яка охоплює всю робочу зону, наприклад, у концепціях "house-in-house" або "doghouse", показаних на Рисунку 2.2. Інтелектуальна система використовується для автоматизованого керування вентиляторами під час роботи етапів процесу, під час яких утворюється дим. Концепція "house-in-house" використовує цей принцип для запобігання надмірному споживанню енергії.

Досягнуті екологічні переваги
- Ефективне вловлювання дифузних викидів металів, пилу, діоксиду сірки та інших сполук.
- Більша частина пилу повертається на етапи обробки або продається для вилучення цінних металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Цю технологію за можливості включено до наведених вище прикладів.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ці технології загальнозастосовні.

Третинна система уловлювання диму, така як "house-in-house", застосовна для операцій з випускання та завантаження нових установок або великих модернізацій наявних установок через розміри печей та вимоги щодо розміщення.

Економічні аспекти
Інформацію не надано, але відомо, що процеси працюють економічно ефективно.

Стимул до впровадження
Уловлювання дифузних викидів.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Австрії, Франції, Бельгії та Польщі.

Довідкова література
[121, Rentz, O. et al.1999], [160, Steudtner 1998], [196, Finkeldei, L. 1999], [233, COM 2008], [274, COM 2008].

2.12.5 Каналізовані викиди в повітря

Оскільки ці технології широко застосовуються в секторі, загальну інформацію про ці технології (наприклад, "Опис" та "Технічний опис") можна знайти в цьому розділі. Інформацію про конкретні метали (наприклад, "Екологічна ефективність і інформація про функціонування" та "Приклади заводів") можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

2.12.5.1 Технології зниження викидів пилу, металів та твердих часток

Перелічені нижче технології використовуються для видалення таких часток, як пил, метали та дим.

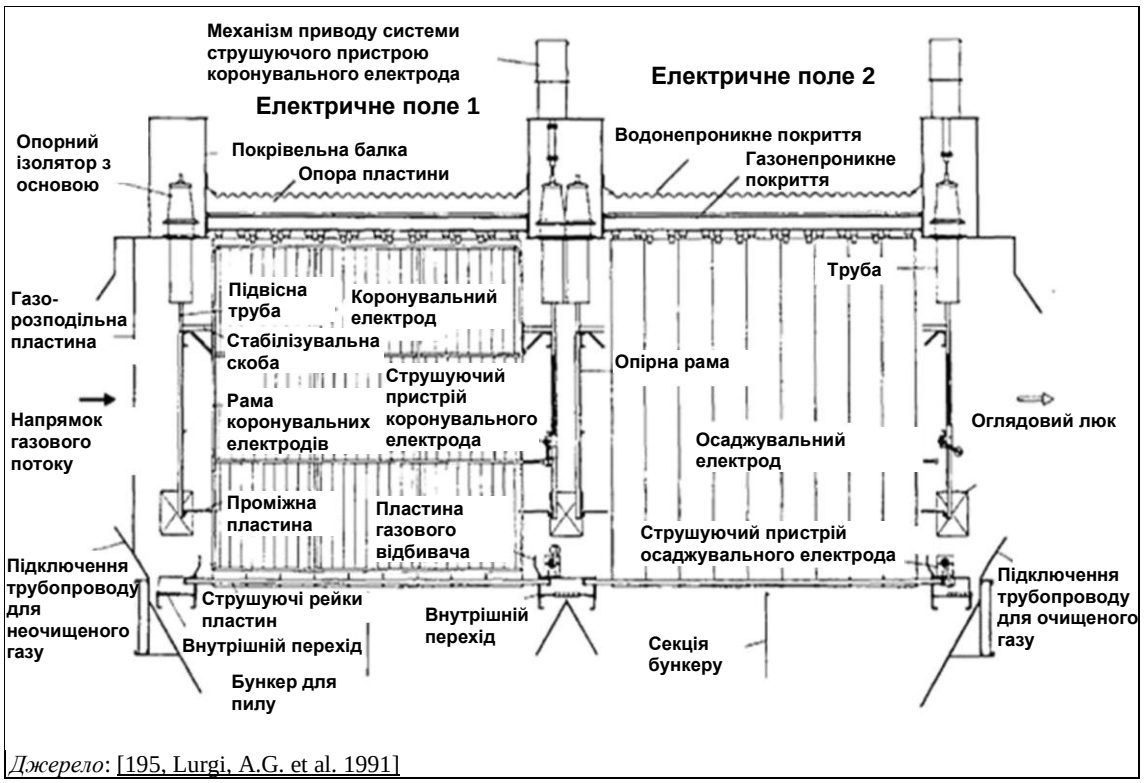
2.12.5.1.1 Електростатичні фільтри

Опис
Електростатичні фільтри працюють таким чином, що частки заряджаються та відокремлюються під дією електричного поля. Вони здатні працювати в широкому діапазоні умов.

Електростатичні фільтри, спеціально призначені для роботи з високотемпературними відхідними газами (> 300 ºC), відомі як гарячі електрофільтри.

Технічний опис
Електростатичний фільтр широко використовується в промисловості та здатний працювати в широкому діапазоні температур, тисків та вмісту пилу. Він не дуже чутливий до розміру часток і уловлює пил як у вологих, так і сухих умовах. У конструкції закладена стійкість до корозії та стирання.

Електростатичний фільтр складається із серії високовольтних коронувальних електродів та відповідних колекторних електродів. Частки заряджаються і відокремлюються від газового потоку під впливом електричного поля, створюваного між електродами. Електричне поле прикладається до електродів невеликим постійним струмом високої напруги (100 кВ). Насправді електростатичний фільтр поділяється кілька окремих зон (зазвичай використовується до п'яти зон). Електростатичний фільтр показаний Рисунку 2.23.



Джерело: [195, Lurgi, A.G. et al. 1991]

Рисунок 2.23: Типова конструкція електростатичного фільтра (показано лише дві зони)

Видалення часток із газового потоку здійснюється в чотири етапи:

- застосування електричного заряду до пилу;
- розміщення зарядженого пилу в електричному полі;
- уловлювання пилу на осаджувальному електроді;
- видалення пилу з поверхні електрода.

Щоби запобігти накопиченню пилу, коронувальні електроди мають піддаватися постукуванню або вібрації, а їхня механічна міцність повинна бути сумісна з імпульсами постукування або вібрації. Механічна надійність коронувальних електродів та їхньої опорної рами важлива, оскільки навіть один обірваний провід може закоротити все електричне поле електростатичного фільтра.

Продуктивність електростатичного фільтра відповідає формулі Дойча, яка пов'язує ефективність із загальною площею поверхні колекторних електродів, об'ємною швидкістю потоку газів та швидкістю міграції часток. Отже, для цього пилу дуже важливо максимізувати площу поверхні колекторних електродів, тому поточна практика полягає у використанні великої відстані між електродами. Ця практика так само залежить від належної конструкції випрямляча та управління ним.

У промисловості використовуються конструкції випрямлячів, які передбачають використання окремих секцій випрямляча кожної зони або частини зони електростатичного фільтра. Це дає змогу змінювати прикладену напругу у зонах впуску та випуску, щоб урахувати зниження вмісту пилу в напрямку до зони випуску, а також дає можливість експлуатувати зони за все більш високої напруги без іскріння. Належний дизайн також досягається шляхом використання автоматизованих систем управління, які підтримують оптимальну високу напругу, що подається на електроди в певній зоні, без іскріння. Автоматичний контрольно-вимірювальний пристрій використовується для подання максимальної напруги без іскріння й постійно змінює високу напругу. Стаціонарні джерела живлення високої напруги навряд чи забезпечать оптимальну ефективність уловлювання.

Особливе значення має питомий опір (зворотне значення провідності) пилу. Якщо він надто низький, частки, що досягають колекторного електрода, легко втрачають свій заряд, що може призвести до повторного винесення пилу. У разі високого питомого опору пилу

на електроді утворюється ізоляційний шар, що перешкоджає нормальному коронному розряду і призводить до зниження ефективності уловлювання. Більшість видів пилу мають питомий опір у межах робочого діапазону, хоча показники уловлювання можна покращити шляхом кондиціонування пилу. Зазвичай використовуються аміак та триоксид сірки. Питомий опір можна зменшити через зниження температури газу або додавання вологи в газ.

Електростатичні фільтри зазвичай не забезпечують таких низьких кінцевих концентрацій пилу як тканинні фільтри. Для досягнення найкращої продуктивності електростатичного фільтра потоки газу через установки оптимізуються, щоб забезпечити рівномірний потік та запобігти обходу електричного поля газом. Правильна конструкція впускного каналу та використання пристроїв розподілу потоку у вхідному патрубку забезпечують рівномірний потік на вході до фільтра.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів пилу.
- Економія сировини через повернення пилу до технологічного процесу.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[196, Finkeldei, L. 1999], [73, Theodore, L. et al. 1992], [77, Soud, H.N. 1995], [189, VDI 1998], [195, Lurgi, A.G. et al. 1991].

2.12.5.1.2 Мокрий електростатичний фільтр

Опис
Технологія полягає у використанні електростатичного фільтра, в якому уловлений матеріал видаляється з пластин осаджувальних електродів шляхом промивання відповідною рідиною, зазвичай водою. Зазвичай встановлюється механізм видалення крапель води перед випусканням відпрацьованого газу (наприклад, краплеуловлювач або остання суха зона).

Технічний опис
Мокрі електростатичні фільтри працюють за тим самим принципом. У цьому випадку уловлений пил видаляється з пластин або труб осаджувальних електродів рідинною плівкою, утвореною охолоджувальною водою й осадженим кислотним туманом. У разі високого вмісту твердих часток можна використовувати вбудовані розпилювальні насадки для безперервного розпилення води у фільтр, щоб запобігти утворенню відкладень осаду на осаджувальних електродах. Розпилювання збільшує плівку рідини на осаджувальних електродах і знижує вміст твердих часток. Крім того, мокрі електростатичні фільтри оснащені системами промивання. Промивання здійснюється періодично. Подання високої напруги припиняється під час процесу промивання. Вони дають переваги для певних видів

пилу, який налипає до стандартних пластин або коли інші компоненти газового потоку заважають роботі, наприклад, коли це холодний вологий газ. Утворюються рідкі відходи, що вимагають подальшого очищення. Мокрий електростатичний фільтр показано на Рисунку 2.24.

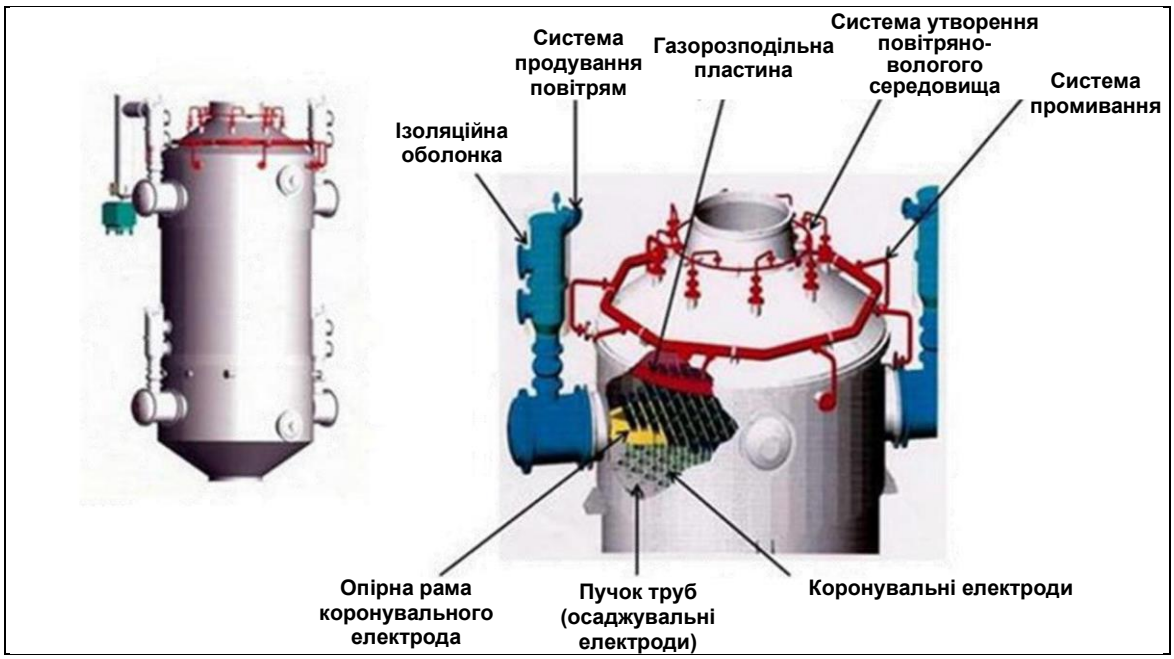


Рисунок 2.24: Мокрий електростатичний фільтр

Мокрі електростатичні фільтри або електростатичні фільтри з рухомими електродами можна використовувати для складного пилову та вологих газів.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу, металів та інших сполук.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Утворюються відпрацьовані води, які необхідно очищати, щоби запобігти потраплянню металів та інших речовин у воду.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів пилу та інших сполук.
- Економія сировини через повернення пилу до технологічного процесу.

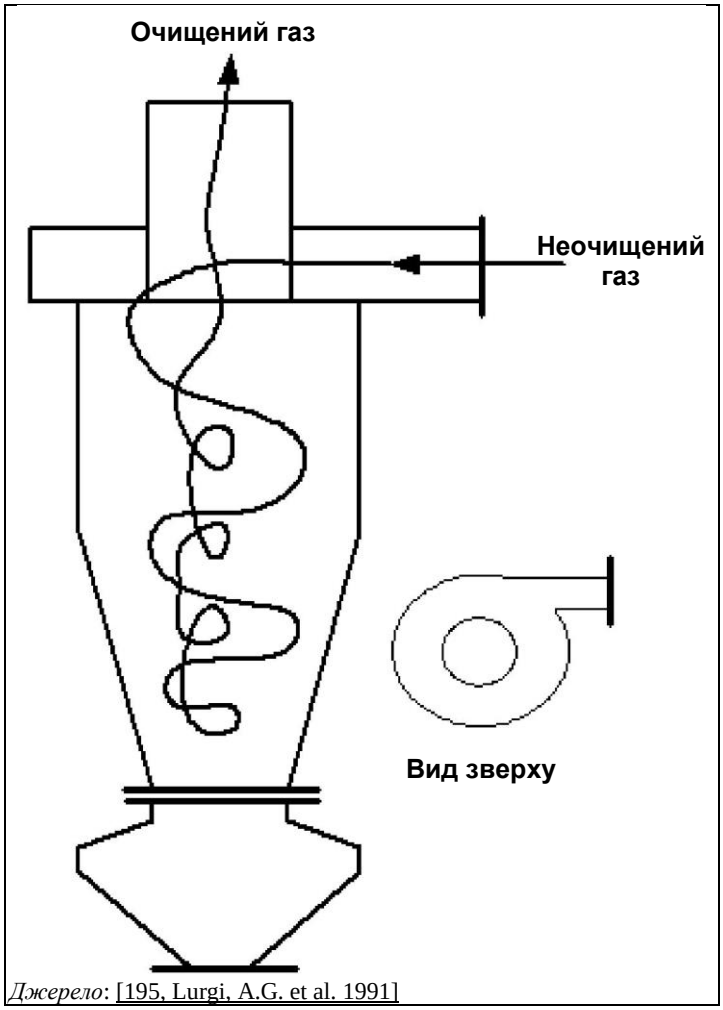
Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[195, Lurgi, A.G. et al. 1991], [196, Finkeldei, L. 1999], [73, Theodore, L. et al. 1992], [77, Soud, H.N. 1995], [189, VDI 1998].

2.12.5.1.3 Циклони

Опис
Циклони використовують інерцію для видалення часток із потоку відпрацьованого газу, створюючи відцентрові сили, зазвичай всередині конічної камери.

Технічний опис
Циклони були встановлені в багатьох технологічних процесах у 1980-х роках та досі широко використовуються (2014 р.). Циклон є інерційним газоочисним пристроєм. Пил відокремлюється від газового потоку, коли напрямок газового потоку змінюється, і пил продовжує рух у початковому напрямку через свою інерцію й осідає на поверхні осадження. Циклон показано на Рисунку 2.25



Джерело: [195, Lurgi, A.G. et al. 1991]

Рисунок 2.25: Конструкція циклону

Газ на вході спрямовується в спіральний потік. Відцентрові сили, що діють усередині спіралі, забезпечують зміну напрямку, і частки, що перевищують критичну масу, осідатимуть на стінки циклону.

Циклони не використовуються як самостійна технологія в цьому промисловому секторі.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів пилу.
- Економія сировини через повернення пилу до технологічного процесу.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

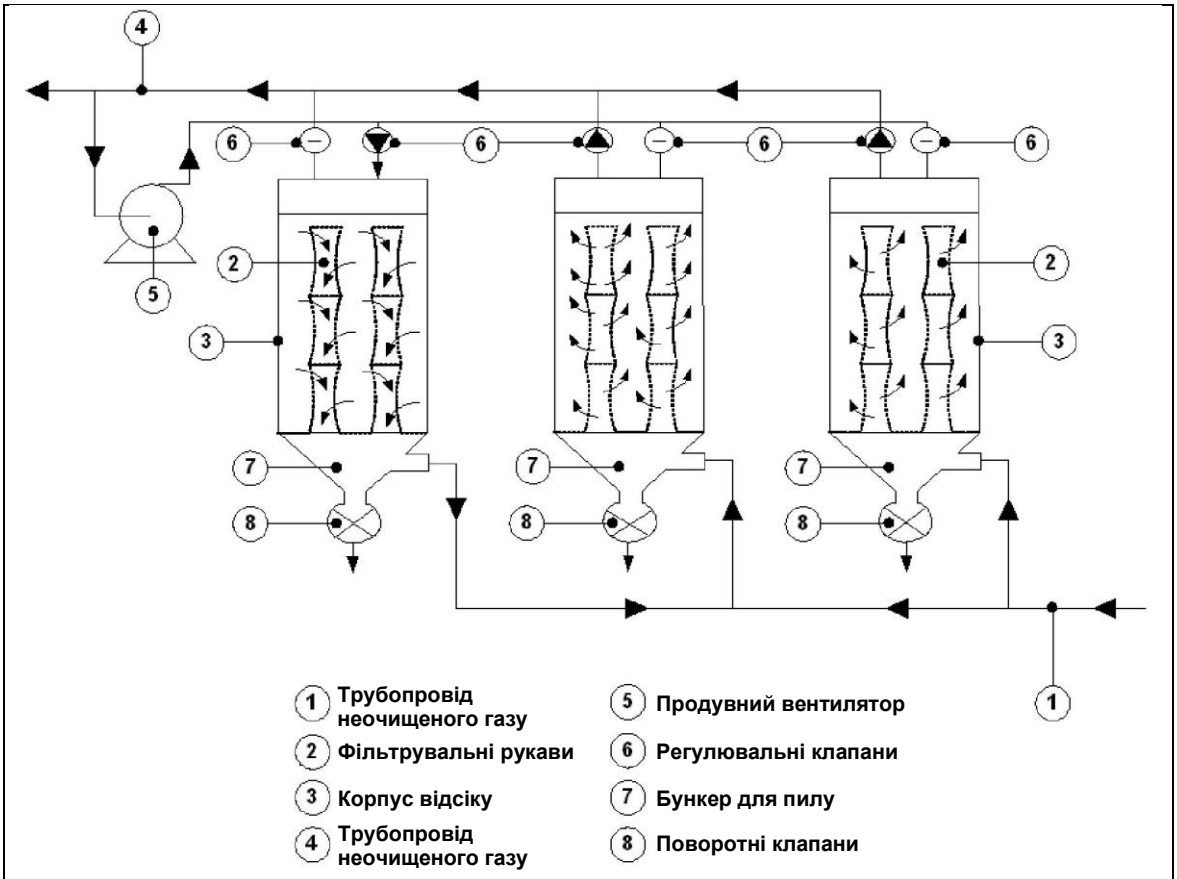
Довідкова література
[73, Theodore, L. et al. 1992], [77, Soud, H.N. 1995], [195, Lurgi, A.G. et al. 1991], [196, Finkeldei, L. 1999],

2.12.5.1.4 Тканинні або рукавні фільтри

Опис
Рукавні фільтри виготовляються з пористої тканини або повсті, через яку проходять гази, а частки видаляються за допомогою сітки або іншого механізму. Використання рукавного фільтра вимагає вибору матеріалу тканини з урахуванням характеристик відхідних газів і максимальної температури експлуатації. Патронні фільтри є різновидом рукавного фільтра, у якому замість мішків використовуються патрони.

Технічний опис
Системи рукавних фільтрів застосовуються в багатьох сферах у цьому секторі промисловості завдяки їхній високій ефективності в боротьбі з дрібнодисперсним пилом, що утворюється в процесі виплавки та розплавлення. Перед рукавними фільтрами можна використовувати відстійні та охолоджувальні камери, а також котли-утилізатори для зниження ймовірності загоряння, для кондиціонування часток та рекуперації вмісту тепла відхідних газів перед знепиленням.

Рукавні фільтри з різними системами очищення показані на Рисунку 2.26, Рисунку 2.27 та Рисунку 2.28.



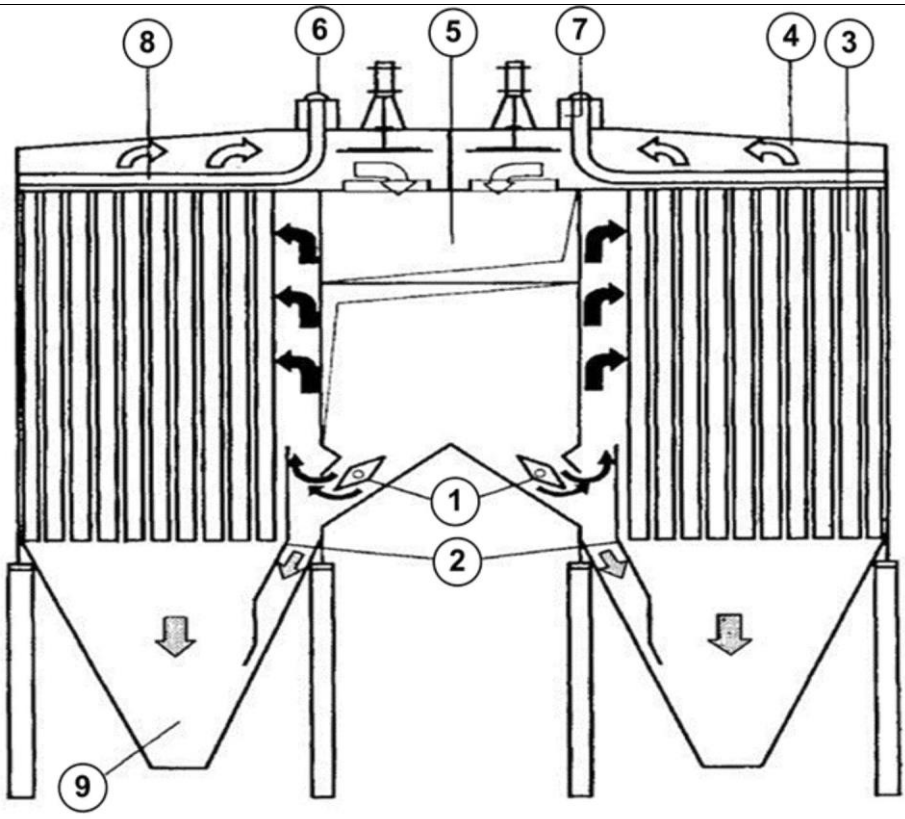
Джерело: [195, Lurgi, A.G. et al. 1991]

Рисунок 2.26: Рукавний фільтр зі зворотним потоком повітря (з одним відсіком у циклі очищення)

Основний принцип тканинної фільтрації полягає у використанні мембранної тканини, яка є проникною для газів, але утримує пил. Рукави зазвичай підтримуються на металевій рамі, і кожен рукав міцно вбудований у конструкцію рукавного фільтра. Спочатку пил осідає як на поверхневих волокнах, так і в глибині тканини, але в міру наростання поверхневого шару він сам стає головним фільтрувальним середовищем. У міру потовщення пилового осаду опір газовому потоку збільшується. Тому необхідно періодичне очищення фільтрувального матеріалу для контролю перепаду тиску газу у фільтрі. Напрямок потоку газу, що очищується, може бути або зсередини рукава назовні, або ззовні всередину.

Рукавні фільтри зазвичай класифікують за способом очищення фільтрувального матеріалу. Регулярне видалення пилу з тканини важливе для підтримки ефективності видалення пилу, але воно також впливає на строк експлуатації рукава.

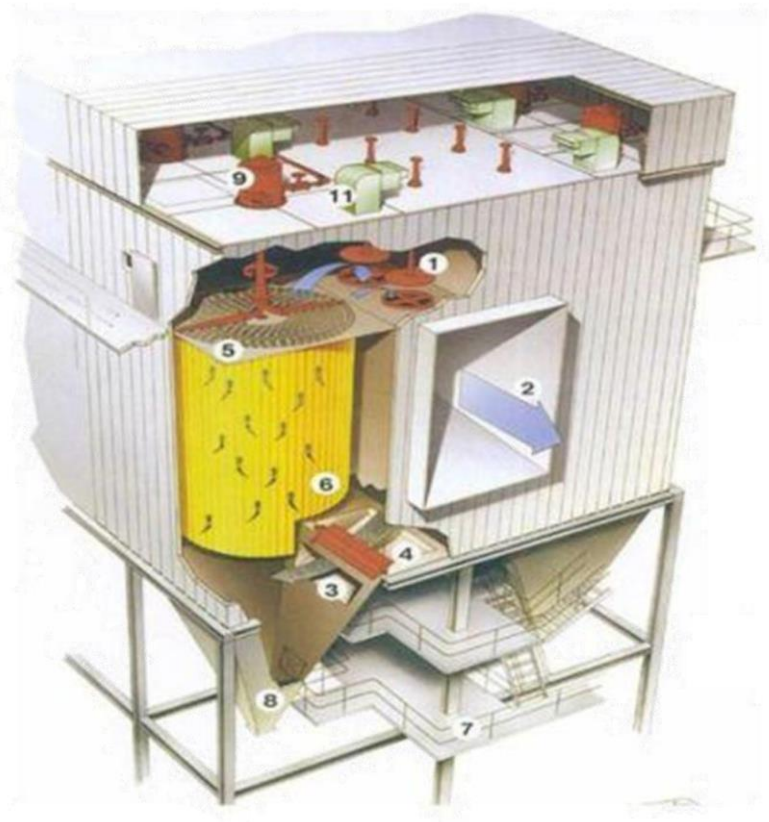
Найбільш поширені методи очищення включають зворотний потік повітря, механічне струшування, вібрацію, пульсацію повітря низького тиску та пульсацію стисненого повітря. Акустичні рупори також використовують для очищення рукавів. Звичайні механізми очищення не призводять до повернення рукаву до первинного стану, оскільки частки, що осіли всередині тканини, зменшують розмір пір між волокнами, хоча це дає змогу досягти високої ефективності очищення субмікронного диму.



1 Впуск неочищеного газу
2 Відбивна перегородка
3 Фільтрувальні рукави
4 Простір для очищеного газу
5 Трубопровід неочищеного газу
6 Мембранний клапан
7 Резервуар для стисненого повітря
8 Трубка для подання
9 Бункер для пилу

Джерело: [195, Lurgi, A.G. et al. 1991]

Рисунок 2.27: Система зворотного імпульсного струминного очищення



1 Заслінка тарілчастого клапана
2 Вихід очищеного газу
3 Вхід неочищеного газу
4 Заслінка бункеру для пилу
5 Пластина з комірками
6 Фільтрувальні рукави
7 Зовнішні переходи
8 Бункер
9 Мембранний клапан
Привід колектора
Імпульсний резервуар
10 Колектор чистого повітря
11 Вентиляція комірок

Рисунок 2.28: Система очищення пульсацією повітря низького тиску

Рукавні фільтри розробляються на основі передбачуваної швидкості фільтрування, яка визначається як максимально допустима швидкість потоку газу, що проходить через одиницю площі тканини ($м^3/с \div м^2$, виражена в м/с). Швидкість фільтрування зазвичай знаходиться в діапазоні від 0,01 м/с до 0,04 м/с залежно від сфери застосування, типу фільтру і тканини.

Під час вибору тканини враховуються склад газів, характер та розмір часток пилу, використовуваний метод очищення, необхідна ефективність та економічність. Також враховується температура газу, а також метод охолодження газу, якщо є, і результівною точкою роси водяної пари та кислоти.

Характеристики цієї тканини включають хімічну стійкість, форму волокна й тип пряжі, переплетення тканини, обробку тканини, стійкість до стирання та згинання, міцність, ефективність уловлювання, обробку матерії та її проникність.

Зношування фільтрувальних рукавів призводить до поступового зниження продуктивності, яке можна виміряти. Пошкодження або катастрофічний вихід із ладу кількох рукавів є небезпечним, коли виникає корозія, фільтрується абразивний матеріал або існує ризик займання. Прості системи безперервного моніторингу, такі як індикатори перепаду тиску або індикатори запиленості, дають лише приблизне уявлення про продуктивність.

Трибоелектричні або оптичні пристрої використовуються для вимірювання динаміки пилу, що викидається рукавним фільтром, для виявлення можливої несправності, а також їх можна використовувати для виявлення піків утворення пилу під час циклу очищення. Коли ці вимірювання об'єднані із системою зонального очищення, можна визначити зону, у якій знаходяться пошкоджені рукави, та виконати місцевий ремонт [123, Robson, T.G. et al. 1998]. Також використовуються вимірювання температури та системи сигналізації.

У рукавних фільтрах у деяких процесах виробництва феросплавів використовують фільтри, що працюють під тиском, з вентиляторами на стороні неочищеного диму/газу. Розробки призвели до створення закритого всмоктувального фільтра з вентиляторами на стороні очищеного газу. Ця технологія використовується в більшості інших секторів металургії й поєднує в собі переваги м'якого очищення рукава, що означає триваліший строк експлуатації рукава, низькі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування, а також визначений обсяг газу завдяки закритому фільтру.

Для правильного функціонування необхідно вживати один або кілька з наведених нижче заходів.

- Особлива увага до вибору фільтрувального матеріалу та надійності системи кріплення та ущільнення. Проведення належного технічного обслуговування. Сучасні фільтрувальні матеріали зазвичай міцніші й мають більш тривалий строк експлуатації. Додаткові витрати на сучасні матеріали у більшості випадків із лишком компенсуються додатковим строком експлуатації.
- Температура експлуатації вища за точку роси газу. Термостійкі рукави та кріплення використовуються за більш високих температур експлуатації.
- Безперервний моніторинг запиленості за допомогою імпінжерних, оптичних або трибоелектричних пристроїв може проводитися для виявлення несправності фільтрувального рукава. За можливості пристрій має взаємодіяти із системою очищення фільтра, щоб можна було ідентифікувати окремі секції, що містять зношені або пошкоджені рукави.
- Охолодження газу та гасіння іскор там, де це необхідно. Циклони вважаються придатним засобом іскрогасіння. Більшість сучасних фільтрів поділені на декілька відсіків, тому в разі потреби пошкоджені відсіки можна ізолювати.
- Для виявлення займання можна використовувати моніторинг температури та іскріння. Можуть бути передбачені системи інертних газів або можуть бути додані інертні матеріали (наприклад, вапно) до відхідних газів, якщо існує ризик займання. Надмірне перегрівання, що перевищує розрахункові обмеження тканини, може призвести до викиду токсичних газів.
- Перепад тиску можна контролювати для керування механізмом очищення.

Існує низка різних конструкцій рукавних фільтрів, у яких використовуються різні типи фільтрувальних матеріалів. Використання технологій мембранного фільтрування (поверхневе фільтрування) додатково призводить до збільшення строку експлуатації рукавів, вищої температурної межі (до 260 ºC) та порівняно низьких витрат на технічне обслуговування. Мембранні фільтрувальні рукави складаються з екстратонкої політетрафторетиленової мембрани, що розширюється, приклеєної до підкладкового матеріалу. Частки в потоці відхідного газу уловлюються поверхнею рукава. Замість того, щоб утворювати осад усередині або проникати в тканину рукава, частки відштовхуються від мембрани, утворюючи осад меншого розміру. Ця технологія застосовується для всіх нових і наявних установок, а також може бути використана для відновлення наявних рукавних фільтрів [141, Elkem Asa 1998].

Синтетичні фільтрувальні тканини, такі як тефлон/скловолокно, дали змогу рукавні фільтри в різних сферах і збільшити строк експлуатації. Сучасні фільтрувальні матеріали добре працюють за високих температур або в умовах стирання, і виробники тканин можуть навіть допомогти визначити матеріал для конкретних сфер застосування. За умови правильної конструкції й відповідного типу пилу в окремих випадках можна досягти дуже низького рівня викидів пилу. Більша надійність та триваліший строк експлуатації компенсують витрати на сучасні рукави. Досягнення цих рівнів важливо, тому що пил може містити значну кількість металів. Щоби запобігти витоку неочищених газів у повітря, необхідно враховувати вплив деформації розподільних патрубків та правильне ущільнення з'єднання рукавів відповідно до належної практики.

Через їхню схильність до злипання за певних умов (наприклад, у разі наявності липкого пилу або в повітряних потоках, близьких до точки роси) та їхню чутливість до вогню, вони не підходять для всіх сфер застосувань. Вони також можуть бути застосовані до наявних рукавних фільтрів і можуть бути модифіковані. Зокрема, система ущільнення рукавів може бути вдосконалена протягом періодів щорічного технічного обслуговування, а фільтрувальні рукави можуть бути замінені на сучасніші тканини під час звичайних графіків заміни обладнання, що також може знизити майбутні витрати.

Досягнуті екологічні переваги

Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Порівняння параметрів різних систем фільтрування, що найчастіше використовуються, показано в Таблиці 2.12.

Таблиця 2.12: Порівняння різних систем тканинних фільтрів

Параметр	Фільтр з імпульсним очищенням	Мембранний фільтр зі скловолокна	Фільтр зі скловолокна
Питоме навантаження повітря на тканину	від 80 до 90 м/год	від 70 до 90 м/год	від 30 до 35 м/год
Температурні межі	250 °C	280 °C	280 °C
Тип рукава	З поліестеру	Мембранний/зі скловолокна	Зі скловолокна
Розмір рукава	0,126 × 6,0 м	0,292 × 10 м	0,292 × 10 м
Площа тканини на рукав	2,0 $м^2$	9,0 $м^2$	9,0 $м^2$
Каркас	Так	No	No
Перепад тиску	2,0 кПа	2,0 кПа	2,5 кПа
Строк експлуатації рукава	До 30 місяців	Від 6 до 10 років	Від 6 до 10 років
Джерело: [141, Elkem Asa 1998]			

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів пилу.
- Економія сировини через повернення пилу до технологічного процесу.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[195, Lurgi, A.G. et al. 1991], [196, Finkeldei, L. 1999], [73, Theodore, L. et al. 1992], [77, Soud, H.N. 1995], [141, Elkem Asa 1998], [215, VDI 1997], [217, VDI 2004], [103, COM 1998].

2.12.5.1.5 Керамічні та металеві сітчасті фільтри

Опис
Фільтри з кераміки з невеликою щільністю функціонують аналогічно тканинним фільтрам щодо принципу дії, загальної конструкції та операцій очищення. Замість тканинних рукавів та металевих кріплень використовуються жорсткі деталі, що нагадують фільтри-свічки.

Технічний опис
Існує кілька прикладів використання таких фільтрів у цій галузі, і досягається дуже висока ефективність видалення пилу. Видаляються дрібні частки, у тому числі PM_{10}.

Вони мають високий рівень термостійкості, і часто обмеження корпусу визначають верхню температуру експлуатації. Розширення опорної системи під час підвищення температури також є важливим фактором, оскільки це може вплинути на ущільнення фільтрувальних елементів в корпусі, що призведе до витоків з потоку неочищеного газу в потік очищеного газу. Системи оперативного виявлення несправності використовуються так само як у тканинних фільтрів. Керамічні та сітчасті фільтри не такі гнучкі, як тканинні фільтри. У разі очищення їх повітряним імпульсом дрібнодисперсний пил не буде видалятися так само

ефективно, як у випадку з тканинним фільтром, що призведе до накопичення дрібнодисперсних часток усередині фільтра, а отже і до зниження ефективності фільтра. Цей ефект більш імовірно виникає в ситуаціях із дуже дрібним пилом.

Керамічні фільтри виготовляються з алюмосилікатів і можуть бути попередньо покриті різними матеріалами для підвищення хімічної або кислотної стійкості або видалення інших забруднювальних речовин. Фільтрувальні елементи порівняно прості у використанні, коли вони нові, але вони стають крихкими після впливу тепла, і тому існує ризик того, що вони можуть зламатися під час технічного обслуговування або грубих спроб їх очищення.

Присутність липкого пилу або смоли є потенційною проблемою, оскільки вони не можуть бути видалені з елемента під час звичайного циклу очищення, що може призвести до значного перепаду тиску. Отже, вплив температури на матеріал, що уловлюється, є важливим фактором під час проєктування установки. При правильному проєктуванні та відповідному пилу досягається дуже низький рівень викидів пилу. Досягнення низького рівня викидів пилу є важливим, тому що пил може містити значну кількість металів.

Аналогічні показники ефективності за високих температур були отримані при використанні модернізованого металевого сітчастого фільтра. Розробка дозволяє швидко створювати шар пилового осаду після очищення, коли зона не функціонує.

Правильно спроєктовані, сконструйовані фільтри з відповідними розмірами для конкретного застосування мають такі характеристики.

- Корпус, системи кріплення та ущільнення відповідають обраній сфері застосування, є надійними та термостійкими.
- Безперервний моніторинг запиленості за допомогою імпінжерних, оптичних або трибоелектричних пристроїв для виявлення несправності фільтрувального рукава. За можливості пристрій має взаємодіяти із системою очищення фільтра, щоб можна було ідентифікувати окремі секції, що містять зношені або пошкоджені елементи.
- Кондиціювання газу, за необхідності.
- Використання перепаду тиску для моніторингу та керування механізмом очищення.

Через їхню схильність забруднюватись за певних умов (наприклад, у разі наявності липкого пилу або в повітряних потоках, близьких до точки роси) вони не підходять для всіх сфер застосувань. Вони також можуть бути застосовані до наявних керамічних фільтрів і можуть бути модифіковані. Зокрема, система ущільнення часто може бути вдосконалена протягом періодів технічного обслуговування у звичайному режимі.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів пилу.
- Економія сировини через повернення пилу до технологічного процесу.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[195, Lurgi, A.G. et al. 1991], [196, Finkeldei, L. 1999], [73, Theodore, L. et al. 1992], [77, Soud, H.N. 1995], [226, Nordic Report 2008], [103, COM 1998].

2.12.5.1.6 Мокрий скрубер для видалення пилу

Опис
Мокре очищення від пилу – це різновид мокрого очищення газу (див. Розділ 2.12.5.2.2), який може додатково вилучати/зменшувати кількість пилу. Мокре очищення від пилу полягає у відділенні пилу шляхом інтенсивного змішування газу, що надходить, з водою, найчастіше в поєднанні з видаленням грубодисперсних часток через використання відцентрової сили. Для цього газ впускається всередину дотичною. Видалений твердий пил збирається на дні скрубера. Крім пилу видаляються неорганічні хімічні речовини, такі як SO_2, NH_3, NH_4Cl, ЛОС та метали, які можуть бути приєднані до пилу.

Технічний опис
Уловлювання твердих часток під час мокрого очищення відбувається за трьома основними механізмами: інерційне співударяння, уловлювання та дифузія. Розмір часток, що уловлюються, є важливим чинником, і змочуваність уловлюваного матеріалу також може мати велике значення.

Мокрий скрубер із радіальним потоком показано на Рисунку 2.29.

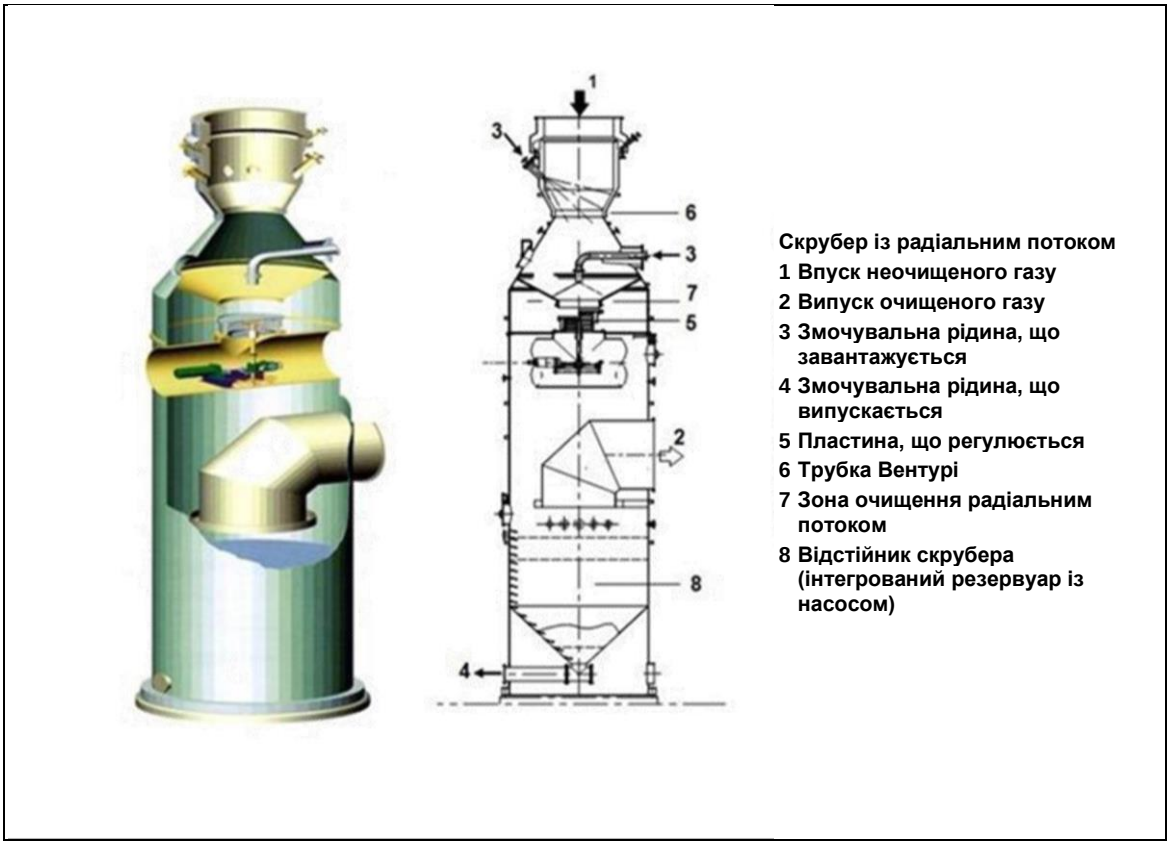


Рисунок 2.29: Мокрий скрубер із радіальним потоком

Мокрі скрубери використовуються для охолодження, насичення та попереднього очищення газів, наприклад, коли встановлюються на попередньому етапі виробничого процесу перед мокрими електростатичними фільтрами. Типовими прикладами є скрубер Вентурі або скрубер із радіальним потоком із регульованим перепадом тиску. Мокрі скрубери використовуються в багатьох різних виробничих процесах кольорової металургії,

наприклад, у виробництві міді, цинку та свинцю, а також у виробництві феромарганцевих сплавів у закритих печах. Конструкція скрубера заснована на співвідношенні швидкості потоків газу та рідини, а також об'єму газу та кількості рідини. Ці параметри визначають перепад тиску в скрубері й, отже, ефективність уловлювання.

Каскадні мокрі скрубери або скрубери Вентурі часто використовуються для знепилення газів із високим вмістом CO з герметичних електродугових печей. Потім газ використовується як висококалорійний газ та викидається після подальшої обробки. Вони також використовуються для обробки газів від машини для спікання з використанням сталевої стрічки, де пил дуже абразивний, але легко змочується. Без такого очищення в скрубері строк експлуатації тканинного фільтра був би дуже обмежений, а швидке зношування тканини призвело б до зниження його ефективності.

Скрубери використовуються, коли характер пилу або температура газу не дозволяють використовувати інші технології або коли пил особливо підходить для видалення в скрубері. Їхнє використання також може бути доцільним, коли гази необхідно видаляти одночасно з пилом або коли скрубери є частиною ланцюга технологій боротьби з викидами, наприклад, знепилення перед заводом із виробництва сірчаної кислоти. Змочування та уловлювання часток потребує значного споживання енергії.

Мокрі скрубери повинні мати систему моніторингу перепаду тиску, потоку змочувальної рідини та (якщо видаляються кислі гази) pH. Очищені гази повинні направлятися зі скрубера у тумановловлювач.

Досвід показує, що ефективність мокрих скруберів залежить від розміру часток та їхнього загального енергоспоживання, особливо після перепаду тиску в зоні уловлювання. Крім того, за умови, що рідина рівномірно розподілена всередині скрубера, однакові перепади тиску часто будуть давати однакову ефективність для одного й того ж пилу в скруберах абсолютно різних конструкцій. Таким чином, неможливо розробити високоефективний мокрий скрубер, який споживатиме невелику кількість енергії, окрім випадків, коли пил легко змочується. Існує безліч конструкцій високоефективних скруберів, заснованих на принципах радіального потоку, струменя, Вентурі та каскаду. Скрубери застосовуються для видалення пилу, який важко видалити іншими методами. Зазвичай гази потім використовуються в іншому процесі (наприклад, у якості паливного газу) і не викидаються. Вони також використовуються в поєднанні з мокрими електростатичними фільтрами для охолодження та очищення газів перед перетворенням на заводах із виробництва сірчаної кислоти або для поглинання кислих газів.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу, металів та інших сполук.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений матеріал не може бути повернений у процес.
- Утворюються відпрацьовані води, які потребують додаткового очищення для запобігання скиданню металів у воду.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів пилу.
- Економія сировини через повернення пилу до технологічного процесу.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[196, Finkeldei, L. 1999] [195, Lurgi, A.G. et al. 1991], [216, VDI 1998] [226, Nordic Report 2008], [103, COM 1998].

2.12.5.1.7 Огляд технологій зменшення викидів пилу

Огляд технологій зменшення викидів пилу наведено в Таблиці 2.13 нижче.

Таблиця 2.13: Огляд технологій зменшення викидів пилу

Опис	Вплив на різні компоненти довкілля	Інформація про функціонування (потенційні проблеми)	Застосовність	Стимул до впровадження
Тканинні фільтри	Немає, якщо пил використовується повторно	Засмічення, займання, ущільнення. Максимальна температура експлуатації 250 °C	Здебільшого з належним ущільненням та сучасною тканиною	Висока ефективність для відповідного пилу. Можливість повернення пилу до технологічного процесу
Мокрий електростатичний фільтр	Джерело стічних вод	Обривання та замикання дроту. Максимальна температура експлуатації 80 °C	Покращена ефективність для вологих газів	Висока ефективність для відповідного пилу, низький перепад тиску, але утворюються стічні води
Електростатичний фільтр	Немає, якщо пил використовується повторно	Різні частки, обривання та замикання дроту. Максимальна температура експлуатації 450 °C	Більшість з ефективними системами управління та розподілом газу	Низький перепад тиску, надійний, не потребує частого технічного обслуговування
Мокрий скрубер для видалення пилу	Джерело стічних вод	Нижча ефективність та засмічення. Максимальна температура експлуатації на вході 1000 °C	Очищення або попереднє очищення газів перед застосуванням інших методів. Придатні лише деякі види пилу. Очищення паливних газів для горіння або газів для кислотної установки	Видалення кислих газів і туманів
Керамічні фільтри	Немає, якщо пил використовується повторно	Крихкість, засмічення, ущільнення. Пил має бути придатним. Максимальна температура експлуатації 900 °C	Експлуатація в умовах високих температур	Висока ефективність для відповідного пилу Можливість повернення пилу до технологічного процесу
Циклони	Немає, якщо пил використовується повторно	Низька ефективність. Обмежена ефективність для дрібнодисперсних часток. Максимальна температура експлуатації 1100 °C	Попереднє видалення пилу	Очищення газів перед застосуванням інших методів.

2.12.5.2 Технології зменшення викидів газоподібних сполук

Такі гази, як NH_3, SO_2, SO_3, HF, HCl та NO_X, утворюються в кількох технологічних процесах, наприклад, під час виплавки утворюється діоксид сірки, а під час електролізу утворюється фтороводень. Існують технології запобігання та зменшення викидів цих газів [213, VDI 1998]. Зменшення викидів цих газів часто досягається за через управління технологічним процесом або за шляхом регулювання вмісту матеріалу в шлаку або штейні. Використання пальників із низьким виходом NO_X та поступового подання повітря для горіння в печі та інших установках для спалювання може запобігти утворенню цих газів.

Органічні та металеві компоненти можуть виділятися в результаті деяких технологічних процесів і можуть бути адсорбовані з використанням аналогічних технологій.

Для видалення газоподібних компонентів застосовуються такі технології. Більше інформації наведено в главах, присвячених конкретним металам (Глави з 3 до 10).

2.12.5.2.1 Пристрої/камери допалювання

Опис

Допалювач або термічний окисник (ТО) є системою спалювання, у якій забруднювальні речовини в потоці відпрацьованих газів вступають у реакцію з киснем у контрольованому середовищі, викликаючи реакцію окиснення.

Регенеративний допалювач або регенеративний термічний окисник (РТО) є системою спалювання, у якій використовується регенеративний процес для використання теплової енергії газу та сполук вуглецю з використанням вогнетривких опорних шарів. Колекторна система необхідна для зміни напрямку потоку газу для очищення шару.

Каталітичний допалювач або каталітичний термічний окисник (КТО) є системою спалювання, у якій розкладання здійснюється на поверхні металевого каталізатора за нижчих температур, зазвичай від 350 °C до 400 °C.

Технічний опис

Системи спалювання використовуються в промисловості для окиснення CO, пилу або газоподібного вуглецевмісного матеріалу в газовому потоці. Використовуються кілька типів систем спалювання.

- Високотемпературні допалювачі, також іменовані термічними окисниками, у яких гази зазвичай нагріваються до температури від 850 °C до 1000 °C і витримуються щонайменше 0,5 секунди (за умови відсутності хлоровмісних компонентів), що призводить до знищення присутніх ЛОС. У допалювачах використовується система пальників (не обов'язково безперервного використання). У регенеративних допалювачах, також іменованих регенеративними термічними окисниками (РТО), використовується регенеративна система для використання теплової енергії газу та сполук вуглецю з використанням вогнетривких опорних шарів. Колекторна система необхідна для зміни напрямку потоку газу для очищення шару.
- У каталітичних допалювачах, також іменованих каталітичними термічними окисниками (КТО), у яких розкладання здійснюється на поверхні металевого каталізатора за нижчих температур, зазвичай від 350 °C до 400 °C.
- Печі, спроєктовані для спалювання відхідних газів, наприклад, надлишкового CO для рекуперації енергії.
- Вертикальну шахту або вихідну частину печі можна використовувати у якості допалювача, якщо в цій точці буде подано додатковий кисень.

Допалювачі знищують органічні сполуки, у тому числі ПХДД/Ф, шляхом термічного окиснення. Для цього потрібна додаткова енергія, що, залежно від джерела енергії, призводить до викидів CO_2, NO_X і SO2.

Допалювачі особливо корисні в операціях знемаслювання та видалення покриття, у результаті чого може утворюватися висока концентрація органічних сполук. Присутність цих компонентів у печі призводить до утворення великої кількості продуктів згоряння й до

дуже короткого часу перебування в печі, а отже, до викиду газів часткового згоряння.

Технологіями, які необхідно розглядати для видалення ЛОС, ПХДД/Ф, органічних або вуглецевих часток або горючих газів, таких як CO або H_2, є правильне проєктування, конструювання та підбір відповідного розміру установки для конкретного застосування. За можливості необхідно забезпечити рекуперацію тепла. Основними вимогами для ефективного спалювання в допалювачі є:

- Достатній час перебування в камері згоряння або регенеративній системі; він має бути достатньо тривалим із належною кількістю кисню для забезпечення повного згоряння. Ефективність знищення 99% зазвичай вимагає двох секунд перебування за відповідної температури, залежно від присутності хлоровмісних сполук. Менший час перебування в печі та нижчі температури можуть також призвести до повного знищення ЛОС та ПХДД/Ф, але потім це має бути продемонстровано на місцевому рівні в реальних умовах експлуатації. Гази необхідно швидко охолоджувати в температурному інтервалі перетворення ПХДД/Ф. Турбулентний потік необхідний для забезпечення ефективного тепло- та масообміну в зоні горіння, а також для запобігання утворенню холодних зон. Зазвичай така турбулентність досягається під час використання пальників, які генерують вихрове полум'я та шляхом встановлення перегородок у камеру згоряння.
- Температура експлуатації на 200–400 °C вище за температуру самозаймання найбільш стабільної речовини, тому мінімальні температури експлуатації становлять понад 850 °C. Якщо газовий потік містить хлоровмісні речовини, необхідно підвищити температуру до 1100–1200 °C і швидко охолодити відхідні гази, щоб запобігти перетворенню ПХДДР/Ф.
- Експлуатація каталітичних установок за нижчих температур. Для роботи пальників необхідні турбулентний потік, повітря та джерело займання. За потреби можна використовувати додаткове паливо.
- Мікропроцесорний контроль співвідношення повітря та палива в пальниках для оптимізації горіння.
- Демонстрація результативності комбінації обладнання, температури експлуатації та часу перебування в печі для підтвердження ефективного знищення матеріалів, присутніх у сировинному газі.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів органічних сполук.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
Потенційне збільшення енергоспоживання, якщо тепло, що утворюється, не може бути використане.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[196, Finkeldei, L. 1999], [226, Nordic Report 2008], [211, VDI 2003], [212, VDI 1995], [214, VDI 2005], [103, COM 1998], [233, COM 2008]

2.12.5.2.2 Мокрий скрубер для газу

Опис
У процесі мокрого очищення газоподібні сполуки розчиняються в розчині. Після мокрого скрубера димові гази насичуються водою, і перед випуском димових газів необхідно відділити вологу. Отриману рідину необхідно очистити на установці з очищення відпрацьованих вод, а нерозчинні речовини уловлюються шляхом седиментації або фільтрування.

Технічний опис
Системи мокрого очищення використовуються в промисловості для видалення газоподібних компонентів у низьких концентраціях, насамперед для видалення часток (див. Розділ 2.12.5.1.6), а також для контролю температури (шляхом адіабатичного охолодження). Хоча основна технологія для цих сфер застосувань однакова, критерії проєктування для систем видалення пилу й газоподібних компонентів значною мірою різняться. Системи мокрого очищення часто використовуються для всіх трьох процесів одночасно, тому конструкція обов'язково є компромісною, і, залежно від сфери застосування, може завдаватися значний вплив на різні компоненти довкілля, такий як утворення додаткових стічних вод.

Використовуються різні очисні засоби від морської води до лужних розчинів. Сфера застосування, у якій використовується скрубер, визначає параметри, які необхідно вимірювати для моніторингу продуктивності. Такими параметрами є: перепад тиску й витрата змочувальної рідини, температура, мутність, провідність та pH. Існують можливості значного впливу на різні компоненти довкілля, які необхідно враховувати окремо для кожної території.

Технологіями, які необхідно враховувати для видалення діоксиду сірки низької концентрації (менше ніж 1%) та інших кислих газів, таких як HF та HCl, які можуть утворюватися, є правильне проєктування, конструювання та підбір відповідного розміру скруберу для конкретного застосування.

Мокрі скрубери повинні мати систему моніторингу, якщо це можливо, перепаду тиску, витрати змочувальної рідини та pH, й очищені гази повинні направлятися зі скрубера в тумановловлювач. Слабокисла змочувальна рідина, що утворюється скруберами, за можливості повинна бути повторно використана, відновлена або оброблена для зменшення викидів у воду.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу, металів та інших сполук.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Утворюються відпрацьовані води, які потребують додаткового очищення для запобігання скиданню металів у воду.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[11, Hatch Associates Ltd 1993], [13, HMIP (UK) 1994], [226, Nordic Report 2008], [103, COM 1998].

2.12.5.2.3 Сухі та напівсухі скрубери

Опис
Сухий порошок або суспензію/розчин лужних реагентів вводять та диспергують в потоці відпрацьованих газів. Матеріал реагує із газоподібними компонентами сірки з утворенням твердої речовини, яку необхідно видалити шляхом фільтрування (рукавним або електростатичним фільтром). Використання реакційної колони підвищує ефективність видалення скруберної системи.

Технічний опис
Методи адсорбції, такі як сухе очищення, використовуються для поглинання кислих газів та поглинання металевих або органічних сполук. Вапно, гідроксид магнію, вапняк, оксид цинку та глинозем часто використовуються для обох випадків. Подвійні лужні скрубери використовуються в інших країнах світу. Активоване вугілля (або кокс) використовується для видалення металів (ртуті) та органічних речовин, для чого воно зазвичай більш ефективне.

Адсорбція досягається за допомогою насадкових колон або шляхом введення реагенту в газовий потік та використання реакторної колони. Тканинні фільтри найчастіше використовуються нижче на наступному етапі для уловлювання частково відпрацьованого очисного матеріалу й забезпечення додаткової площі поверхні для подальшої адсорбції. Очисний матеріал може повторно використовуватися кілька разів у системі скруберів для забезпечення максимального використання поглинальної здатності. Глинозем та оксид цинку потім використовуються в основному технологічному процесі. Фториди, абсорбовані глиноземом, вилучаються електролітичним способом.

Варіантом сухого чищення є напівсухе чищення. У цьому випадку суспензію реагенту (зазвичай вапна) вводять у реактор разом із газовим потоком. Вода випаровується, якщо температура газу є досить високою, а газоподібні компоненти можуть вступати в реакцію з частками. Потім частки відпрацьованого реактиву видаляються з газового потоку. Сухе очищення часто менш ефективне, ніж вологе чи напівсухе очищення, особливо з менш хімічно активними газами, такими як SO_2. Ефективність реагенту часто пов'язана з хімічною активністю реактиву, і постачальники вапна часто можуть виробляти матеріал із хімічною активністю, що підходить для певних сфер застосувань.

Коли ці процеси використовуються для видалення SO_2 вони називаються технологіями десульфуризації димових газів (ДДГ). Вони використовуються для зниження вмісту SO_2 у газах з анодних печей та інших джерел із низьким вмістом SO_2, а також для очищення залишкових газів від заводу з виробництва сірчаної кислоти. Гіпс утворюється під час застосування мокрих методів очищення та за деяких обставин може продаватися.

Технологіями, які необхідно враховувати для видалення діоксиду сірки низької концентрації (менше ніж 1%) та інших кислих газів, таких як HF та HCl, які можуть утворюватися, є використання правильного реактиву, правильне проєктування, конструювання та підбір відповідного розміру скруберу для конкретного застосування. Сухі скрубери, які використовують активоване вугілля належать до технологій для вилучення органічних речовин, таких як ПХДД/Ф, або ртуті. Залежно від сфери застосування, скрубери також мають використовувати один або кілька з таких методів.

- Сухі та напівсухі скрубери повинні мати відповідні змішувальні та реакційні камери.
- Частки, що утворюються в реакційній камері, треба видаляти за допомогою тканинного фільтра або електростатичного фільтра.
- Очисний матеріал, частково відпрацьований у реакції, може бути повторно використаний в реакторі.
- Відпрацьований очисний матеріал треба використовувати в основному технологічному процесі, якщо це можливо. Наприклад, у відповідних процесах можна використовувати глинозем та оксид цинку.
- Напівсухі скрубери повинні мати тумановловлювач, якщо утворюються тумани.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу, металів та інших сполук.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія сировини через повернення пилу до технологічного процесу.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[11, Ltd 1993], [13, HMIP (UK) 1994], [217, VDI 2004], [226, Nordic Report 2008], [103, COM 1998], [233, COM 2008]

2.12.5.2.4 Системи рекуперації газу

Опис
На додаток до використання систем мокрого, сухого та напівсухого очищення для видалення газоподібних компонентів, зазначених вище, у цій галузі широко використовуються системи рекуперації для вилучення газів із потоків технологічного газу.

Технічний опис
HCl може поглинатися водою, а SO_2 або NO_X можуть поглинатися водою або перекисом водню.

Зазначені далі методи застосовують у галузі для досягнення замкненого циклу матеріалу.

- Цикл соляної кислоти: у процесах, де застосовується розчинення, де соляна кислота (HCl) використовується в поєднанні з надлишковим хлором. Шляхом випарювання та уловлювання у воді утворюється азеотропна кислота (з концентрацією близько 20 % мас.). Її повторно використовують у різних частинах технологічного процесу.
- Цикл азотної кислоти: срібло та паладій часто розчиняються в азотній кислоті (HNO_3). Значну кількість відхідних газів оксидів азоту (NO і NO_2) можна вловлювати за допомогою кисню або перекису водню в спеціальних каскадних скруберах. Тривалий час, необхідний для окиснення невеликих кількостей NO, і зменшення поглинання газу за допомогою екзотермічних реакцій призводять до проблем. Тому необхідне

охолодження й кілька комбінованих скруберів для досягнення граничних значень і уникнення утворення коричневого диму з димової труби. Отримана азотна кислота з першого скрубера зазвичай має концентрацію близько 45 % мас. і може бути повторно використана в декількох технологічних процесах. Залишкові оксиди азоту можуть бути вилучені з використанням каталізаторів шляхом селективного або неселективного каталітичного відновлення, якщо постійно спостерігаються дуже високі концентрації NO_X [161, Bobeth, A. 1999].

- Цикл хлору: хлор використовується в процесах мокрого очищення для розчинення металів та на етапах сухого хлорування за підвищених температур для їхнього очищення. В обох випадках застосовуються закриті системи, наприклад, з використанням U-подібних трубок із водою та герметичних електролізерів. Газоподібний хлор можна відновлювати або використовувати у виробництві розчинів гіпохлориту. Гіпохлорит також використовується як окиснювач у розчинах скруберів, що використовуються в різних процесах очищення.
- Цикл хлориду амонію: порівняно низька розчинність хлориду амонію (NH4Cl) у випарених розчинах за кімнатної температури дає змогу повторно використовувати кристалічний осад цієї солі.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів кислих газів та інших сполук.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Утворюються відпрацьовані води, які потребують додаткового очищення для запобігання скиданню металів у воду.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія сировини через повернення пилу до технологічного процесу.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[11, Hatch Associates Ltd 1993], [13, HMIP (UK) 1994], [103, COM 1998].

2.12.5.2.5 Киснево-паливне спалювання

Опис
Ця технологія передбачає заміну повітря для горіння киснем із подальшим усуненням/зменшенням утворення термічних NO_X з азоту, що надходить у піч. Залишковий вміст азоту в печі залежить від чистоти кисню, що подається, якості палива й можливого впуску повітря.

Технічний опис
Етапи виробництва зазвичай ґрунтуються на високих температурах, але також пов'язані з використанням кисню. Це знижує парціальний тиск азоту в полум'ї та знижує утворення оксидів азоту за умови, що азот не присутній у великій кількості в дуже гарячих зонах. Повідомляється, що типові рівні викидів оксидів азоту у виробництві вторинної міді знаходяться в діапазоні від 20 мг/м^3 до 400 мг/м^3 залежно від печі та режиму роботи. Для

NO_X використання високоефективних процесів (наприклад, Contimelt) вимагає встановлення на місцях балансу між споживанням енергії та досягнутим значенням. Інші печі в секторі виробництва вторинного алюмінію, у яких використовуються киснево-паливні пальники, також можуть демонструвати зменшення утворення NO_X, діапазон для цих процесів становить від 50 мг/м^3 до 500 мг/м^3.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання викидам оксидів азоту.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Використання чистого кисню в пальнику призводить до зниження парціального тиску азоту в полум'ї а, отже, може зменшитись утворення термічних NO_X. Цього можна уникнути в разі збагачення киснем у пальнику або поруч із ним або в разі значного витоку повітря у піч, оскільки більш висока температура газу може сприяти утворенню термічних NO_X. В останньому випадку кисень може бути доданий після пальника, щоб зменшити цей ефект та зберегти швидкість плавлення.У Таблиці 2.14 показані рівні викидів NO_X внаслідок кількох технологічних процесів.

Таблиця 2.14: Викиди оксидів азоту внаслідок кількох технологічних процесів

Виробничий майданчик	Джерело викидів	Діапазон NO_X (mg/Nm^3 у перерахунку на NO_2)	Коментар
Aurubis, Люнен, Німеччина Вторинна мідь	Піч для виплавки мідних анодів	100–350	Верхнє значення відповідає гранично допустимому значенню викидів
Aurubis, Люнен, Німеччина Вторинна мідь	Піч KRS	10–100	Кисневе паливо
Brixlegg, Австрія Вторинна мідь	Шахтна піч	21–300	Кисневе паливо
AMAG, Австрія Алюміній	Відбивна піч	15–310	Кисневе паливо
AMAG, Австрія Алюміній	Обертова піч	10–157	НЗ
Без назви, Німеччина Алюміній	Сушарка для стружки	40–350	Верхнє значення відповідає гранично допустимому значенню викидів
AMAG, Австрія Алюміній	Сушарка для стружки	69–101	НЗ
AMAG, Австрія Алюміній	Обертова піч, що нахиляється	11–36	Кисневе паливо
Без назви, Німеччина Вторинний свинець	Завод із виплавки вторинного металу	< 50	НЗ
Affinage de Lorraine, Франція Виробництво алюмінію	Обертові печі	28–160	Кисневе паливо
Elkem, Тамсхавн, Норвегія Феросплави	ДЕП	230–400	НЗ
Примітка: НЗ = Не зазначено Source: [234, UBA (D) 2007], [194, Mezger, G. 1999], [256, Winter 2007], [249, Austria, Brixlegg 2007], [276, Schmitt G. 2008], [233, COM 2008]			

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Киснево-паливне спалювання – це технологія, яку можна застосовувати до більшості використовуваних процесів спалювання та пірометалургійних процесів. Максимальна вигода досягається шляхом будівництва нових заводів, де камера згоряння та системи боротьби з викидами також можуть бути спроєктувати на менші обсяги газу. Ця технологія також може бути застосована до наявних заводів і в багатьох випадках може бути модернізована.

Економічні аспекти
Економічні переваги киснево-паливного спалювання переважно пов'язані з підвищенням продуктивності. У секторі виробництва вторинного алюмінію в 1999 р. постійні витрати становили близько 145 євро/т для двох печей (виробництво 22 561 т/рік). Вищий рівень продуктивності з використанням киснево-паливних пальників призведе до скорочення цих витрат приблизно до 122 євро/т (22 651 × 145/27 000). Таким чином, існує можливість економії в розмірі 23 євро/т за рівня продуктивності 27 000 т/рік.

Деякі дані про витрати, пов'язані зі спалюванням кисневого палива у виробництві вторинного алюмінію, наведено у Таблиці 2.15.

Таблиця 2.15: Дані про витрати, пов'язані зі спалюванням кисневого палива у виробництві вторинного алюмінію

Параметр	Переваги/витрати	Коментар
Час плавлення	− 2.45 год/заряд	Зменшення часу періодичного плавлення
Потужність	+ 0.84 т/год	Підвищення продуктивності печі
Газоспоживання	− 80 м^3/т (тонн кисню)	Зменшення газоспоживання
Споживання O_2	+ 126 м^3/т	Додаткове споживання кисню
Source: [276, Schmitt G. 2008]		

Стимул до впровадження
- Запобігання викидам.
- Економія енергоресурсів.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Австрії, Франції, Бельгії та Сполученому Королівстві.

Довідкова література
[234, UBA (D) 2007], [194, Mezger, G. 1999], [256, Winter 2007], [249, Austria, Brixlegg 2007], [276, Schmitt G. 2008], [122, ETSU 1994], [103, COM 1998].

2.12.5.2.6 Технології видалення вуглеводнів і ЛОС

Опис
Для видалення або знищення ЛОС використовуються такі методи: допалювачі (див. Розділ 2.12.5.2.1), мокрі скрубери (див. Розділ 2.12.5.2.2), сухі скрубери (див. Розділ 2.12.5.2.3), біофільтри та біоскрубери.

Біофільтр складається із шару органічного матеріалу, у якому забруднювальні речовини з потоків відпрацьованих газів піддаються біологічному окисненню природними мікроорганізмами.

Біоскрубер поєднує в собі мокре очищення газу (абсорбцію) та біологічне розкладання, при цьому промивна вода містить популяцію мікроорганізмів, що підходять для окиснення шкідливих компонентів газу.

Технічний опис
ЗЛОС та ЛОС утворюються внаслідок неповного згоряння та під час різних операцій, таких як зберігання вуглеводнів, видалення CO та вуглеводнів, що утворюються під час технологічних операцій, знежирення компонентів, процеси вилучення розчинником та під час дихання резервуарів, що використовуються для зберігання розчинників та палива. Матеріали можуть бути ароматичними, аліфатичними, хлорорганічними або на водній основі. Їхня екологічна токсичність відрізняється, і це необхідно враховувати, щоб використовувати найбільш безпечний матеріал та визначити правильну систему боротьби з викидами, яку треба використовувати для кожного конкретного об'єкта. Для запобігання викидам практикується утримування, також можна використовувати змішувачі/осаджувачі, які мінімізують контакт із повітрям. Пари розчинника або палива повинні бути вилучені та видалені з відпрацьованих газів.

Там, де присутній широкий спектр вуглеводнів, використовуються комбінації технологій. Використовуються також біофільтри та реактори [156, VDI 2008]. Використовуються фільтри з активованим вугіллям та системи охолодження/конденсування, які дають змогу вилучати матеріал для повторного використання. В одному процесі вилучення розчинником вентиляційне повітря охолоджується та видаляє розчинник до рівня 0,2 кг на тонну виробленого кобальту. ЛОС також можуть утворюватись у результаті подання розчинників тощо. Для мінімізації викидів ЛОС використовується деаерація витіснених газів.

За можливості необхідно забезпечити рекуперацію тепла.
ЛОС можуть утворюватись у результаті завантаження в піч матеріалів, забруднених оливами. ЛОС можуть виділятися в результаті процесів знежирення або вилучення розчинником.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів вуглеводнів та ЛОС.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання, якщо тепло, що утворюється, не може бути використане.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Декілька регенеративних термічних окиснювачів успішно працюють. Витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія сировини.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[212, VDI 1995], [234, UBA (D) 2007], [242, Infomil 2008], [226, Nordic Report 2008], [157, Winter, B. et al. 1999], [103, COM 1998], [233, COM 2008], [348, Solios 2010].

2.12.5.2.7 Видалення інших домішок

Крім того, що вони заважають вилученню сірчаної кислоти та діоксиду сірки, інші кольорові метали, присутні в рудах та концентратах, мають несприятливий вплив на довкілля. Їх потрібно видалити, якщо їх ще не було видалено. Вони також мають цінність, тому їх відновлюють окремо від цільового металу. Тому для їхнього видалення та відновлення використовуються додаткові етапи очищення, про які повідомляється у главах, присвячених конкретним металам.

2.12.5.2.7.1 Інші метали

Опис

Технічний опис
Пірометалургійні процеси використовуються для видалення домішок із цільового металу шляхом випаровування та/або шлакування інших металів. Наприклад, цинк, вісмут, свинець, олово, кадмій, миш'як і галій можуть випаровуватися в умовах експлуатації печі та вилучатися з розплаву. Вибір температури експлуатації впливає на цей етап процесу, й

ці оксиди металів можуть уловлюватися з використанням відповідної технології видалення пилу. Потім метали відновлюються з уловленого димового пилу декількома способами. Печі для очищення шлаку та процеси випарювання шлаку також використовуються для видалення летких металів, які уловлюються у вигляді димового пилу. Отже, цей димовий пил та інші залишки утворюють сировину для різних металів.

Леткі метали та їхні оксиди також містяться в пилу та залишках інших технологічних процесів, наприклад, у пилу сталеплавильного виробництва. Ці залишки є сировиною для інших процесів вилучення цинку та інших летких металів. У цих процесах обертова піч (вельц-піч) або піч Ausmelt/ISASMELT використовується для випарювання металу і збагачення цинку і свинцю в змішаних оксидах, які потім можуть бути вилучені в інших пірометалургійних процесах.

Резервуари та інше обладнання, яке використовується на гідрометалургійних підприємствах, здебільшого вентилюються в атмосферу для забезпечення безпеки на робочому місці. Це вентиляційне повітря може містити кислотний туман, що містить металовмісні сполуки з розчину. Технології видалення включають мокрі скрубери або краплевловлювачі. Елементи краплевловлювача розміщуються в газовому потоці у вентиляційній трубі або у верхній частині градирень, а відділений розчин стікає назад в основний резервуар.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання та зменшення викидів металів.
- Вилучення металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи або стічні води, якщо зібраний матеріал не може бути повернений у процес.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа та в главах, присвячених конкретним металам.

Стимул до впровадження
- Запобігання та зменшення викидів.
- Економія сировини.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[226, Nordic Report 2008], [103, COM 1998]

2.12.5.3 Технології зменшення викидів ПХДД/Ф

У цьому документі діоксини та фурани разом позначаються як ПХДД/Ф.

Опис
До технологій, які необхідно розглянути, відносяться як первинні технології (такі як покращення умов спалювання, видалення органічних сполук із сировини, що подається, або модифікація систем завантаження печі), так і технології наприкінці виробничого циклу (такі як ефективна фільтрація пилу, додавання активованого вугілля або застосування допалювачів).

Технічний опис

ПХДД/Ф утворюються внаслідок реакцій у газовій фазі із хлорорганічними прекурсорами. Крім джерела вуглецю, який є завжди, лише невеликої кількості хлору у вихідних матеріалах (30–300 ppm у типових рудах та кілька ppm у металах) або в паливі (товарний кокс, наприклад, має вміст хлору близько 0,05% мас.) достатньо для утворення ПХДД/Ф. До процесів, схильних до утворення ПХДД/Ф, відносяться, наприклад, процеси горіння, спікання руди, виплавки металів, а отже й пірометалургійні процеси. Більша частина утворення ПХДД/Ф відбувається в результаті синтезу de novo, коли відхідні гази охолоджуються в у температурному інтервалі приблизно від 400 °C до 200 °C в присутності хімічно активного вуглецю, хлору, кисню й каталітично активного металу, такого як мідь.

Основними джерелами утворення ПХДД/Ф у кольоровій металургії є [306, COM 2007]:

- виплавка вторинної міді, алюмінію та свинцю (через забруднені вихідні матеріали, що містять хлор та органічні речовини, неналежні умови експлуатації або газоочищення);
- плавлення та легування металів, зокрема в присутності міді та під час нагрівання з газом у субстехіометричних умовах.

Незначні джерела утворення ПХДД/Ф:

- ливарні цехи;
- виплавка вторинної міді, алюмінію та свинцю (з використанням чистих вихідних матеріалів, в оптимальних умовах роботи та/або очищення димових газів).

Маловідомі джерела:

- інші процеси спікання, оскільки вони застосовуються для руд кольорових металів у відносно невеликих масштабах;
- джерела, які, ймовірно, є незначними, тобто інші процеси з використанням належним чином розробленої та ефективної системи термічного або каталітичного допалювання або каталітичної денітрифікації ($deNO_X$) і без подальшої рекуперації тепла.

Проте утворення та кількість викидів ПХДД/Ф із відхідними газами залежить не тільки від використовуваного палива та перероблюваних матеріалів (наприклад, металів із каталітичними властивостями), але й насамперед від управління технологічним процесом (умови масообміну) і конкретних характеристик відхідних газів (наприклад, температура, час перебування в різних температурних інтервалах, вміст SO_2). ПХДД/Ф також утворюються під час виробництва металів у процесах, що вимагають хлорування, таких як електролітичне виробництво магнію з морської води та доломіту.

Ця галузь заснована на використанні джерел вторинної сировини з брухтопереробної промисловості. Хоча існують узгоджені сорти брухту, присутні домішки можуть призвести до утворення ПХДД/Ф у процесі неповного згоряння або синтезу de novo. Присутність ПХДД/Ф у пилу електродугових печей та присутність поліхлорованих дифенілів у трансформаторному брухті та інших матеріалах є потенційними прямими джерелами ПХДД/Ф.

Присутність олив та інших органічних матеріалів у брухті або інших джерелах вуглецю (частково згоріле паливо та відновники, такі як кокс) може призвести до утворення дрібних часток вуглецю, які вступають у реакцію з неорганічними хлоридами або органічно зв'язаним хлором у діапазоні температур від 250 °C до 500 °C і утворюють ПХДД/Ф. Цей процес відомий як синтез de novo та каталізується в присутності таких металів, як мідь або залізо. Отже, попередній відбір або обробка вихідного матеріалу для мінімізації вмісту прекурсорів або органічних речовин є дуже важливим заходом для запобігання утворенню ПХДД/Ф.

Повідомляється, що високі рівні вмісту SO_2 перешкоджають синтезу de novo в установках для спалювання твердих побутових відходів, де утворенню $CuCl_2$, який, як відомо, діє як каталізатор синтезу de novo, пригнічує утворення $CuSO_4$ [278, Hunsiger et al 2007]. Цей ефект може бути застосований у секторі виробництва кольорових металів та може вплинути на послідовність видалення SO_2.

Хоча ПХДД/Ф руйнуються з високих температур (вище 850 °C) у присутності кисню, процес синтезу de novo все ще можливий, оскільки гази охолоджуються через "інтервал перетворення". Цей інтервал може бути характерним для систем боротьби з викидами й в холодніших частинах печі, наприклад, зоні завантаження матеріалу. Під час розробки систем охолодження особлива увага приділяється мінімізації часу перебування в температурному інтервалі та запобіганню синтезу de novo. У гарячих газах повинно бути достатньо кисню, і для забезпечення повного згоряння можна використовувати вдування кисню. ПХДД/Ф легко адсорбуються твердими речовинами й можуть збиратися всіма компонентами довкілля, такими як пил, тверді частки, що осідають у скруберах, і пил із фільтрів.

Можливі технології зменшення викидів ПХДД/Ф наведені нижче.

- Технологія із застосуванням активованого вугілля: активоване вугілля, додане до гідрату кальцію (або вапна, бікарбонату натрію тощо), довело свою ефективність як адсорбент на заводах із виплавки вторинного алюмінію, що використовують сировину, що містить метал з органічними домішками. Активоване вугілля також використовується на заводі з виплавки первинної міді, де також відновлюється низка інших металів, дрібнозернисте активоване вугілля зв'язує ПХДД/Ф і видаляється тканинними або електростатичними фільтрами. Кількість та склад добавки значною мірою залежать від умов технологічного процесу, походження та складу вихідних матеріалів. Щоб зменшити потребу в адсорбенті, необхідно повертати всю або частину пилу з фільтра в технологічний процес. Крім того, необхідну кількість адсорбенту необхідно відрегулювати залежно від характеру викидів заводу. Щодо витрати сорбенту, оптимізовані розчини повинні бути індивідуально протестовані залежно від технології виплавки, що використовується в кожному конкретному випадку.
- Умови горіння: покращення умов горіння може передбачати використання збагаченого повітря або чистого кисню, покращене більш ефективне змішування кисню з горючими речовинами та підвищення температури згоряння або часу обробки за високих температур.
- Термічне допалювання або використання пристроїв допалювання: спалювання відхідного газу з подальшим швидким охолодженням гарячого газу також мінімізує утворення ПХДД/Ф. Системи каталітичного окиснення також доступні для знищення ПХДД/Ф.
- Зниження вмісту органічних речовин: видалення органічних забруднювачів (наприклад, моторної оливи, лакофарбових матеріалів) з вихідного матеріалу також є заходом для зниження утворення ПХДД/Ф.
- Вдування кисню у верхню зону печі: використовується в технологічному процесі, коли немає місця для встановлення допалювача. Існують деякі обмеження щодо ступеня змішування газів, але загальна ефективність є прийнятною.

Модифікація систем завантаження печей: було здійснено модифікації задля забезпечення можливості подавати сировину в напівзакриті печі невеликими, рівномірними кількостями. Це дає змогу зменшити охолодження печі під час завантаження, підтримувати вищі температури газу, оптимізувати процес і запобігти утворенню ПХДД/Ф [233, COM 2008]

- Високоефективна система фільтрування пилу для видалення пилу та ПХДД/Ф: ПХДД/Ф можуть абсорбуватися пилом та видалятися за допомогою високоефективної системи фільтрування пилу. Повідомлялося, що доступні тканинні фільтри з каталітичним шаром.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів ПХДД/Ф та CO.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії (необхідної для отримання кисню).
- Уловлений пил може мати високі концентрації ПХДД/Ф, і може знадобитися його утилізація або ретельна обробка шляхом повернення пилу в піч.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Економічні аспекти
Немає даних щодо всіх процесів, але технологія, яка використовується у Франції у виробництві вторинного алюмінію, призводить до таких витрат:

- Загальні інвестиційні витрати становили близько 485 000 євро як для киснево-паливних пальників, так і для додавання буровугільного коксу. Вартість лише додавання коксу становила 183 000 євро.
- Експлуатаційні витрати на вимірювання та контроль становили 36 400 євро.
- Також було досягнуто економії витрат у розмірі 23 євро на тонну, що становить 300 000 євро на рік. Отже, строк окупності становить менше двох років.

Стимул до впровадження
Дотримання дозволів на викид відходів у довкілля.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[121, Rentz, O. et al. 1999], [234, UBA (D) 2007], [256, Winter 2007], [249, Austria, Brixlegg 2007], [276, Schmitt G. 2008], [178, UBA (A) 1998].

2.12.5.4 Технології зменшення викидів діоксиду сірки

У подальших розділах описуються технології, які слід розглянути під час визначення НДТ для видалення діоксиду сірки з відпрацьованих газів заводу з виплавки кольорових металів, на додаток до тих, про які повідомляється в Довідковій документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива [339, COM 2007].

2.12.5.4.1 Установки з виробництва сірчаної кислоти з подвійним контактуванням/подвійною абсорбцією, що працюють за різних характеристик газу

Опис
У цьому процесі, діоксид сірки в газі потім перетворюється на триоксид сірки в контактному процесі, коли гази пропускають через шар каталізатора пентоксиду ванадію. Іноді каталізатор доповнюється оксидом цезію, що покращує характеристики, особливо за низької та непостійної концентрації SO_2 або за низької температури. Використовуються установки однократного та подвійного контактування/подвійної абсорбції, останні застосовуються частіше.

Технічний опис
Установка з виробництва сірчаної кислоти подвійного контактування/подвійної абсорбції передбачає секцію газоочищення та промивання, а також контактну установку з чотирма проходами. У ній використається сучасний каталізатор, активований оксидом цезію.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів SO_2.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані щодо деяких установок із виробництва сірчаної кислоти, що працюють за різних характеристик газу, показані в Таблиці 2.16. Досягається високий коефіцієнт перетворення діоксиду сірки, що призводить до зменшення викидів (див. Таблицю 2.17). Коефіцієнт перетворення від 99,7% до 99,85% досягається за рахунок нещодавно модернізованої установки протягом тривалого періоду усереднення. [331, Chmielarz A. et al. 2009]

Таблиця 2.16: Установки з виробництва сірчаної кислоти, що працюють за різних характеристик газу

Інформація щодо установки з виробництва сірчаної кислоти (з додатковими заходами для боротьби з викидами, якщо вони зазначені в Типі процесу, та установками, що працюють у звичайному режимі)											
Компанія	**Джерело SO_2**	**Рядок**	**Потужність (т/день)**	**Тип процесу**	**Кількість шарів**	**Каталізатор активований Cs**	**Об'єм SO_2 на вході. (%)**	**Коефіцієнт перетворення (%)**	**SO_2 на рік у середньому ($мг/м^3$)**	**SO_2 на день у середньому ($мг/м^3$)**	**SO_2 макс. 1/2 год у середньому ($мг/м^3$)**
Atlantic Copper, Уельва	Піч зваженої плавки й конвертер Пірса Сміта	1	2200	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	5	Частково четвертий шар	5–11,5	99,7–99,83	500–00	400–800	До 1000
		2	600		4	Останній шар	5,5–8,5	99,7	500–700	400–800	До 1200
		3	1300		5	Немає	5–10	99,7–99,8	500–800	До 900	До 1200
KGHM Глогув 1	Конвертер Hoboken	НД	700	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Немає	4,5–8	99,8	300–800	НЗ	800
KGHM Глогув 2	Піч зваженої плавки (для Cu) Піч Kaldo (для Ag)	НД	900	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Немає	6–8	99,9	300–800	НЗ	800
Aurubis AG, Гамбург	Піч зваженої плавки й конвертер Пірса Сміта	1	1300	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Перший та останній шар	5–12	99,7–99,8	500–800	До 900	До 1200
		2	1300		4	Перший та останній шар	5–12	99,7–99,8			
		3	1300		5	Перший шар	5–12	99,8			
Примітка: НП = не передбачено; НЗ = не зазначено.											

Інформація про функціонування наведена в Таблиці 2.17. Концентрація SO_X варіюється від 5% до 12%.

Таблиця 2.17: Інформація щодо ефективності установки з виробництва сірчаної кислоти, що працює в змінних умовах

Компонент	Вимірювані значення	
Обсяг відхідного газу:	320 000	($Нм^3$/год)
SO_2	100–770	(мг/$нм^3$)
SO_3	20–50	(мг/$нм^3$)
NO_X (у перерахунку на NO_2)	20–45	(мг/$нм^3$)
Cl^- (у вигляді HCl)	2–7	(мг/$нм^3$)
F^- (у вигляді HF)	1–4	(мг/$нм^3$)
Залишковий пил	< 2	(мг/$нм^3$)
Діапазон залишкового пилу	1–7	(мг/$нм^3$)
Діапазон компонентів:		
Cd	< 0,01–0,02	(мг/$нм^3$)
Hg	< 0,01–0,07	(мг/$нм^3$)
Tl	< 0,01–0,02	(мг/$нм^3$)
As	< 0,01–0,1	(мг/$нм^3$)
Se	< 0,01–0,02	(мг/$нм^3$)
Sb	< 0,01–0,03	(мг/$нм^3$)
Pb	< 0,01–0,15	(мг/$нм^3$)
Cu	< 0,01–0,09	(мг/$нм^3$)
ПХДД/ПХДФ	0,001–0,01	(нг МТЕ/$нм^3$)
Джерело: [238, ECI 2012], [228, COM 2007] [233, COM 2008], [231, COM 2007]		

Для наявних установок зі змінною концентрацією SO_2 на вході досягається коефіцієнт перетворення > 99,7 %.
Lurgi (Outotec) [344, Outotec 2010] надала нові дані щодо модернізації наявних установок із виробництва сірчаної кислоти, про які повідомлялося в Довідковій документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива [339, COM 2007]. Повідомляється, що додавання п'ятого шару дає змогу досягти такого ж покращення перетворення, як і перехід на каталізатор, активований цезієм в останньому шарі чотирипрохідної установки.

У промивній секції утворюється 12-15 $м^3$/год слабкої кислоти (5% H_2SO_4), яку зазвичай спрямовують на нейтралізацію, але в деяких випадках її можна використовувати для термічного розкладання кислотного зливу.

Вплив на різні компоненти довкілля
Утворення твердих відходів та слабкої кислоти, що потребують обробки та/або утилізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ці технології застосовуються до більшості наявних установок.

Економічні аспекти
Витрати у 2002 р. на піч для випалювання цинкового концентрату (550 т цинкового концентрату на добу), котел-утилізатор та на установку з очищення відпрацьованих вод, установку газоочищення, обробку слабкої кислоти та нову установку з виробництва сірчаної кислоти подвійного контактування/подвійної абсорбції, що виробляла 148 000 т/рік, становили 40 млн євро.

Інші витрати на зміну наявних установок у секторі виробництва міді наведено в Таблиці 2.18.

Таблиця 2.18: Витрати на зміну наявних установок із виробництва сірчаної кислоти

Рік	Технологія	Орієнтовні витрати	Джерело
2009	Додавання 5-го шару (від 2+2 до 3+2) до наявної установки потужністю 120 000 $м^3$/год та концентрацією SO_2 на вході 11 % зі збільшенням потужності повітродувки	10 мільйонів євро	Оновлена інформація про витрати, надана Lurgi (Outotec)
2009	Заміна каталізатора у 4-му шарі для включення активованого цезієм каталізатора на двох наявних установках потужністю 120 000 $м^3$/год та концентрацією SO_2 на вході 11% – без урахування витрат на заміну теплообмінника	800 000 євро	Оновлена інформація про витрати, надана Lurgi (Outotec)
2009	Скрубер H_2O_2 для установки з виробництва кислоти потужністю 1 000 000 т кислоти/рік	30 мільйонів євро	Оновлена інформація про витрати, надана Lurgi (Outotec)

Стимул до впровадження
- Виробництво сірчаної кислоти на продаж.
- Необхідна економічна ефективність.

Приклади заводів
Гамбург (Німеччина), Глогув (Польща) та Уельва (Іспанія)

Довідкова література
[121, Rentz, O. et al. 1999], [331, Chmielarz A. et al. 2009], [253, Eurometaux 2008]

2.12.5.4.2 Модернізовані установки з виробництва сірчаної кислоти з нижчими коливаннями концентрації SO_2 на вході, пов'язані з виробництвом кольорових металів

Опис
Див. нижче.

Технічний опис
Установка виробництва сірчаної кислоти подвійного контактування/подвійної абсорбції використовується для обробки відхідних газів печі зваженої плавки та зваженого конвертування Outotec із концентрацією SO_2 на вході 30–40 %. Установка має чотири проходи та проміжну абсорбцію після третього проходу. Використовується сучасний каталізатор. Є система рекуперації тепла у вигляді пари після першого проходу.

Інші установки у Швеції та Нідерландах використовують п'ятипрохідну кислотну установку. Досягається значне зниження концентрації SO_2 (60–150 мг/$нм^3$ SO_2 у залишкових газах, у середньому за рік) без очищення залишкових газів у скрубері. Відомо, що установки функціонують із потужністю, нижчою за проєктну потужність; установка в Нідерландах повідомила про середньорічні викиди 30–80 мг/$Нм^3$ за концентрації газу на вході 7% SO_2. Інші зміни, такі як оптимізація послідовності проходження газу через проходи та використання цезієвого каталізатора на першому та останньому проходах, оптимізують потужність [227, IZA Report 2008], [240, Nyrstar Budel 2008], [228, COM 2007], [233, COM 2008].

Повідомляється, що деякі установки працюють із потужністю, нижчою за проєктну.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів SO_2.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані з деяких модернізованих установок із виробництва сірчаної кислоти, пов'язаних із виробництвом кольорових металів, показано у Таблиці 2.19.

Таблиця 2.19: Модернізовані установки з виробництва сірчаної кислоти з нижчими коливаннями концентрації SO_2 на вході, пов'язані з виробництвом кольорових металів

Інформація щодо установки з виробництва сірчаної кислоти (з додатковими заходами для боротьби з викидами, якщо вони зазначені в Типі процесу, та установками, що працюють у звичайному режимі)										
Компанія	**Джерело SO_2**	**Потужність (т/день)**	**Тип процесу**	**Кількість шарів**	**Каталізатор активований Cs**	**SO_2 на вході об'єм (%)**	**Коефіцієнт перетворення (%)**	**SO_2 у середньому на рік (мг/м^3)**	**SO_2 у середньому на день (мг/м^3)**	**SO_2 макс. 1/2 год у середньому (мг/м^3)**
Boliden, Рьоннскяр	Піч для випалювання, плавильна піч, піч зваженої плавки, конвертер Пірса Сміта	2000	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	5	Останній шар	7–10,5	99,97	100–160	НЗ	НЗ
Umicore, Хобокен	ISASME LT	360	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Останній шар	Мін. < 1 Макс. 7–10	> 99,7	80	140–180	До 300
KCM, Пловдив	Піч для випалювання Zn	440	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	4	Останній шар	6–7,5	99,8–99,85	140–280	НЗ	До 360
Nyrstar, Бюдел	Піч для випалювання у псевдозрідженому шарі (цинковий концентрат)	1000	Подвійне контактування/ подвійна абсорбція	5	Так	5–7,2 (низьке коливання конц. на вході)	<99,97	50–80	НЗ	НЗ
Примітка: НЗ = Не зазначено										

Максимальне перетворення діоксиду сірки дає викиди в діапазоні від 60 мг/нм^3 до 150 мг/нм^3 SO_2 у залишкових газах у середньому за рік.

Шляхом розведення до 14% SO_2 на вході в сушильну колонну та середньорічному потоці 171 300 Нм^3/год на сучасних установках досягається коефіцієнт перетворення понад 99,9%. Ці установки засновані на постійного подання великої кількості діоксиду сірки та використовують каталізатор, допійований цезієм.

На голландській установці концентрат із низьким вмістом заліза дає змогу випалювальній печі працювати в стаціонарних умовах, що, у поєднанні з дуже низькими коливаннями вмісту сірки, забезпечує отримування рівномірної концентрації SO_2. Така постійна газонасиченість сприяє роботі пов'язаної установки з виробництва сірчаної кислоти з високою ефективністю перетворення. Установка працює з потужністю, нижчою нижче за проєктну.

На шведській установці також виробляється рідкий SO_2, що дає змогу підтримувати рівномірний вміст газу. Установка також працює з потужністю, нижчою нижче за проєктну.

Вплив на різні компоненти довкілля
Утворюються тверді відходи та слабкі кислоти, що потребують обробки та утилізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ці технології застосовуються до нових або модернізованих установок із невеликим коливанням концентрації газу на вході.

Економічні аспекти
Інформацію не надано, але відомо, що установки працюють ефективно.

Стимул до впровадження
Виробництво сірчаної кислоти на продаж. Необхідна економічна ефективність.

Приклади заводів
Бюдел (Нідерланди), Рьоннскяр (Швеція), Хобокен (Бельгія) та Пловдив (Болгарія).

Довідкова література
[137, Riekkola-Vanhanen, M. 1999], [274, COM 2008], [253, Eurometaux 2008]

2.12.5.4.3 Виробництво рідкого діоксиду сірки з відхідних газів із високим вмістом SO_2

Опис
Діоксид сірки абсорбується в холодній воді (наприклад, холодній морській воді) з подальшим вакуумним очищенням та відновленням у вигляді рідкого діоксиду сірки.

Технічний опис
Ці процеси використовується за участі заводу із виробництва сірчаної кислоти для вилучення нерозчиненого діоксиду сірки. Потенціал виробництва рідкого діоксиду сірки залежить від наявності місцевого ринку. Процес виробництва рідкого діоксиду сірки показано на Рисунку 2.30. Рідкий діоксид сірки також виробляється з використанням кріогенного процесу.

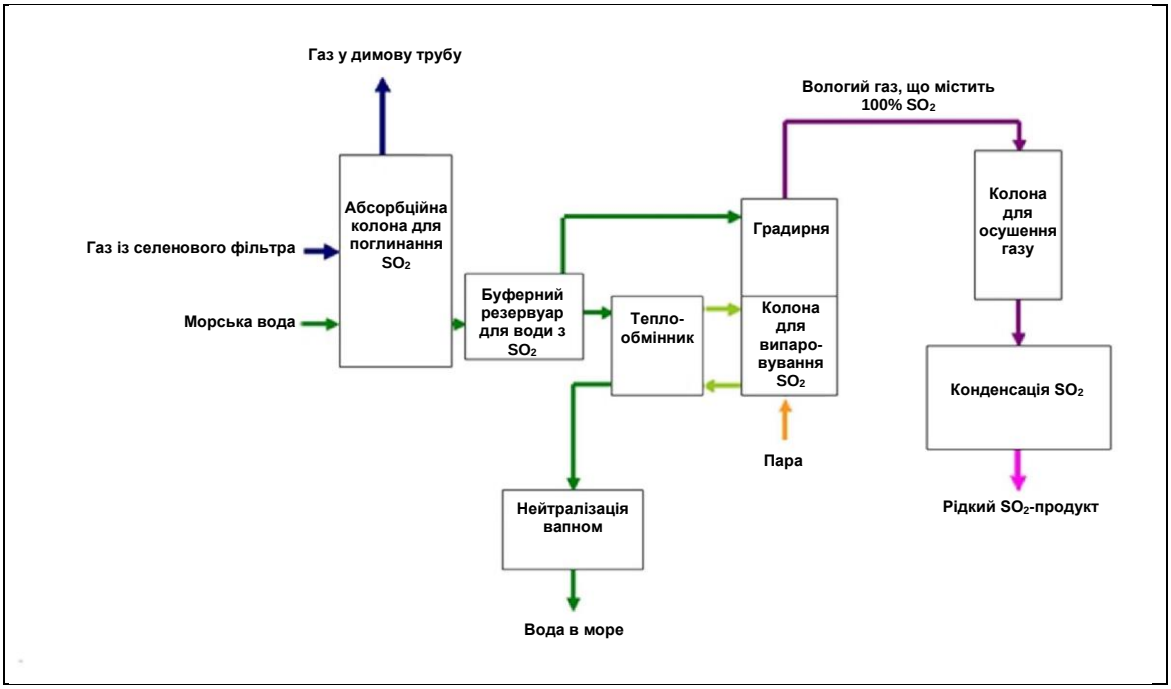


Рисунок 2.30: Процес виробництва рідкого діоксиду сірки

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів SO_2.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Забезпечення подання діоксиду сірки, який можна використовувати для підтримання постійної концентрації на вході на установці з виробництва сірчаної кислоти. Середньорічні викиди діоксиду сірки показані в Таблиці 2.20.

Таблиця 2.20: Середньорічні викиди діоксиду сірки компанії Boliden

Рік	Концентрація залишкового газу (мг/нм^3)
2006	213
2007	155
2008	153
2009	124
Джерело: [233, COM 2008]	

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Застосовується до установок, де наявний місцевий ринок рідкого діоксиду сірки.

Економічні аспекти
Відомо, що одна установка ефективно працює.

Стимул до впровадження
Виробництво діоксиду сірки на продаж.

Приклади заводів
Boliden (Швеція).

Довідкова література
[233, COM 2008]

2.12.5.4.4 Використання десульфуризації димових газів для відхідних газів із низьким вмістом SO_2

Опис
Використання сухих та напівсухих скруберів (див. Розділ 2.12.5.2.3), що використовуються для видалення SO_2, відоме як технологія десульфуризації димових газів (ДДГ).

Технічний опис
Одним із найбільш часто застосовуваних методів ДДГ є вдування вапна (кілька прикладів наведено в главах, присвячених конкретним металам, наприклад, див. Розділ 3.3.3.9).

Також відомо про використання в деяких випадках (наприклад, в установках із вельц-піччю або піччю ISF під час використання вельц-оксиду) іншої системи ДДГ, що складається зі скрубера, абсорбера та системи для контакту газів із циркулівною суспензією вапняку. Скрубер працює в прямоструминній фазі для охолодження, зволоження та часткової десульфуризації газів. За ним встановлена протиструминна абсорбційна колона для зниження кінцевої концентрації SO_2 до рівня нижче необхідного.

Гази, що містять діоксид сірки, обробляються в установці ДДГ, у якій у якості сорбенту SO_2 використовується суспензія подрібненого карбонату кальцію (вапняк, < 40 мікронів) для отримання чистого гіпсу. Гази охолоджуються, знепилюються в тканинному фільтрі та надходять у систему десульфуризації. Після десульфурації гази направляються у двоступеневий краплевловлювач, а потім у димову трубу. Гіпс витягується із суспензії, отриманої в результаті процесу ДДГ, і продається.
У цьому випадку суспензія вапняку, що циркулює, перекачується з окремих резервуарів, обладнаних механічними мішалками; резервуар скрубера також обладнаний системою вентилювання. Резервуари розраховані на повну реакцію абсорбованого SO_2 із суспензією $CaCO_3$, окиснення сполук сірки до сульфатів та утворення грубого кристалічного залишку синтезованого гіпсу $CaSO_4\ 2H_2O$. Стиснене повітря подається в резервуар скрубера через пневмогідравлічний аератор для покращення окиснення сульфітів до сульфатів. Шлам від реакції з першого ступеня абсорбції, що містить в основному сульфат кальцію (гіпс), направляється до системи фільтрації. Гіпс після зневоднення на фільтрувальному пресі вивантажується безпосередньо в контейнер для зберігання, розташований під пресом, звідки транспортується на склад, а потім продається.

Інші процеси очищення газів із низьким вмістом SO_2 описані в Розділах 2.12.5.2.2 та 2.12.5.2.3.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів SO_2. Ефективність видалення SO_2 знаходиться в діапазоні від 50 до 95%. Показник видалення у верхній границі цього діапазону можливий лише в ідеальних умовах на нещодавно спроєктованих спеціалізованих установках.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Для системи ДДГ, яка, як відомо, використовується в установці з вельц-піччю та піччю ISF під час використання вельц-оксиду, кінцевий діапазон концентрації SO_2 становить 100-500 мг/нм^3, водночас вміст SO_2 на вході процесу ДДГ становить 2-6 г/нм^3. Повідомляється, що кінцева концентрація SO_2 50-400 мг/Нм^3 є найкращим показником [331, Chmielarz A. et al. 2009], [346, Eurometaux 2010].

Вплив на різні компоненти довкілля
- Додаткове використання енергії та карбонату кальцію.
- Якщо продаж чистого гіпсу неможливий, утворюються відходи.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Застосовується для нових установок. У разі використання наявного газоочисного обладнання з тканинним фільтром, призначеним для видалення технологічного пилу, його можна використовувати для уловлювання гіпсу, якщо це забезпечується пропускною здатністю фільтра. Коли фільтр уже використовується, можливе пряме вдування, якщо це дозволяють температура, вміст вологи та час контактування. Наявної фільтрувальної установки може бути недостатньою, оскільки кількість пилу різко зростає, і тому може знадобитися його заміна.

Система ДДГ, яка, як відомо, використовується в установці з вельц-піччю й піччю ISF під час використання вельц-оксиду, застосовна до всіх процесів, у яких вміст SO_2 на вході процесу ДДГ становить 2–15 г/нм^3 (приблизно 0,05-0,5 %), за умови, що існує ринок для виробленого гіпсу.

Економічні аспекти
Інвестиційні витрати на установки з вдування вапна зазначені в главах, присвячених конкретним металам.

Для системи ДДГ, яка, як відомо, використовується в установці з вельц-піччю та піччю ISF під час використання вельц-оксиду, потужністю 85 000 нм^3/год та середнім вмістом SO_2 на вході 15 г/нм^3, капітальні витрати у 2008 р. склали 14 млн злотих, що еквівалентно 4 мільйонам євро. Експлуатаційні витрати становлять приблизно 2100 євро на день.

Стимули для впровадження
Зменшення викидів SO_2.

Приклади заводів
- Вдування вапна: Хобокен (Бельгія), Бресе (Бельгія), Гамбург (Німеччина) та Бергсе (Швеція).
- Інші технології ДДГ: Мястечко-Шльонеське та Болеслав (Польща).

Довідкова література
[331, Chmielarz A. et al. 2009], [346, Eurometaux 2010]

2.12.5.4.5 Процес абсорбції/десорбції на поліефірній основі для уловлювання сірки з відхідних газів із низьким вмістом SO_2 (< 1 %)

Опис
Див. нижче.

Технічний опис
Комбінація електростанції, установки з виробництва сірчаної кислоти однократного контактування та процесу відновлення діоксиду сірки використовується для мінімізації викидів SO_2 в атмосферу як від палива, так і від металевого концентрату, а також для рекуперації енергії у вигляді тепла та монооксиду вуглецю.

Досягнуті екологічні переваги
Рекуперація тепла та CO. Зменшення викидів SO_2.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Відпрацьовані гази доменних печей мідеплавильного заводу мають порівняно високу концентрацію монооксиду вуглецю (близько 10%) і також містять тепло від технологічного процесу. Таким чином, відпрацьовані гази є цінним джерелом енергії, але вони також містять SO_2. Гази передаються на місцеві електростанції як додаткове паливо, а також для рекуперації теплової потужності. Отже, димові гази, що викидаються електростанцією, містять SO_2 як з доменної печі, так і з палива, і проходять подальшу обробку на установці абсорбції/десорбції на поліефірній основі, яка використовує процес абсорбції/десорбції для отримання газу з високим вмістом SO_2. Цей газ перетворюється на сірчану кислоту на установці однократного контактування. У результаті цього процесу утворюються гази, що містять менше ніж 200–600 мг/Нм^3 SO_2, і які викидаються в повітря [238, ECI 2012].

Відпрацьовані гази з плавильного заводу після етапу перетворення мають концентрацію SO_2 в діапазоні від 5% до 12%. Їх очищають, а потім змішують із концентрованим газом з установки абсорбції/десорбції на поліефірній основі, розводять до 12% і направляють на установку з виробництва сірчаної кислоти. Ця установка виробляє сірчану кислоту і відхідні гази із вмістом SO^2 6–8 г/Нм$_3$, які потім направляються на установку абсорбції/десорбції на поліефірній основі для відновлення.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Утворення слабкої кислоти та відпрацьованих вод у процесі газоочищення, що потребують обробки.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується до певних типів концентратів із низьким вмістом сірки. Необхідно, щоб поряд була електростанція.

Економічні аспекти
Інформацію не надано, але відомо, що технологія є дорогою.

Стимул до впровадження
Необхідна економічна ефективність.

Приклади заводів
Легниця (Польща)

Довідкова література
[238, ECI 2012]

2.12.5.5 Технології зменшення викидів ртуті

Опис
Комплекс технологій зменшення викидів ртуті в атмосферу.

Технічний опис
Ртуть легко випаровується за температур, які застосовуються в більшості процесів боротьби з викидами, відповідно, для її видалення можуть знадобитися інші технології [25, OSPARCOM 1996] [136, Fugleberg, S. 1999].

У разі видалення ртуті перед установкою з виробництва сірчаної кислоти у виробленій кислоті буде присутня будь-яка залишкова ртуть; відповідно технічних вимог до продукту вміст зазвичай становить від < 0,1 ppm до 0,5 ppm, що еквівалентно ~ 0,02 мг/Нм^3 в очищеному газі. Повідомляється, що всі процеси, наведені нижче, забезпечують цей рівень.

- Процес Boliden-Norzink: цей процес заснований на використанні мокрого скрубера, у якому використовується реакція між хлоридом ртуті та ртуттю, у результаті якої утворюється хлорид ртуті (каломелю), який осаджується зі змочувальної рідини. Процес відбувається після етапу промивання та охолодження на кислотній установці, тому газ не містить пилу та SO_3, а температура становить близько 30 °C. Газ очищається розчином $HgCl_2$ у колоні з насадкою. Він вступає в реакцію з металевою ртуттю в газі й осаджує її у вигляді каломелю (Hg_2Cl_2). Каломель видаляється з циркулівного змочувального розчину й частково регенерується газоподібним хлором до $HgCl_2$, який потім повертається на етап промивання. Вироблений ртутний продукт використовується для виробництва ртуті, або передається на зберігання. Хлорид ртуті є дуже токсичною сполукою ртуті, і під час проведення цього процесу необхідно дотримуватися запобіжних заходів. Процес Bolchem: цей процес проводиться на кислотній установці, як і процес Boliden-Norzink, але вилучення здійснюється за допомогою 99% сірчаної кислоти. Ця кислота надходить з абсорбційної секції кислотної установки та окиснює ртуть за температури довкілля. Отримана кислота, що містить ртуть, розводиться до 80% і ртуть осаджується у вигляді сульфіду з тіосульфатом. Після фільтрування сульфіду ртуті кислоту повертають на стадію абсорбції. Відповідно, кислота в процесі не витрачається.
- Процес Outotec: у цьому процесі ртуть видаляється перед етапом промивання на

кислотній установці. Газ за температури близько 350°C проходить через колону з насадкою, де він промивається зустрічним струменем 90%-ної сірчаної кислоти за температури близько 190°C. Кислота утворюється *на місці* з SO_3, що міститься в газі. Ртуть осаджується у вигляді сполуки хлориду селену. Ртутний осад видаляється з охолодженої кислоти, фільтрується, промивається та спрямовується на виробництво металевої ртуті. Потім частина кислоти повертається на етап очищення. В іншому варіанті цього процесу ртуть видаляють із газів шляхом промивання розчином іонів селену, і разом із селенідом ртуті утворюється металевий селен.

- Процес із використанням тіоціанату натрію: цей процес використовується в печі для випалювання цинку. Газ SO_2 промивається розчином тіоціанату натрію та видаляється ртуть у вигляді сульфіду. Тіоціанат натрію регенерується, реакція показана у формулі:

$$3Hg + 8SCN^- + 4H^+ + SO_2 \Rightarrow 2(Hg(SCN)_4)^{2-} + HgS + 2H_2O$$

- Фільтр із активованим вугіллям (процес Lurgi): застосування адсорбційного фільтра, який використовує активоване вугілля для видалення пари ртуті з газового потоку.

Процеси Boliden-Norzink та Outotec, детально описані вище, використовуються найчастіше, але повідомляється і про використання інших процесів [25, OSPARCOM 1996] [330, Petola H. et al. 1985]

- Селеновий скрубер: процес також заснований на використанні мокрого скрубера та реакції між аморфним селеном у сірчаній кислоті та ртуттю для видалення високих концентрацій парів ртуті.
- Селеновий фільтр: процес сухого очищення, у якому використовується аморфний селен для реакції з парами ртуті для утворення селеніду ртуті.
- Процес із використанням сульфіду свинцю: процес сухого очищення з використанням гранул сульфіду свинцю для видалення ртуті з газового потоку.
- Процес Tinfos/Miltec: процес очищення від ртуті, заснований на окисненні ртуті у відхідних газах із використанням гіпохлориту натрію. Після окиснення у промивній колоні ртуть осаджується у вигляді сульфіду ртуті (HgS) внаслідок додавання динатрію сульфіду. Сульфід ртуті видаляється із процесу у фільтрпресі. Осад, що містить ртуть, обробляється як небезпечні відходи та утилізується на герметичному майданчику для захоронення. Викиди ртуті зменшуються приблизно на 94%. [226, Nordic Report 2008]
- Процес очищення від ртуті Lurgi: установка Lurgi для видалення ртуті складається з електростатичного фільтра для видалення залишкового пилу та смол, нагрівача газу, абсорбера з насадкою, системи вентилятора-заслінки для контролю потоку газу, що проходить через установку, та обладнання для комплексного аналізу газу на основі продування азотом для підтримки низького рівня кисню в газі. Нагрівач необхідний для підігріву газів до оптимальної температури 60-85 °C; нижчі температури газу призводять до зниження швидкості реакції та конденсації вологи в насадці, а більш високі температури можуть призвести до втрати сірки з абсорбенту. Компанія Eramet запустила в експлуатацію установку для видалення ртуті у 2001 році та відтоді працює без перебоїв. Об'єм газового потоку, що проходить через установку, становить близько 15 000 $Нм^3$/годину. Ефективність поглинання ртуті становить 98%. З урахуванням запуску установок тощо, уловлюється 94% всієї ртуті в неочищених газах. Насадка абсорбера замінюється приблизно через вісім місяців експлуатації та надійно утилізується. Повідомляється лише про незначну кількість ртуті у воді скрубера [226, Nordic Report 2008]
- Процес Boliden Contech: у насадці використовуються покриті селеном кулі. Цей метод працює, але досвід застосування обмежений феросплавною промисловістю в скандинавських країнах.
- Процес Dowa: ртуть адсорбується на пемзу, покриту сульфідом свинцю.

Існують два інші процеси для зниження вмісту ртуті в сірчаній кислоті, яку отримують під час виробництва кольорових металів, але їхнє використання засноване на необхідності підвищення якості кислоти, а не на впливі на довкілля.

- Процес іонного обміну SuperLig: у цьому процесі використовується іонний обмін для видалення ртуті з виробленої кислоти та досягається концентрація ртуті < 0,5 ppm.

- Додавання йодиду калію до кислоти: концентрація повинна бути не менше 93% за температури близько 0 °C. У результаті осаджується йодид ртуті HgI_2.

Якщо виробництво кольорових металів не передбачає установки з виробництва сірчаної кислоти, технології, які зазвичай застосовуються для зменшення викидів ртуті, передбачають вибір сировини та введення активованого вугілля та/або іншого адсорбенту перед поданням у рукавний фільтр (описано в Розділі 2.12.5.2.3). Вміст ртуті у вихідному матеріалі, а також робочі цикли можуть призвести до більших або менших коливань вмісту у викидах.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів Hg.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Системи видалення ртуті, що застосовуються перед установкою з виробництва сірчаної кислоти, спрямовані на зниження вмісту ртуті у відхідних газах для забезпечення виробництва сірчаної кислоти високої якості. Однак системи видалення ртуті також можуть застосовуватися для зменшення викидів ртуті перед викидом через димову трубу.

Відповідно технічних вимог до продукту вміст зазвичай становить від < 0,1 ppm до 0,5 ppm у сірчаній кислоті, що еквівалентно < 0,02 мг/Нм^3 в очищеному газі. Цілі полягають у зменшенні викидів та вилученні ртуті, а також у виробництві безртутної сірчаної кислоти. Відповідно до Регламенту (ЄС) № 1102/2008 металева ртуть, отримана під час видобутку руд кольорових металів, процесів виплавки та видобута з кіноварної руди в Європейському Союзі, вважається відходами з 15 березня 2011 року.

У Таблиці 2.21 показані технології видалення ртуті, що застосовуються на заводах із виплавки міді, свинцю та цинку Boliden Rönnskär, та їхня ефективність.

Таблиця 2.21: Ефективність технологій видалення ртуті, які застосовуються в Boliden Rönnskär

Технологія	Потік (Нм^3/год)	Навантаження	До (мкг/нм^3)	Після (мкг/нм^3)	Ефективність очищення
Процес із використанням хлориду/процес Boliden-Norzink	30 000	Максимум	9879	30	99,7
		Мінімум	51	13	74
Фільтр Dowa	170 000	Максимум	50	1,4	97
		Мінімум	10,5	1,2	88
Селеновий фільтр	80 000	Максимум	1008	48	95
		Мінімум	42	12	71
Фільтр з активованим вугіллям	80 000	Максимум	1206	32	97
		Мінімум	37,2	2,7	93
Джерело: [379, Sweden 2013]					

Викиди ртуті, пов'язані з тими заводами з виробництва кольорових металів, які не передбачають виробництво сірчаної кислоти, вказані в главах, присвячених конкретним металам, і знаходяться в діапазоні від 0,02 мг/нм^3 до 0,05 мг/нм^3.На Рисунку 2.31 наданий огляд ефективності технологій, що застосовуються для зменшення викидів ртуті в повітря [378, Industrial NGOs 2012].

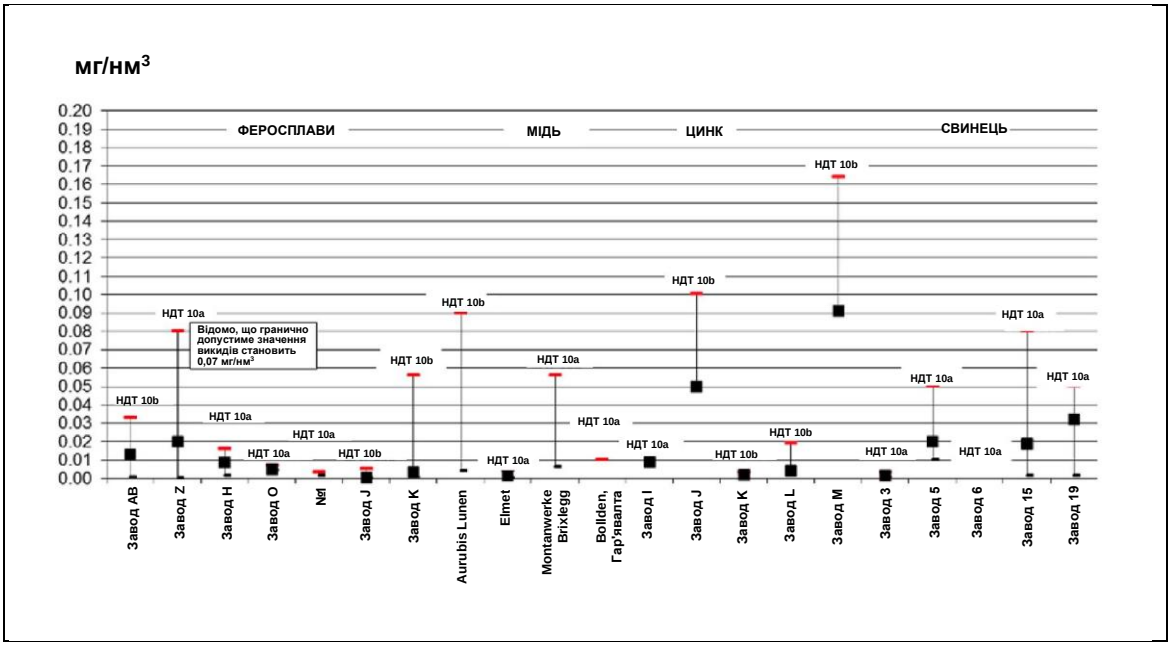


Рисунок 2.31: Викиди ртуті в повітря внаслідок різних процесів виробництва кольорових металів

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення енергоспоживання.
- Утворюються тверді або рідкі відходи, які потребують утилізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Застосовується в пірометалургійних процесах, де використовується сировина з вмістом ртуті.

Економічні аспекти
Відомо, що процеси працюють економічно ефективно, а витрати, якщо такі є, зазначені в Додатку 13.3 до цього документа.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Австрії, Франції, Бельгії та Польщі.

Довідкова література
[226, Nordic Report 2008] [25, OSPARCOM 1996] [136, Fugleberg, S. 1999], [218, VDI 2002] [292, Kojo et al. 2006] [103, COM 1998], [378, Industrial NGOs 2012] [226, Nordic Report 2008]

2.12.6 Водокористування та очищення стічних вод

2.12.6.1 Інтегровані у технологічний процес заходи

Опис
Технології та методи повторного використання води вже успішно застосовуються в кольоровій металургії для мінімізації кількості рідких відходів, що скидаються у вигляді стічних вод. Зменшення обсягу стічних вод іноді також економічно доцільно, оскільки зі зменшенням кількості стічних вод, що скидаються, також зменшується кількість прісної води, яку необхідно забирати з водного середовища. Це також позитивно впливає на питання, пов'язані з впливом на різні компоненти довкілля.

Технічний опис
У Таблиці 2.22 та Таблиці 2.23 показані етапи технологічних процесів, рідкі відходи з яких уже значною мірою переробляються та використовуються повторно.

Таблиця 2.22: Огляд видів відпрацьованих вод та технологій очищення та мінімізації

Джерело відпрацьованих вод	Пов'язаний із ними технологічний процес	Методи мінімізації	Методи очищення
Технологічна вода	Виробництво глинозему. Подрібнення свинцево-кислотних акумуляторів Травлення	Повернення до технологічного процесу, наскільки це можливо	Нейтралізація та осадження. Електроліз
Вода непрямого охолодження	Охолодження печі для більшості металів. Охолодження електроліту для Zn	Використання закритої системи охолодження. Моніторинг системи для виявлення витоків	Використання добавок із меншим потенційним впливом на довкілля
Вода прямого охолодження	Лиття Cu, Al та Pb. Вугільні електроди. Феросплави. Металевий хром	Відстоювання та інші види очищення. Замкнута система охолодження	Відстоювання. Осадження, якщо необхідно.
Гранулювання шлаку	Cu, Ni, Pb, дорогоцінні метали, феросплави	Повторне використання в закритій системі	Відстоювання. Осадження, якщо необхідно.
Електроліз	Cu, Ni, Zn, Mg	Закрита система. Електровідновлення злитого електроліту	Нейтралізація та осадження
Гідрометалургія (продувальна вода)	Zn, Cd	Закрита система. Очищення продувальної води	Відстоювання. Осадження, якщо необхідно.
Система боротьби з викидами (продувальна вода)	Мокрі скрубери. Мокрі електростатичні фільтри та скрубери для кислотних установок	Очищення продувальної води. Повторне використання потоків слабкої кислоти, якщо це можливо	Відстоювання. Осадження, якщо необхідно.
Поверхневі води	Усі	Очищення дворів та доріг. Належне зберігання сировини	Відстоювання. Осадження, якщо необхідно. Фільтрування

Таблиця 2.23: Приклади переробки та повторного використання

Переробка та/або повторне використання стічних вод у кольоровій металургії						
Джерело	Виробничий процес					
	Первинна мідь	Вторинна мідь	Первинний свинець	Вторинний свинець	Первинний цинк	Феросплави
Гранулювання шлаку	■	■	■	НД	■	■
Боротьба із забрудненням повітря вологого типу	■	■	■	■	■	■
Стічні води після промивки газу з печей для обпалювання	■	НД	■	НД	■	НД
Вода для охолодження	■	■	■	■	■	■
Вода для промивання анодів і катодів	■	■	НД	НД	■	НД
Відпрацьований електроліт	■	■	НД	НД	■	НД
Подрібнення акумуляторів	НД	НД	НД	■	НД	НД
Сортування акумуляторів	НД	НД	НД	■	НД	НД
Десульфуризація свинцевої пасти	НД	НД	НД	■	НД	НД
Примітка: НД = немає даних.						

Технології переробки та повторного використання є заходами, інтегрованими в процес. Переробка передбачає повернення рідини в технологічний процес, у якому вона була

утворена. Повторне використання стічних вод означає рециркуляцію води з одного джерела для іншої мети, наприклад, поверхневі стоки можуть бути повторно використані у якості води для охолодження.

Зазвичай у системі переробки необхідна базова технологія очищення або скидання приблизно 10% циркулівної рідини, щоби запобігти накопиченню завислих твердих частинок, металів та солей у системі рециркуляції. Наприклад, вода для охолодження, зазвичай повертається в процес через систему рециркуляції, як показано на Рисунку 2.32 нижче. Необхідно також враховувати використання біоцидів.

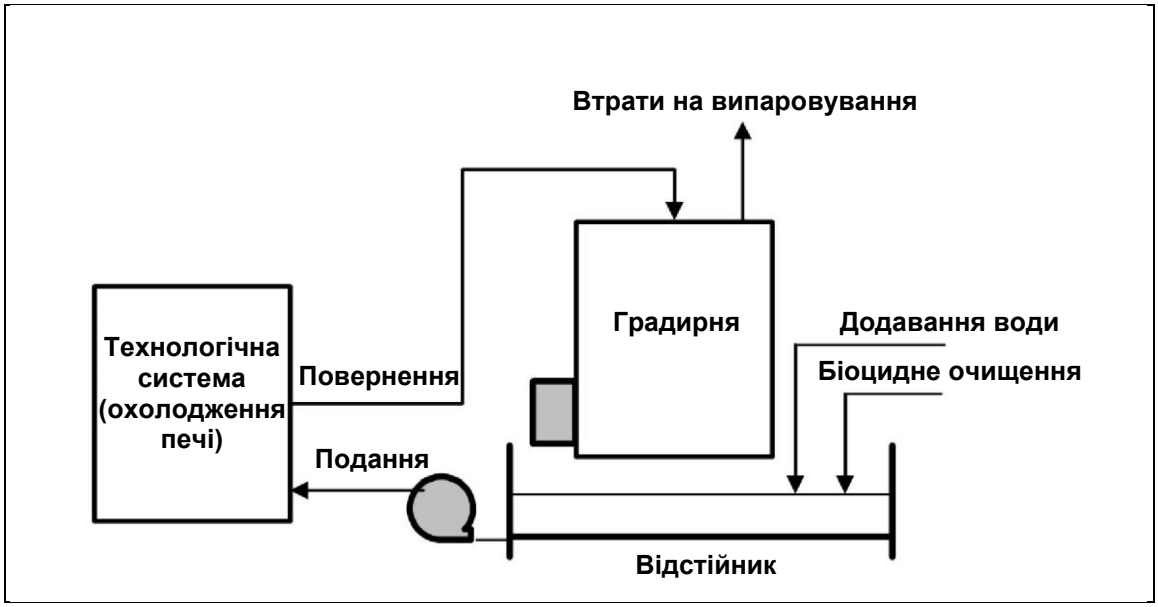


Рисунок 2.32: Приклад системи рециркуляції води для охолодження

Після обробки очищена вода також може бути повторно використана для охолодження, зрошування та деяких технологічних процесів. Вміст солей в очищеній воді може створити проблеми для повторного використання, наприклад, осадження кальцію у теплообмінниках. Також необхідно звернути увагу на ризик розвитку легіонели у теплій воді. Це може значно обмежити повторне використання води.

За наявності великої кількості води, наприклад, на прибережній території, можна використовувати проточну водяну систему охолодження за умови, що вплив на довкілля незначний. Проте, необхідно враховувати вплив на морське середовище в зоні забору проточної водяної системи охолодження. Обґрунтування цього підходу має здійснюватися на окремо для кожного об'єкта, оскільки необхідно збалансувати витрати на енергію для насосних систем та систем охолодження.

Отже, кількість води, що скидається, є проблемою, оскільки на деяких установках використовуються великі системи рециркуляції води. Один завод із виплавки міді повідомив, що щоденний об'єм скидання становить 3000 $м^3$/день, у той час, як подібні заводи, що не використовують рециркуляцію у тому ж обсязі, скидають понад 100 000 $м^3$/день. Таким чином, масові викиди забруднювальних речовин є фактором, який треба враховувати під час оцінки впливу скидання. [238, ECI 2012].

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання утворенню відпрацьованих вод.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Не повідомлено.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Використання енергії.
- Використання добавок, наприклад, хімічних речовин для осадження або біоцидів для підготовки додаткової води для охолодження.
- Шум, наприклад, від градирень.
- Передача тепла від води в повітря.
- Можливе розмноження легіонел у закритих системах за температури від 25°C до 60°C.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Переробка або повторне використання води можуть бути обмежені провідністю розчину.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Запобігання утворенню відпрацьованих вод.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[238, ECI 2012]

2.12.6.2 Технології очищення відпрацьованих вод

Будь-яка вода, що не підлягає повторній переробці або повторному використанню, повинна бути оброблена для мінімізування концентрації забруднювальних речовин, таких як метали, кислотні речовини та тверді частки, у кінцевих стічних водах, що скидаються у водне середовище. Щоби зменшити концентрацію забруднювальних речовин у воді, можна використовувати технології наприкінці виробничого циклу, наприклад, хімічне осадження, седиментацію або флотацію та фільтрацію. Ці технології зазвичай використовуються разом на кінцевих або центральних установках з очищення відпрацьованих вод на місці, але також можуть бути використані можливості осадження металів до того, як технологічний потік буде змішаний з іншими стічними водами.

Найбільш придатна технологія очищення або комбінація різних технологій очищення може обиратися виключно індивідуально для кожного конкретного об'єкта з урахуванням специфічних факторів. Найбільш важливими факторами для визначення найкращого способу мінімізації кількості відпрацьованих вод та концентрації забруднювальних речовин, є:

- технологічний процес, що є джерелом утворення відпрацьованих вод;
- кількість води;
- забруднювальні речовини та їхні концентрації;
- можливості внутрішнього повторного використання;
- наявність водних ресурсів.

У Таблиці 2.24 показані переваги та недоліки найпоширеніших технологій очищення.

Оскільки ці технології широко застосовуються в секторі, загальну інформацію про ці технології (наприклад, "Опис" та "Технічний опис") можна знайти в цьому розділі. Інформацію про конкретні метали (наприклад, "Екологічна ефективність і інформація про функціонування" та "Приклади заводів") можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Таблиця 2.24: Огляд переваг та недоліків поширених технологій очищення відпрацьованих вод

Технологія очищення	Переваги	Недоліки
Осадження	Дешева та проста технологія Довга історія успішного застосування Не потребує великих витрат на новому заводі Здатна обробляти широкий спектр металевих забруднень, особливо якщо використовується двоетапне осадження з використанням гідроксидних, а потім сульфідних реагентів. За правильних умов може забезпечити відмінне видалення металів Вказані осаджувальні реактиви наявні у продажу Допускає абсорбційне осадження Осади часто можуть бути повернені до вихідного матеріалу	Кислотні стоки важко піддаються очищенню Неселективне: дає осад із високим вмістом води, що містить суміш токсичних та нетоксичних металів Осад, можливо, доведеться утилізувати, що іноді пов'язано з великими витратами Присутність інших солей, органічних комплексоутворювачів та розчинників може серйозно знизити ефективність осадження Не завжди може використовуватися для обробки низьких концентрацій металів Деякі гідроксиди неефективно осаджуються
Седиментація	Дешева та проста технологія Довга історія успішного застосування	Може видаляти лише тверді частки Для часток із невеликою різницею густини з водою седиментація займає багато часу й потрібні великі басейни.
Фільтрування	Дешева та проста технологія Довга історія успішного застосування Фільтрування (наприклад, піщаний фільтр) найкраще підходить для відомої твердої речовини.	Може видаляти лише тверді частки Ефективність фільтрування знижується, якщо частки дуже дрібні Ефективність фільтрування знижується зі збільшенням швидкості
Флотація	Дешева та проста технологія Довга історія успішного застосування	Може видаляти лише плавучі комплекси твердих часток Повітря необхідно спочатку розчинити у воді під тиском для диспергування
Ультрафільтрація	Проста технологія Дуже дрібні частки, навіть молекули, можуть бути видалені з відпрацьованих вод Дуже тонкі мембрани також фільтруватимуть розчинені речовини розміром з метали Майже нульові викиди твердих речовин	Обмежена швидкість потоку та швидкість фільтрування Мембрани можуть швидко розкладатися в агресивних стічних водах Відсутність відокремлення металів Старі мембрани можуть протікати Мембрани легко забруднюються
Електроліз	Може використовуватися для відновлення та переробки металів Може використовуватись для очищення стічних вод із високою концентрацією металів (близько 2 г/л) за один етап Технологія здебільшого доступна Технологію випробувано та перевірено, та вона добре зарекомендувала себе в гальванічному виробництві Може використовуватися для одночасного очищення від органічних забруднень Може використовуватися в режимах періодичного або безперервного виробництва	Важко досягти рівня очищення вище рівня вимірювання у частках на мільйон Неефективні електролізери дорогі в обслуговуванні та експлуатації Електроліз неселективний Потрібен постійний моніторинг Погано справляється з очищенням зі змінним вмістом речовин, великими обсягами стічних вод.
Електродіаліз	Може використовуватися для відновлення та переробки металів Може бути селективним Вже використовується в опріснювальній та гальванічній промисловості Можливість очищення на рівні нижче рівня вимірювання у частках на мільйон	Має ті самі недоліки, що й методи іонного обміну (наприклад, забруднення мембрани). Потрібен постійний моніторинг Погано справляється з очищенням зі змінним вмістом речовин, великими обсягами стічних вод.

Зворотний осмос	Практично нульові викиди Технологія доступна, й обладнання наявне в продажу Може використовуватися для переробки металів Може застосовуватися в безперервному або періодичному виробництві Може працювати з великим діапазоном концентрацій металів Може використовуватися для видалення органічних речовин зі стічних вод Ефективність не сильно залежить від концентрації неагресивних забруднювальних речовин у стічних водах.	Обмежена швидкість потоку та швидкість фільтрування Мембрани можуть швидко розкладатися в агресивних стічних водах Відсутність відокремлення металів Старі мембрани можуть протікати Мембрани легко забруднюються Мембрани потребують постійного моніторингу та заміни Устаткування спеціалізоване та дороге Використовує високий тиск Обмеження мінімальної швидкості потоку близько 200 л/хв. Утворюється концентрований злив, який потребує подальшого очищення
Іонний обмін	Відносно недорогий Товарні продукти доступні Технологію випробувано та перевірено в промислових застосуваннях (наприклад, видалення та відновлення ренію та селену) Можливість очищення до рівня вимірювання в частках на мільярд (селективний іонний обмін здатний на рівень вимірювання у частках на трильйон) Може легко використовуватись у поєднанні з іншими технологіями (наприклад, осадження) як частина комплексного очищення відпрацьованих вод Може бути селективним до металів Може застосовуватися до багатьох типів виробництва: періодичного, безперервного, виробництва у відносно великих обсягах Селективний іонний обмін використовувався в окремих випадках, наприклад, під час очищення стічних вод атомної промисловості	Не справляється з великими концентраціями металу Матриця легко забруднюється твердими частками та деякими органічними речовинами Традиційний іонний обмін не є селективним. Відпрацьований теплообмінник повинен бути утилізований як токсичні відходи Матриці можуть розкладатися з часом Ефективність залежить від pH стічних вод Для великого обсягу стічних вод потрібні великі іонообмінні колони Селективний іонний обмін поки не знайшов широкого застосування в промислових масштабах Відновлення селективних іонообмінних колон потребує багато часу Може знадобитися тривале контактування зі стічними водами
Активоване вугілля	Може використовуватися для широкого спектра застосувань (наприклад, для видалення ртуті або ПХДД/Ф зі стічних вод) Може додаватися після коагуляції та седиментації як шар у піщаних фільтрах Технологія доступна, й обладнання наявне в продажу	Активоване вугілля є дорогим Активоване вугілля може стати середовищем для розмноження мікроорганізмів Високі викиди SO_2, що утворюються в процесі нагрівання під час виробництва вуглецю з вугілля

2.12.6.2.1 Хімічне осадження

Опис
Ця технологія полягає в додаванні реагенту, такого як вапно, гідроксид натрію або сульфід натрію, або комбінації реагентів, щоб відрегулювати значення pH і сприяти інтенсивності осадження розчинних металів.

Технічний опис
Хімічне осадження використовується насамперед для видалення розчинних іонів металів із рідких відходів. Розчинні метали можуть бути осаджені з відпрацьованих вод шляхом регулювання значення pH. Реагент, такий як вапно, гідроксид натрію або сульфід натрію або комбінацію реагентів додають до стічних вод, і утворюється нерозчинна сполука з металом у вигляді осаду. Потім ці нерозчинні сполуки можна видалити з води шляхом фільтрації та седиментації. Додавання коагулянту або флокулянту допомагає формувати більші пластівчасті згустки, які легше відокремити, і часто використовується для підвищення ефективності системи. Принаймні один завод використовує біологічний процес для отримання сірководню для осадження металів у вигляді сульфідів.

Осадження зазвичай використовується для видалення металів із потоку відпрацьованих вод, наприклад, для видалення заліза, свинцю, цинку, хрому, марганцю тощо. Гідроксиди металів зазвичай нерозчинні, тому для їхнього осадження зазвичай використовують вапно.

Сульфіди металів також є нерозчинними, і в лужному середовищі використовуються такі реагенти, як сульфід натрію, гідросульфід натрію і тримеркаптосульфотріазин (TMC). $H2_S$ також може бути отриманий біологічним шляхом із використанням сульфатвідновлювальних бактерій, а газ передається на стадію осадження за допомогою газу-носія. Осадження сульфідів може призвести до значно нижчих концентрацій деяких металів у очищених стічних водах залежно від pH та температури, а отриманий сульфід металу може бути повернений на етап виплавки. Такі метали як селен і молібден також можуть бути ефективно видалені.

Розчини сульфату цинку очищаються на етапі біологічного перетворення з використанням водню у якості донора електронів, який одержують шляхом перетворення природного газу та пари. Сульфід цинку утворюється зі швидкістю 10 тонн на день і повертається на плавильний завод.

У деяких випадках осадження суміші металів можна проводити у два етапи; спочатку шляхом осадження гідроксиду, а потім – сульфіду. Сульфат заліза може бути доданий після осадження для видалення надлишку сульфіду.

Щоб максимізувати ефективність видалення металів, процес необхідно проводити за різних значень pH з різними реагентами. Вибір реагенту та значення pH є основними факторами, які необхідно враховувати під час осадження металів. На розчинність впливає температура, і це необхідно враховувати.

Іншим важливим фактором є валентний стан металу у воді. Наприклад, для хрому шестивалентна форма, хромат, значно краще розчиняється, ніж тривалентна форма. У цьому випадку необхідно відновити хромат, зазвичай за допомогою SO_2 за низького значення pH, для видалення хрому в процесі осадження.

П'ятивалентний миш'як As (V) відновлюється до As (III) унаслідок реакції з іонами сульфіду, хоча може утворюватися деяка кількість As_2S_5. Відновлення As (V) залежить від температури та відбувається досить повільно, принаймні за температури нижче 50–60°C. Тривалентний миш'як As (III) осаджується у вигляді As_2S_3 із сульфідом за значення pH нижче 4–5. Осаджений As_2S_3 необхідно відокремлювати від води за значень pH нижче 4–5. Якщо pH підвищений і присутній As_2S_3, існує ризик повернення миш'яку в розчин.

У кольоровій металургії сліди металів можна ефективно видаляти зі стічних вод шляхом додавання солей тривалентного заліза. Миш'як видаляють у вигляді арсенату кальцію чи заліза шляхом осадження. Арсеніти також можуть бути осаджені, але вони зазвичай більш розчинні та менш стабільні, ніж арсенати. Стічні води, що містять арсеніт, зазвичай

окиснюють перед осадженням, щоб забезпечити переважання арсенату. Технологічна вода від обробки сировини, що містить миш'як, може містити різні кількості оксианіонів As(III) та (V), арсенітів та арсенатів. Присутність таких іонів металів, як мідь, свинець, нікель та цинк, обмежує розчинність миш'яку через утворення важкорозчинних арсенатів металів [295, European Commission 2004]. [295, Gaver C. Jr 2013]

Стабільність та розчинність цих арсенатів залежать від співвідношення заліза до миш'яку. Чим більше співвідношення, тим більш нерозчинним та стабільним є осад. Хоча арсенат заліза є відносно розчинним, основні арсенати з молярним співвідношенням заліза до миш'яку, рівним восьми або більше, є набагато менш розчинними за значень pH у діапазоні від 2 до 8.

Осадження нерозчинних арсенатів заліза супроводжується співосадженням інших металів, таких як селен, яке передбачає взаємодію між різними видами металів та осадом гідроксиду заліза. Це робить солі заліза дуже ефективним поглиначем для видалення мікродомішок. Миш'як осаджується у вигляді сполук Fe-As шляхом додавання сульфату заліза ($Fe_2(SO_4)_3$). Якщо значення pH складає 6 або нижче, миш'як може бути повністю осаджений. Одночасне осадження нікелю та миш'яку є складним процесом, тому потрібна двоетапна обробка.

Залежність осадження миш'яку від pH порівняно з оптимальними умовами для осадження інших металів (Ni, Cu тощо) означає, що є різні оптимальні значення pH, і неможливо досягти мінімального вмісту кожного металу в рамках одного процесу.

Останнім аспектом є можливе утворення комплексних іонів, які зазвичай більш розчинні. Це явище характерне під час роботи з відпрацьованими водами, що, окрім металів, містять аміак, хлориди, фториди або ціаніди.

На багатьох заводах, де видаляються метали, однією з основних проблем у досягненні бажаних граничних значень стічних вод є колоїдний стан осаджених матеріалів. Він може бути результатом неналежної нейтралізації та флокуляції. Для покращення стану осадженого матеріалу можна використовувати різні флокулянти або коагулянти, і постачальники цих матеріалів можуть проводити випробування осадів та вказувати правильний коагулянт.

На ефективність очищення відпрацьованих вод шляхом хімічного осадження переважно впливають такі фактори:

- вибір осаджувальної хімічної речовини;
- кількість доданої осаджувальної речовини;
- ефективність видалення металу, що осаджується;
- підтримання правильного значення pH протягом усього процесу очищення;
- використання солей заліза для видалення певних металів;
- використання флокулянтів або коагулянтів;
- зміна складу відпрацьованих вод;
- наявність комплексоутворювальних іонів.

Для забезпечення максимальної ефективності видалення металів найважливішим фактором є вибір осаджувальних речовин. Деякі приклади показують, що використання реагентів на основі сульфідів забезпечує досягнення нижчих концентрацій деяких металів. Правильне значення pH протягом усього процесу очищення стічних вод також має першорядне значення, оскільки деякі солі металів нерозчинні лише в дуже вузькому діапазоні значень pH. За межами цих діапазонів ефективність видалення металів швидко знижується, наприклад, цинк утворюватиме розчинний аніон, цинкат, за високих значень pH.

Склад стічних вод змінюється залежно від якості концентрату/сировини та складу подальших відхідних газів, очищених у мокрих системах. Крім того, періодичне дозоване подання відпрацьованих вод із різних джерел або погодні умови збільшує різноманітність відпрацьованих стічних вод. Найчастіше для оптимізації продуктивності потрібна адаптація параметрів технологічного процесу.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у воду.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність для комбінації технологій, перелічених у Розділі 2.12.6.2, наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Технології, що застосовуються, повинні враховувати специфіку виробничих процесів. Крім того, розмір і швидкість потоку водоймища можуть відігравати роль у виборі технологій, які будуть застосовуватись. Зменшення об'ємного потоку на користь вищих концентрацій потребує менше енергії для очищення. Очищення висококонцентрованих відпрацьованих вод призведе до вищих концентрацій стічних вод, але з більшою швидкістю зниження, ніж із менш концентрованими потоками, що призведе до кращого загального видалення забруднювальних речовин.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Використання енергії.
- Використання добавок. Утворення відходів для утилізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів у воду.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[11, Hatch Associates Ltd 1993], [146, Kemmer 1988], [168, Steil, H.U. et al. 1999], [234, UBA (D) 2007], [240, Nyrstar Budel 2008], [319, Boonstra 2003], [320, Huisman 2004], [321, Weijma 2007], [295, Gaver C. Jr 2013], [238, ECI 2012]

2.12.6.2.2 Обробка слабкої кислоти та технічної води

Опис
Очищення відпрацьованих вод, що містять слабку кислоту, з установки з виробництва сірчаної кислоти або різних кислих промивних вод із використанням вапна та сульфату заліза.

Технічний опис
Схема процесу показана на Рисунку 2.33.

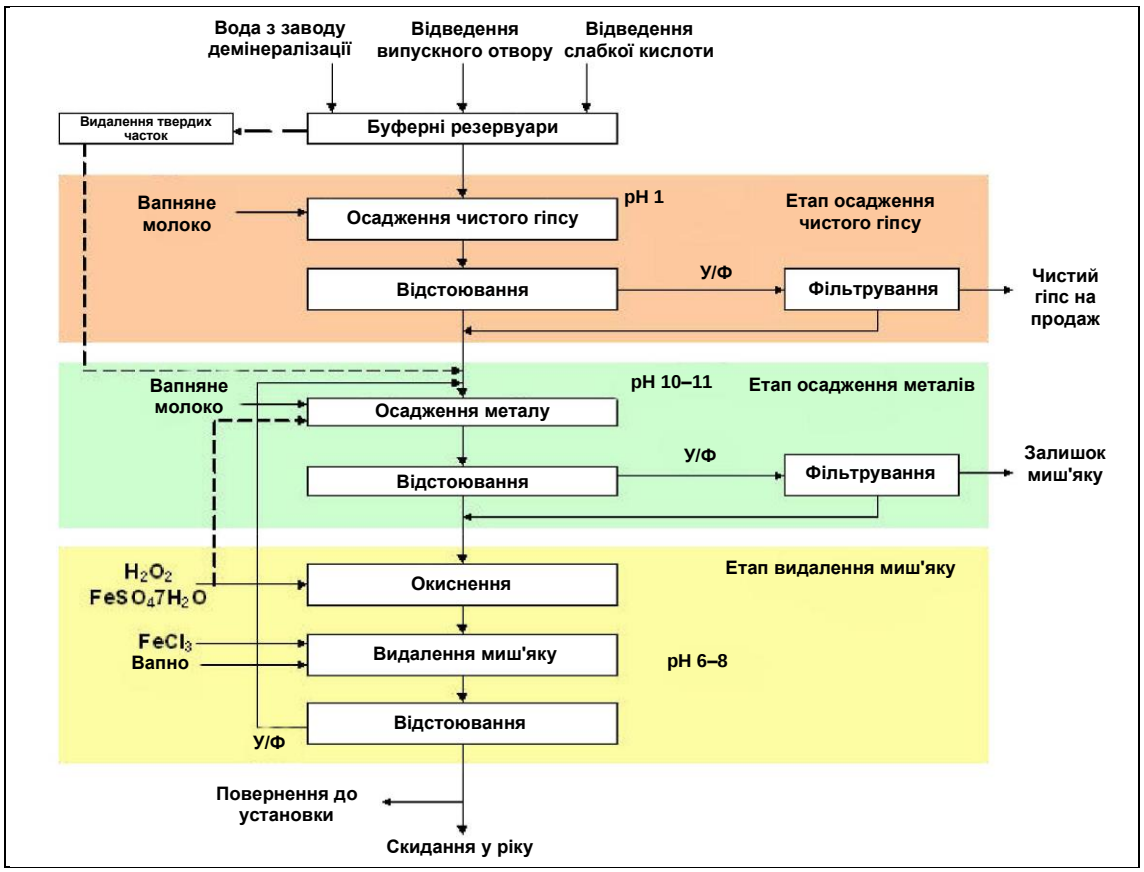


Рисунок 2.33: Обробка слабкої кислоти

Досягнуті екологічні переваги

- Мінімальне скидання відпрацьованих вод.
- Зменшення викидів у воду та водоспоживання.
- Виробництво чистого гіпсу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Досягнуті результати наведено в Таблиці 2.25.

Таблиця 2.25: Дані про ефективність обробки слабкої кислоти

Параметр	Діапазон значень	Одиниці вимірювання
Умови на вході		
Потік	35	$м^3$/год
Вміст:		
H_2SO_4	60	г/л
Cu	2100	мг/л
Hg	15	мг/л
As	2200	мг/л
Pb	2600	мг/л
Ni	7	мг/л
Cd	110	мг/л
Завислі тверді речовини	200	мг/л
Стічні води ([1])		
Потік	31,2	$м^3$/год
pH	9,5	
Cu	0,1–0,5	мг/л
Hg	0,05	мг/л
As	0,05–0,2	мг/л
Pb	0,1–0,5	мг/л
Ni	0,1–0,5	мг/л
Cd	0,01–0,2	мг/л
Гіпсовий осад		
	6–7	т/год
	40–50	% вологи
	~ 30–35	% $CaSO_4$
	~ 1	% As
Кількість	~ 1	% Cu
Склад	~ 1–2	% Fe
	~ 0,01	% Hg
	~ 1	% Pb
	~ < 0,1	% Ni
	~ < 0,1	% Cd

([1]) Розрахункові дані, що враховують зміни в стічних водах.
Примітка: Вказані середньодобові значення концентрації металів, засновані на кваліфікованих випадкових пробах або пробах за 24 години, пропорційних потоку.
Джерело: [238, ECI 2012]

Гіпс, що утворюється, містить > 96% Ca $SO_4 \cdot 2H_2O$.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлялося про жоден влив на компоненти довкілля.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Вартість обладнання склала 2,5 млн євро, вартість монтажу – від 4,5 до 5,2 млн євро. Електрика: 200 кВт-год. Вапняне молоко (10%); 15 $м^3$/год. H_2SO_4 (10 %); 0.8 $м^3$/год. $FeSO_4.7H_2O$; 80 кг/год.

Стимул до впровадження
Ефективне оброблення слабкої кислоти для отримання товарного продукту.

Приклади заводів
Заводи в Іспанії та Болгарії.

Довідкова література
[238, ECI 2012]

2.12.6.2.3 Біологічне очищення

Опис
Див. нижче.

Технічний опис
На одному заводі використовується біологічний процес для виробництва сульфід-іонів. Слабка кислота, що відводиться від мокрого газоочищення, має високу концентрацію сульфатів (10-25 мг/л). Сульфат відновлюється до сульфід-іонів за допомогою газоподібного водню та сульфатвідновлювальних бактерій на установці біологічного очищення відпрацьованих вод.

$$SO_4^{2-} + 8H^{2+} \xrightarrow{SRB} S^{2-} + 4H_2O$$

Водень виробляється з природного газу та пари в установці риформінгу. Цинк та інші метали вступають в реакцію з S^2 – і осаджуються у вигляді сульфіду металу:

$$Me + S^{2-} \rightarrow MeS$$

Концентрації сульфатів і металів після цього очищення все ще надто високі, щоб їх можна було прямо скидати, і вода очищається на іншому етапі разом з іншими відпрацьованими водами від виробництва та підземними водами. Водночас також використовуються сульфатвідновлювальні бактерії для осадження металів у вигляді сульфідів, але в цьому випадку замість водню у якості донора електронів використовується етанол [240, Nyrstar Budel 2008]

Сульфіди металів та суспензія біомаси повторно використовуються у якості концентрату на етапі випалювання.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у воду.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність цієї технології наведені в Розділі 6.3.4.

Вміст металів у стічних водах у такому біологічному процесі аналогічний вмісту металів в очищеній воді, отриманій у найбільш ефективній системі очищення відпрацьованих вод, заснованій на додаванні неорганічних сульфідів (NaHS, Na_2S), в основному тому, що хімічна основа обох процесів по суті однакова (через низьку розчинність сульфідів металів). Біологічний процес має позитивний вплив, оскільки вміст сульфатів у очищеній воді зменшується.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технологія застосовується до слабкої кислоти, коли немає інших варіантів відновлення, а також до відпрацьованих вод від процесу RLE у суміші із забрудненими підземними водами.

Економічні аспекти
Порівняно з додаванням неорганічного сульфіду у цьому процесі інвестиційні та експлуатаційні витрати значно вищі, але відомо, що одна установка ефективно працює.

Стимул до впровадження
Усунення історичних екологічних проблем.

Приклади заводів
Завод у Нідерландах.

Довідкова література
[319, Boonstra 2003], [320, Huisman 2004], [240, Nyrstar Budel 2008]

2.12.6.2.4 Седиментація та флотація

Опис
Седиментація є технологією розділення твердої та рідкої фаз, у якій використовується сила тяжіння для відділення нерозчинних комплексів металів та твердих часток від рідких відходів.

Технології флотації використовуються для відділення великих пластівчастих згустків або плаваючих часток, таких як частки пластику від стічних вод шляхом перенесення їх на поверхню суспензії.

Технічний опис
Седиментація може відбуватися в різних відстійниках, таких як седиментаційні басейни, стави або спеціалізовані відстійні резервуари (згущувачі, освітлювачі) з пристроєм видалення осаду на дні резервуара. Зазвичай використовуються седиментаційні басейни прямокутної, квадратної або круглої форми. Осад, що видаляється з етапу седиментації, може бути зневоднений, наприклад, за допомогою вакуумного фільтрпресу. Фільтрат, що утворюється, може бути відправлений назад на початок процесу очищення стічних вод або на етап процесу, на якому він був отриманий, залежно від процесу очищення. Седиментацію можна використовувати для відокремлення твердих часток від відпрацьованих вод, які використовувалися для грануляції шлаку або виробництва металевого дробу.

Альтернативою седиментації може бути флотація. Флотації можна досягти за допомогою розчиненого повітря. Повітря розчиняється у зваженому середовищі під тиском і залишає розчин, коли тиск знижується, у вигляді дрібних бульбашок повітря, прикріплених до завислих часток. Це призводить до того, що частки спливають на поверхню, а потім пластівчасті згустки можна легко видалити з поверхні рідини.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у воду.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність для комбінації технологій, перелічених у Розділі 2.12.6.2, наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів у воду.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
Інформацію не надано.

2.12.6.2.5 Фільтрування

Опис

Фільтрування – це відділення твердих часток від відпрацьованих стічних вод, що проходять через проникне середовище. Пісок є найчастіше використовуваним фільтрувальним матеріалом.

Технічний опис

Методи фільтрування зазвичай використовуються для розділення твердої та рідкої фаз і у якості останнього етапу очищення в процесі очищення відпрацьованих вод. Установка фільтрування зазвичай розташовується між етапом седиментації й остаточним контролем для видалення твердих часток, що залишилися після попереднього етапу очищення. Фільтрування може відбуватися в різних фільтрувальних системах, залежно від твердих часток, які потрібно видалити.

Звичайна установка фільтрування складається із шару матеріалу або матеріалів, через які проходять рідкі відходи. Дрібні частки, які не можуть пройти через фільтрувальний матеріал, утворюють фільтрувальний осад, який необхідно видаляти постійно або час від часу, наприклад, шляхом зворотного промивання, щоб запобігти зниженню тиску. Якщо зниження тиску незначне, це дозволяє подавати відпрацьовані води на фільтрування самопливом.

Піщані фільтри призначені для механічного видалення завислих або напівтвердих часток, наприклад, осадів або гідроксидів металів. Очищення відпрацьованих вод за допомогою піщаного фільтрування відбувається шляхом комбінації фільтрування, хімічної сорбції та асиміляції. Піщані фільтри іноді працюють як ємність під тиском, заповнена шарами піску, зернистість якого збільшується з глибиною. Спочатку фільтрувальний осад може призвести до підвищення ефективності фільтрування, особливо для більш дрібних частинок. Через деякий час піщаний шар необхідно піддати зворотному промиванню. Піщані фільтри часто використовуються для очищення води, злитої із замкнутого кругообігу або для стічних вод, які мають використовуватись у якості технологічної води. Типовий піщаний фільтр показано на Рисунку 2.34.

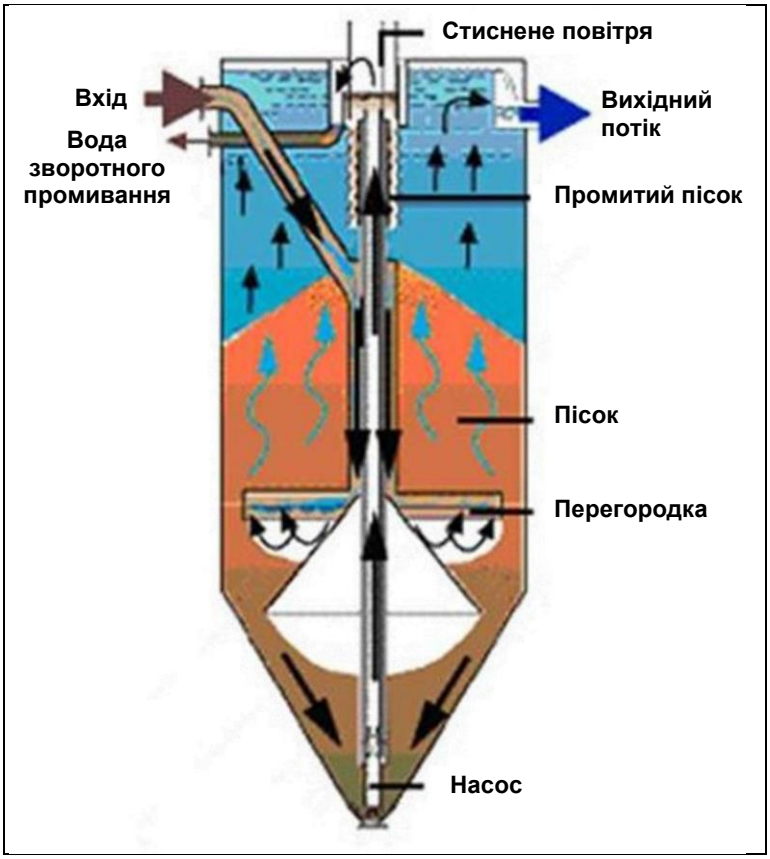


Рисунок 2.34: Схема піщаного фільтра

Гіперфільтрація або зворотний осмос використовують для отримання бажаного результату для дуже дрібних часток. Гіперфільтрація дає змогу пропускати частки молекулярною масою від 100 до 500 одиниць, тоді як ультрафільтрація використовується для часток в діапазоні від 500 до 100 000 одиниць.

Ультрафільтрація є простою та ефективною технологією очищення відпрацьованих вод, але потребує великих витрат енергії. Стічні води контактують з ультрафільтраційною мембраною. Ця мембрана, що містить невеликі пори, дає змогу проходити молекулярним часткам, таким як вода, і перешкоджає проникненню більших молекулярних часток. З дуже тонкою мембраною можна навіть фільтрувати такі дрібні розчинені речовини, як іони металів. Процеси фільтрування на основі мембран дають чистий фільтрат та концентрат, який може вимагати подальшої обробки.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у воду.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність для комбінації технологій, перелічених у Розділі 2.12.6.2, наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів у воду.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[374, COM 2001]

2.12.6.2.6 Електроліз

Опис
Проходження постійного електричного струму через іонну речовину, що веде до хімічної реакції на електродах. Іонна речовина або розплавлена, або розчинена у відповідному розчиннику.

Технічний опис
Технології електролізу використовуються для видалення таких металів як мідь, дорогоцінні метали, хром, марганець, кадмій тощо, з потоків технологічної води. Оскільки концентрації металів зазвичай низькі, електроліз є найбільш ефективним для обробки потоків відходів до того, як вони будуть розведені іншими стічними водами. Для підвищення ефективності можна використовувати спеціальні електроди, такі як електроди у псевдозрідженому шарі або просторові електроди. Максимальна ефективність електролізера досягається, коли щільність струму змінюється з концентрацією розчиненої речовини, а масообмін відбувається за щільності струму, близької до граничного значення. Іншими словами, на катоді завжди має бути свіжий приплив іонів для відновлення.

Альтернативним та дуже успішним застосуванням електрохімічних технологій очищення від металів є окиснення металів у стічних водах з метою їхньої подальшої переробки. Одним із прикладів є очищення стічних вод, що містять хром (III). Найбільш широко хром використовується у якості окиснювача, коли хром знаходиться в стані окиснення (VI). Побічним продуктом окиснення є хром (III), який зазвичай виділяється з відходами.

Анодне окиснення стічних вод хрому (III) використовувалося для відновлення хрому (VI), який можна використовувати повторно.

Різниця у відносному положенні в електрохімічному ряді або окисно-відновному потенціалі елементів також можна використовувати, регулюючи струм і напругу в електролізері для відновлення більш благородних металів. Ці властивості також можна використовувати під час застосування цементації, коли, наприклад, мідь можна осадити додаванням заліза.

Ще одним способом електрохімічного очищення є електродіаліз. Електродіалізатор складається з двох електродів, розділених іонообмінною мембраною. Теорія досить проста. Катіони під дією електродного потенціалу мігрують через катіонообмінну мембрану, де вони обмінюються на менш токсичні катіони (наприклад, обмін кадмію на натрій). Цей метод полягає в об'єднанні переваги іонного обміну з перевагами електрохімічного очищення. [145, Dalrymple, I. 1999], [166, Clark, J.H. 1995].

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у воду.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність для комбінації технологій, перелічених у Розділі 2.12.6.2, наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів у воду.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[145, Dalrymple, I. 1999], [166, Clark, J.H. 1995].

2.12.6.2.7 Зворотний осмос

Опис
Мембранний процес, у якому різниця тисків між відсіками, розділеними мембраною, призводить до перетікання води з більш концентрованого розчину в менш концентрований.

Технічний опис
Зворотний осмос широко використовується для видалення розчинених металів, особливо в гальванічній промисловості. Осмос – це природна дифузія розчинника, наприклад, води, викликана різницею в концентрації двох розчинів, розділених мембраною. Розчинник тече у напрямку, у якому зменшується концентрацію більш концентрованого розчину. У зворотному осмосі застосовується сила, щоб змінити напрямки потоку розчинника. Необхідний тиск має перевищувати осмотичний тиск. Типові дані щодо проникності мембрани зворотного осмосу для іонів надані в Таблиці 2.26. Зворотний осмос іноді використовується для вилучення дорогоцінних металів у промисловості, пов'язаній із гальванічним покриттям.

Таблиця 2.26: Типова проникність мембрани зворотного осмосу для іонів

Іони	Проникність (%)	Затримування (%)
Амоній	8	92
Натрій	5	95
Калій	5	95
Магній	3	97
Стронцій	3	97
Кальцій	2	98
Нітрат	15	85
Бісилікат	10	90
Хлорид	5	95
Фторид	5	95
Бікарбонат	5	95
Сульфат	3	97
Фосфат	1	99
Джерело: [146, Kemmer 1988]		

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у воду.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність для комбінації технологій, перелічених у Розділі 2.12.6.2, наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Застосовується лише до певних видів стоків у кольоровій металургії.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів у воду.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[146, Kemmer 1988]

2.12.6.2.8 Іонний обмін

Опис
Процес іонного обміну зазвичай відбувається в колоні, заповненій гранулами іонообмінної смоли. Обмін починається у верхній частині колони, а потім проходить через колону, щоб підтримувати стійкі умови обміну.

Технічний опис
Іонний обмін іноді використовується у якості кінцевої стадії очищення в процесі видалення металів із технологічних відпрацьованих вод. За допомогою іонного обміну небажані іони металів можна видалити з потоку відпрацьованих вод шляхом перенесення їх на тверду матрицю та одночасного повернення еквівалентної кількості інших іонів, що зберігаються на каркасі йонообмінника. Процес іонного обміну зазвичай використовують, коли концентрація металів складає менше ніж 500 мг/л.

Місткість йонообмінника обмежена залежно від кількості іонів, що зберігаються на каркасі. Тому йонообмінник необхідно відновлювати за допомогою соляної кислоти або каустичної соди. У деяких випадках, наприклад, під час видалення селену та ренію з відхідних газів печі для випалювання молібденіту, йонообмінники періодично замінюються, щоб метали можна було вилучати на самому заводі або на спеціалізованих заводах.

Деякі спеціальні йонообмінники здатні видаляти певні метали з відпрацьованих вод. Цей процес селективного іонного обміну є набагато більш ефективним для видалення токсичних металів зі стічних вод. Крім того, колона може забезпечити дуже високий рівень очищення, а також може ефективно працювати зі змішаними стічними водами.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у воду.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність для комбінації технологій, перелічених у Розділі 2.12.6.2, наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів у воду.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

2.12.6.2.9 Активоване вугілля

Опис
Це процес фільтрування, у якому у якості фільтрувального матеріалу використовується активоване вугілля.

Технічний опис
Активоване вугілля, високопориста речовина, що містить вуглець, зазвичай використовується для видалення органічних матеріалів із відпрацьованих вод, але воно також застосовується для видалення ртуті та дорогоцінних металів. Ці фільтри зазвичай використовуються у вигляді декількох шарів наповнювача або патронів, щоб проскакування через один фільтр очищалося другим. Відпрацьований фільтр потім замінюється і стає вторинним фільтром. Ця операція залежить від наявності адекватного способу виявлення проскакування через фільтри.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів органічних матеріалів, ртуті та дорогоцінних металів у воду.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність для комбінації технологій, перелічених у Розділі 2.12.6.2, наведено в главах, присвячених конкретним металам.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів у воду.

Приклади заводів
Інформацію можна знайти в главах, присвячених конкретним металам.

Довідкова література
[374, COM 2001]

2.12.7 Управління відходами

Опис
Комплекс технологій для мінімізації утворення відходів у металургійному процесі.

Технічний опис
Як зазначалося в Розділі 2.9.1, кількість шлаку та знімання/дросу, що утворюються під час виплавки металів, в основному залежить від домішок у сировині, тому використання чистіших матеріалів призводять до зменшення утворення цих твердих речовин. У деяких випадках це може бути забезпечено шляхом ретельного вибору сировини, яка буде використовуватись. Наприклад, деякі цинкові концентрати можуть містити меншу кількість заліза [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], а процеси, розроблені для використання цих концентратів, можуть мінімізувати утворення відходів на основі заліза. Обмежена доступність і вища вартість цих концентратів означає, що це не є глобальним рішенням. Для вторинного алюмінію попередня обробка брухту або використання чистіших матеріалів призводить до зменшення або усунення використовуваного сольового флюсу, залежно від печі, що використовується. Необхідно збалансувати економіку попередньої обробки. Якщо відділення домішок здійснюється шляхом додавання реагентів, контроль додавання реагентів до рівня, необхідного для досягнення ефективного та економічного видалення, мінімізує кількість відходів, що утворюється.

З іншого боку, неналежне зберігання та обробка можуть призвести до намокання матеріалів. Наприклад, у процесі переплавлення алюмінію випаровується вода, що може призвести до вибуху.

Утворення знімання/дросу можна мінімізувати з допомогою оптимізації роботи печі, наприклад, зниження вигоряння шляхом запобігання перегріву розплаву. Сучасні технології управління технологічним процесом використовуються для забезпечення оптимальних умов експлуатації.

Щоб уникнути окиснення поверхні ванни розплаву, можна використовувати закриту піч. Наприклад, під час плавлення алюмінію у відновлювальній атмосфері (промивання печі інертним газом) кількість знімання/дросу, що утворюється, зменшується. Так само використання насосної системи та бічного колодязя є ще одним заходом, який може зменшити окиснення.

Було продемонстровано, що свинцева зола і велика кількість шлаку, що утворюється в процесі виплавки, можуть бути значною мірою перероблені або повторно використані.

Повністю уникнути відпрацьованих футерівок та вогнетривів неможливо, але їхню кількість можна зменшити за допомогою таких заходів:

- ретельне будівництво цегляної футерівки печі;
- безперервне використання печі та, таким чином, мінімізація коливань температури;
- тепловий контроль для виявлення температур за межами експлуатаційного діапазону;
- охолодні блоки для відведення тепла від футерівки;
- короткий час впливу флюсів;
- відмова від агресивних флюсів;
- ретельне очищення печей та тиглів;
- зменшення перемішування у печі (обертання);
- вибір найбільш придатних вогнетривів для процесу;
- моніторинг швидкості нагрівання/охолодження коли, де це є доцільним.

За певних умов, залежно від складу відпрацьованих футерівок та вогнетривів, можливе їхнє повторне використання.

Вогнетриви можуть бути повторно використані у процесі виплавки первинної та вторинної міді після подрібнення для отримання ливарної або випускної маси або у якості флюсу для коригування складу шлаку. Як альтернатива, метал можна відокремити від матеріалу шляхом подрібнення та помелу, а відпрацьовану футерівку та вогнетриви можна повторно використовувати в будівництві, для виробництва вогнетривкої футерівки або вогнетривкого цементу. Вміст металу може бути повернутий на плавильний завод або направлений на інші підприємства кольорової металургії.

На заводі з виплавки вторинної міді, цегла із шахтної печі, конвертерної та анодної печі може бути повністю перероблена. Конвертерна цегла містить до 1,5% міді, а цегла шахтної печі – до 4%. Цегла подрібнюється, а мідь відновлюється; матеріал, що залишився, використовується для виготовлення вогнетривкого цементу і вогнетривкої футерівки розливної каруселі. Біла цегла повторно використовується в анодній печі та у якості цементу в шахтній печі, а чорна цегла використовується для ізоляції ковша. Футерівка печі подрібнюється, мідь видаляється та повертається до процесу обробки, а вогнетривкі деталі переробляються для виготовлення ливарних форм для каруселі для розливання анодів [249, Austria, Brixlegg 2007].

Контроль якості шлаку для подальшого використання також є важливою технологією, яку необхідно враховувати. Деякі шлаки є відносно інертними й можуть використовуватися у якості будівельних матеріалів замість заповнювачів і у якості абразивів. Необхідний належний контроль якості матеріалу для забезпечення його прийнятності для використання в будівництві або в інших сферах, а випробування на вилуговування доступні для підтвердження прийнятності, [289, USEPA 2008], [268, Belgium 2008] Директива про захоронення відходів визначає стандартні випробування Європейського комітету зі стандартизації на вилуговування гранульованих відходів: EN 14405 та EN12457/1-4.

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення кількості відходів, що спрямовуються на утилізацію.
- Заміна первинного матеріалу інертними шлаками для зменшення кількості відходів або виробництва вогнетривкого цементу тощо, а також повторне використання матеріалу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Існує декілька технологій зменшення кількості відходів, що утворюються у виробничих процесах. Важливими технологіями є зменшення кількості шлаку, вилучення металів зі шлаку та зменшення кількості металів у залишковому шлаку. Наприклад, на заводі з виробництва ферохрому у Фінляндії вдалося скоротити кількість залишку від процесу вилучення ферохромового шлаку. Машина, що працює зі спіральним гвинтом, використовується для відокремлення хрому від переробленого дрібнодисперсного шлаку. Хром важчий за шлак, тому він концентрується в центрі спіралі. Відновлений хром можна повторно використовувати в плавильному цеху, а шлак використовувати у якості матеріалу для нових заповнювачів. Заповнювачі використовуються, наприклад, у цементі та асфальті. Ця технологія дозволила зменшити кількість відходів, що спрямовуються на утилізацію приблизно на 10 000 тонн.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ці технології застосовуються до використання матеріалів, придатних для передбачених умов експлуатації. Відпрацьовані вогнетриви можна переробляти у вогнетривкий цемент нижчого сорту або футерівку ковшів, а металургійні шлаки можна використовувати в будівництві за умови, що вони відповідають стандартам вилуговування.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Витрати на утилізацію.

Приклади заводів
Заводи в Австрії, Бельгії та Німеччині.

Довідкова література
[233, COM 2008] [249, Austria, Brixlegg 2007]

2.12.8 Шум та вібрація

Шум та вібрація є загальними проблемами в секторі, та їхні джерела зустрічаються у всіх галузях промисловості. Шум технологічного процесу, що виділяється установкою у довкілля, є фактором, який в минулому викликав багато скарг, і була отримана деяка інформація про причини та підходи до запобігання та мінімізації шуму та вібрації. Вплив шуму на операторів установки не входить до сфери застосування цього документа.

Найбільш значними джерелами шуму та вібрації є транспортування сировини та продукції та вантажно-розвантажувальні роботи; виробничі процеси, у тому числі пірометалургія, помелу та подрібнення; використання насосів та вентиляторів; випускання пари; та наявність автоматичних систем сигналізації. Шум та вібрацію можна виміряти декількома способами, але зазвичай дані залежать від конкретного об'єкта та враховують частоту звуку та розташування центру зосередження населення.

Нові заводи можуть мати низький рівень шуму та вібрації. Належне технічне обслуговування може запобігти розбалансованості обладнання, такого як вентилятори та насоси. Взаємозв'язок між обладнанням може бути розроблений у такий спосіб, щоби запобігти або мінімізувати розповсюдження шуму. Загальні технології боротьби із шумом:

- використання насипів для екранування джерела шуму;
- розміщення шумних установок або компонентів у звукопоглинальні споруди;
- використання антивібраційних опор та з'єднань для обладнання;
- продумане розташування механізмів, що утворюють шум;
- Зміна частоти звуку.

2.12.9 Запах

У кольоровій металургії існує кілька потенційних джерел запаху. Найбільш значними є пари металів, органічні оливи та розчинники, сульфіди від охолодження шлаку та очищення відпрацьованих вод, хімічні реагенти, що використовуються в гідрометалургійних процесах та процесах очищення стічних вод (наприклад, аміак) та кислі гази. Запахам можна запобігти шляхом ретельного проєктування, вибору реагентів та правильного поводження з матеріалами. Наприклад, утворенню аміаку зі знімання/дросу можна запобігти, якщо зберігати матеріал сухим.

Технології боротьби із викидами, описані раніше в цій главі, сприятимуть запобіганню або усуненню запахів. Загальні принципи належної організації виробництва та належної практики технічного обслуговування також відіграють важливу роль у запобіганні та боротьбі.

Основна ієрархія принципів боротьбі із запахом:

- запобігти або мінімізувати використання матеріалів із неприємним запахом;
- утримувати та видаляти пахучі речовини та гази до того до їхнього розсіювання та розчинення;
- обробляти їх, можливо, шляхом допалювання або фільтрування (див. Розділи 2.12.2.2 та 2.12.5.1).

Використання біологічних середовищ, таких як торф або аналогічний матеріал, які є субстратом для відповідних біологічних видів, є успішним методом в усуненні запахів [156, VDI 2008]. Видалення запахів може бути дуже складним і дорогим процесом, якщо розчиняються матеріали, що сильно пахнуть. Для обробки великих обсягів газу з низькою концентрацією пахучих матеріалів потрібна велика технологічна установка.

Біофільтр показано на Рисунку 2.35.

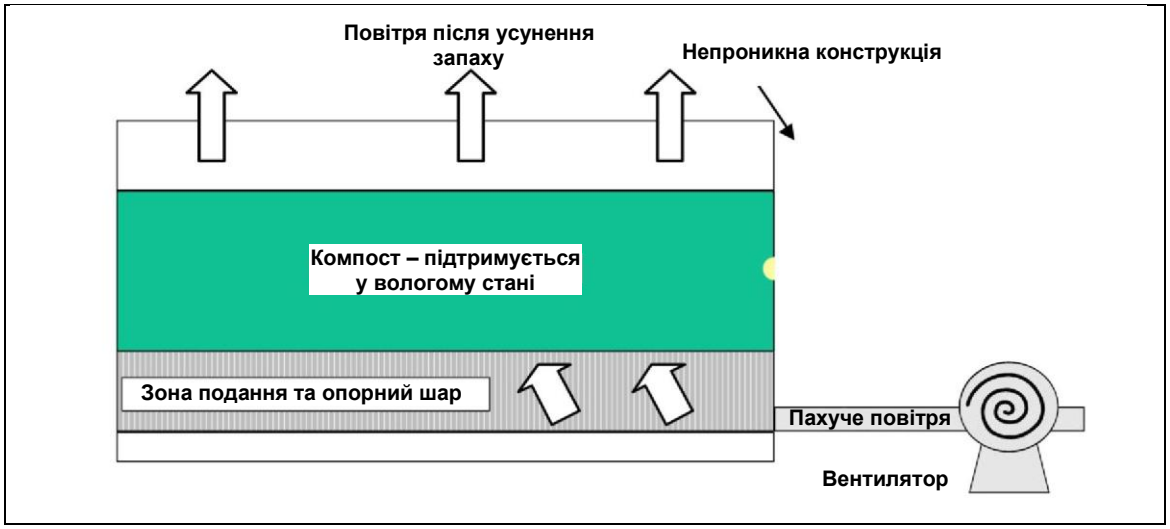


Рисунок 2.35: Конструкція простого біофільтру

2.12.10 Зняття з експлуатації

Опис
Див. нижче.

Технічний опис
Ця технологія вимагає оцінки вихідного стану об'єкта перед будівництвом нового заводу, щоб спланувати виведення з експлуатації після закінчення строку експлуатації.

Вона також передбачає запобігання хронічним ризикам протягом усього строку служби заводу, щоб запобігти забрудненню ґрунту, наприклад, шляхом розробки планів, які:

- визначають райони, які можуть сприяти утворенню дифузних викидів, щоб можна було вжити заходів для запобігання перенесення пилу вітром, що завдає шкоди довкіллю або здоров'ю людей у прилеглих районах;
- вживають заходів для запобігання подальшому забрудненню підземних вод;
- розробляють програму ліквідації розлиття та інші заходи щодо захисту ґрунту;
- розширяють можливість локалізації інших виявлених джерел;

- використовують програму екологічного моніторингу, особливо щодо підземних вод протягом усього строку служби заводу, щоб виявити можливі впливи за межами заводу, поряд із ним.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання екологічним проблемам, що виникають у процесі виведення з експлуатації, а також забрудненню ґрунту.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
- Розгляд виведення з експлуатації на етапі проєктування мінімізує ризики та надмірні витрати під час подальшого виведення з експлуатації.
- Для наявних установок, де були виявлені потенційні проблеми, впроваджується програма вдосконалення. Ці плани вдосконалення повинні гарантувати, що:
  - за можливості, уникнення використання підземних резервуарів та трубопроводів (якщо вони не захищені вторинною захисною оболонкою або не передбачено відповідної програми моніторингу);
  - передбачено осушення та очищення ємностей та трубопроводів перед демонтажем;
  - сховища та місця утилізації відходів спроєктовані з урахуванням їхнього можливого очищення або здачі;
  - застосовується ізоляція, яку можна легко демонтувати без утворення пилу та виникнення небезпеки;
  - будь-які матеріали, що використовуються, підлягають переробці (хоча треба пам'ятати, що вони повинні відповідати експлуатаційним або іншим екологічним цілям).
- Розроблено план закриття об'єкта, щоб продемонструвати, що у своєму поточному стані установка може бути виведена з експлуатації без ризику забруднення, та для повернення об'єкта експлуатації у задовільний стан. План необхідно оновлювати в міру виникнення суттєвих змін. Однак навіть на ранній стадії план закриття може передбачати:
  - Видалення або промивання трубопроводів та ємностей, коли це необхідно, та повне зливання будь-якого потенційно небезпечного вмісту;
  - плани всіх підземних труб та ємностей;
  - метод та ресурси, необхідні для очищення сховищ;
  - метод забезпечення відповідності будь-яких захоронень на об'єкті еквівалентним умовам здачі;
  - видалення азбесту чи інших потенційно шкідливих матеріалів, якщо не погоджено, що є доцільним залишити такі зобов'язання майбутнім власникам;
  - методи знесення будівель та інших споруд для захисту поверхневих та підземних вод на будівельних майданчиках та майданчиках знесення;
  - тестування ґрунту для визначення ступеня будь-якого забруднення, спричиненого діяльністю, та необхідності будь-яких відновлювальних робіт для повернення об'єкта у задовільний стан, який визначено в первинному звіті про об'єкт.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Зазначені в цьому документі технології застосовні протягом усього строку експлуатації установки, на етапі розробки та будівництва об'єкта та відразу після закриття об'єкта.

Економічні аспекти
Немає, але можна мінімізувати надмірні витрати під час подальшого виведення з експлуатації.

Стимул до впровадження
Скорочення майбутніх витрат та зобов'язань.

Приклади заводів
Інформацію не надано.

Довідкова література
[237, UBA (A) 2004], [245, France 2008], [288, UK 2002]

2.13 Перспективні технології

У цьому розділі повідомляється про перспективні технології лише для загальних технологічних процесів, описаних вище в Главі 2. Про перспективні технології інших процесів повідомляється в наступних главах.

2.13.1 Процеси LUREC та BAYQIK

Визначено перелічені далі перспективні технології перетворення газів із високим вмістом SO_2 у сірчану кислоту.

Опис
- Процес LUREC®
- Процес BAYQIK®

Технічний опис
Додавання ще одного проходу, який є зовнішнім відносно наявної контактної установки, може бути застосоване для підвищення потужності наявної установки з виробництва сірчаної кислоти для використання більш високих концентрацій діоксиду сірки на вході.

У процесі LUREC® використовується додаткова контактна камера з одним або двома шарами залежно від концентрації газу на вході. Вона діє як попередній перетворювач, а потім перед наявною установкою можна використовувати теплообмінник та етап попередньої абсорбції. Були протестовані концентрації діоксиду сірки на вході від 15 до 25%.

У процесі BAYQIK® використовується декілька концентричних трубок, у яких каталізатор та носій знаходяться у внутрішній трубі, а зовнішнє кільце діє як теплообмінник. Схема процесу показана на Рисунку 2.36.

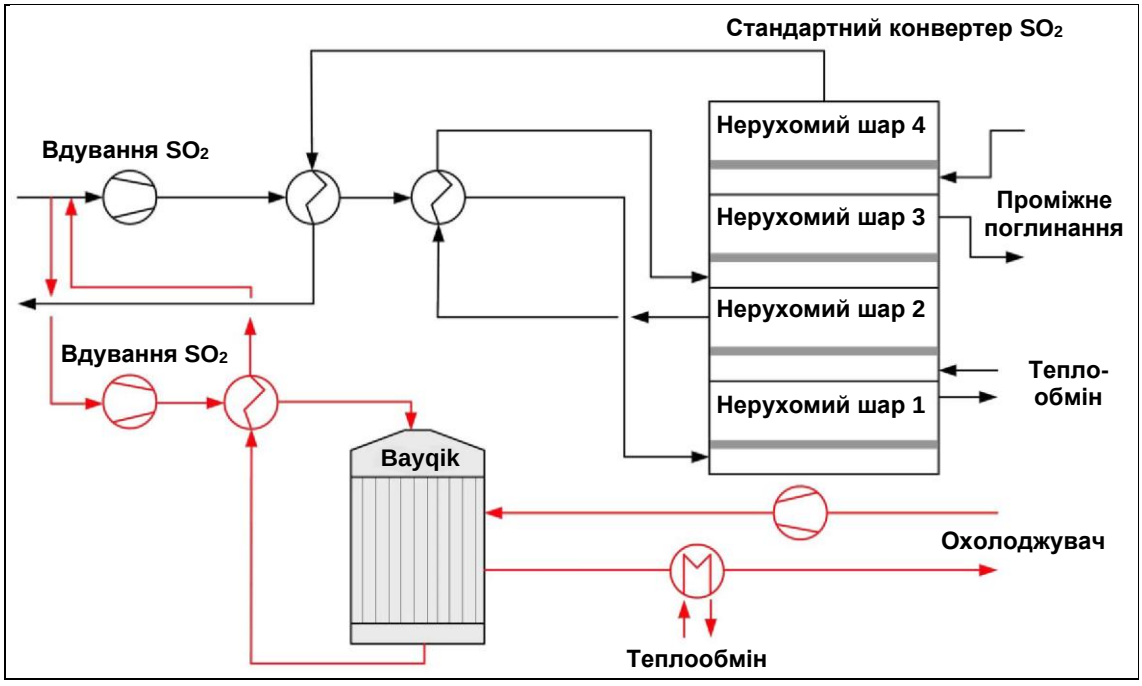


Рисунок 2.36: Процес BAYQIK

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів SO_2.
- Підвищення загальної ефективності наявної установки з виробництва сірчаної кислоти та більш високі концентрації газу на вході можуть використовуватися для підтримки загального низького потоку газу.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено про вплив від додаткового процесу.

Інформація про функціонування
Процес LUREC® застосовується з літа 2007 р. на китайському плавильному заводі Yanggu Xiangguang Copper, провінція Шаньдун, Китай (номінальна потужність 2340 т/день), де додаткова установка попереднього контактування/попередньої абсорбції передує п'ятипрохідній установці з виробництва сірчаної кислоти подвійного контактування/подвійної абсорбції, щоб загалом отримати установку потрійного контактування із сімома проходами. Це нова установка, яка працює з концентрацією SO_2 на вході 16–18%.

Процес BAYQIK® додає ще один зовнішній етап до наявної установки з виробництва сірчаної кислоти, що включає шар каталізатора з вбудованим теплообмінником. Установка була введена в експлуатацію у 2009 році в Штольберзі, Німеччина, але станом на січень 2010 року дані про потужність не були доступні.

Застосовність
Процес LUREC® є доступним і його можна використовувати у якості додаткового шару для всіх наявних установок, щоб забезпечити шість або сім проходів та потрійну абсорбцію, якщо цього вимагає концентрація газу на вході.

Економічні аспекти
Витрати на процес LUREC® становлять 8 мільйонів євро за додавання до потоку газу 121 000 $Нм^3$/год за концентрації SO_2 на вході 20 %. Порівняння капітальних витрат між додатковим модулем LUREC® та стандартною установкою наведено в Таблиці 2.27.

Таблиця 2.27: Порівняння капітальних витрат між додатковим модулем LUREC® та стандартною установкою

Показник	Одиниці вимірювання	Сума	
		Стандартна установка	Додаткова установка LUREC®
Наявна потужність	тонн/день	2000	НД
Наявний потік газу плавильних заводів	$Нм^3$/год	51 700	НД
Наявний потік газу на вході в установку	$Нм^3$/год	143 000	НД
Концентрація SO_2 на вході	% об.	13,0	НД
Необхідна додаткова потужність	тонн/день	600	НД
Необхідний потік газу в майбутньому за концентрації SO_2 на вході 13%	$Нм^3$/год	185 600	НД
Орієнтовні витрати на установку потужністю 600 т/день	EUR	11 000 000	НД
Необхідна потужність у майбутньому	тонн/день	1240	1360
Потік газу з плавильного заводу за концентрації SO_2 на вході 36%	$Нм^3$/год	67 200	
Потік газу на вході в установку	$Нм^3$/год	120 000	121 000
Концентрація SO_2 на вході	% об.	9,5	20
Орієнтовні капітальні витрати на модуль LUREC® потужністю 1360 т/день	EUR	НД	8 000 000
Примітка: НД = немає даних.			

Витрати на процес BAYQIK® становлять 7,5 млн євро для установки, яка отримуватиме 50% побічного потоку з процесу потужністю 25 000 $м^3$/год.

Стимул до впровадження
Збільшення потужності установки без заміни.

Приклади заводів
Yanggu Xiangguang Copper, провінція Шаньдун (Китай) та Штольберг (Німеччина).

Довідкова література
[274, COM 2008], [326, Daum et al. 2005]

3 ПРОЦЕСИ ОТРИМАННЯ МІДІ ТА ЇЇ СПЛАВІВ ІЗ ПЕРВИННОЇ ТА ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ

3.1 Прикладні процеси та технології

3.1.1 Виробництво первинної міді

Первинна мідь може бути отримана за допомогою пірометалургійних або гідрометалургійних процесів. Приблизно 20% первинної міді виробляється шляхом прямого вилуговування руд (гідрометалургійний спосіб). Нині сульфідні концентрати (15–45% Cu) є основною сировиною для пірометалургійного процесу виробництва первинної міді, та складає понад 85%. Незначною мірою використовуються змішані оксидні/сульфідні руди та, рідше, бітумінозні руди. Сульфідні концентрати складаються із комплексних сульфідів міді/заліза; їх отримують шляхом флотації з руд, що містять 0,2–2% міді. Іншими вихідними матеріалами, що використовуються для виробництва первинної міді, є флюси (силікати, вапно, пісок тощо), добавки/реагенти (залізо, вуглець тощо) та перероблені матеріали (брухт, дрос, вапняні шлами, використані абразивні матеріали, шлаки, пил тощо) [234, UBA (D) 2007]. Загальні процеси розглядаються нижче.

3.1.1.1 Пірометалургійний спосіб

Пірометалургійний спосіб передбачає низку стадій, залежно від використовуваного концентрату. Більшість концентратів є сульфідними, а етапи їхньої обробки передбачають випалювання, виплавку, конвертування, рафінування та електролітичне рафінування. Огляд усіх печей, згаданих у цьому розділі, наведено в Додатку 13.1, а детальніша інформація наводиться в цьому розділі, де це необхідно [90, Traulsen, H. 1998]

3.1.1.1.1 Концентрат для виплавки на штейн

Концентрати сушать для зниження вмісту вологи із 7–8% до приблизно 0,2% перед процесом виплавки. Для плавки в шахтних печах концентрат сушать до 3,5–4% та брикетують.

Для сушіння мідних концентратів використовують два типи сушарок:

- обертові сушарки з використанням гарячого газу, що нагріваються відхідними газами від згорання;
- парові сушарки зі змійовиком.

Обертова сушарка являє собою барабан, що обертається. Гарячий газ, отриманий у результаті згорання природного газу, контактує з вологим концентратом, і вода, що міститься в ньому, переноситься в газ.

Парові сушарки нагріваються непрямим шляхом за допомогою парових змійовиків. Потужність залежить від тиску пари; збільшивши тиск до 18–20 бар, можна збільшити потужність. Для збору води з концентрату вводиться невелика кількість повітря-носія.

Випалювання та виплавка зазвичай проводяться одночасно в одній печі за високих температур для отримання розплаву, який можна розділити на штейн (сульфід міді з деякою кількістю сульфіду заліза) і шлак із високим вмістом заліза й діоксиду кремнію. Флюсувальні матеріали, що містить діоксид кремнію і, в разі необхідності, вапно (CaO), зазвичай додають у розплав для сприяння утворенню шлаку. Гази на основі сірки, що утворюються в результаті цього процесу, направляються на кислотні заводи на місці для використання як сировини для виробництва сірчаної кислоти або, рідше, для виробництва рідкого SO_2. Етап виплавки застосовується для відокремлення сульфіду міді від інших твердих речовин, присутніх у рудах, шляхом утворення силікатів, зокрема силікатів заліза. Ця реакція залежить від високої спорідненості міді до сірки, в порівнянні з іншими металевими домішками.

Для мідного концентрату з низьким вмістом сірки та високим вмістом органічного вуглецю виплавка може здійснюватися в шахтній/доменній печі. У таких випадках утворені відхідні гази з високим вмістом енергії можуть бути використані як додаткове паливо для електростанції.

Якщо мідні концентрати містять велику кількість домішок, часткове випалювання перетворює комплексні сульфіди заліза та міді в концентраті на прості сульфіди шляхом нагрівання руди або концентрату в умовах окиснення. Гази на основі сірки, що утворюються в результаті цього процесу, направляються на кислотний завод на місці. Етап виплавки потім застосовується для відокремлення сульфіду міді від інших часток, таких як оксиди, присутніх у рудах, шляхом утворення силікатів, особливо силікатів заліза.

Використовуються два основних процеси плавки: плавка у ванні та важена плавка. Процесі зваженої плавки застосовується збагачення киснем для забезпечення автотермічного (автогенного) або майже автотермічного режиму роботи. У процесах плавки у ванні зазвичай використовується нижчий ступінь збагачення киснем. Використання кисню також дає вищі концентрації діоксиду сірки, що робить уловлювання газу більш ефективним із використанням однієї із систем вилучення сірки (зазвичай виробництво сірчаної кислоти або рідкого діоксиду сірки).У Таблиці 3.1 показані процеси виплавки, що використовуються у виробництві первинної міді.

Таблиця 3.1: Технології виплавки первинної міді

Процес виплавки	Стан розвитку		Примітки	
	Застосовність у промисловому виробництві	**Екологічні показники: можливості або обмеження**	**Рівень виробництва: можливості та/або обмеження**	**Коментар**
Шахтна/доменна піч	Загальнозастосовна	Необхідно поєднувати з процесами, які можуть регенерувати енергію та вміст сірки в газах	Використовується спеціально для низькосортних концентратів із низьким вмістом сірки й високим вмістом вуглецю	Високий вміст вуглецю ускладнює обробку за допомогою інших технологій через виділення тепла
Часткове випалювання та виплавка в електричній печі	Загальнозастосовна	Хороші	Обмеження продуктивності	Розмір печі для випалювання може бути обмежувальним чинником
Зважена плавка Outotec та конвертування Пірса Сміта	Загальнозастосовна	Хороші	Можлива велика швидкість плавки на одній печі; залежно від конструкції печі та типу концентрату можлива продуктивність 400 000 т чорнової міді/рік	Концепція виплавки первинної міді, визнана в усьому світі стандартом, усе ще має потенціал для вдосконалення
Пряма зважена плавка чорнової міді Outotec	Загальнозастосовна	Хороші	Три заводи в експлуатації, досягнуто > 200 000 т/рік	Застосовується до концентратів із низьким вмістом заліза/шлаку
Ausmelt/ ISASMELT	Загальнозастосовна	Хороші	Верхній показник продуктивності однієї печі не перевірявся	Потенціал для подальшого вдосконалення
INCO	Загальнозастосовна	Хороші	Обмеження доведеної швидкості виплавки однієї печі	Розміри встановлених печей Ще більше можливостей
Конвертер Teniente, процес Noranda	Загальнозастосовна	Хороші	Обмеження швидкості виплавки розміром реактора та границею збагачення O_2	У порівнянні з іншими процесами відносно більший коефіцієнт повітря, що надходить, вимагає більших зусиль для уловлювання технологічних газів
Процес Ванюкова	Шість промислових печей у Росії та Казахстані	Потенційно хороші	Точного аналізу немає	Інформація для обґрунтованого рішення відсутня, загалом, технологія може мати значний потенціал
Процес Baiyin	Точна кількість невідома. В експлуатації не менше двох промислових агрегатів	Потенційно хороші	Точного аналізу немає; наявна інформація свідчить про те, що можна досягти продуктивності 75 000 т Cu/рік	Інформація недоступна для обґрунтування. Може мати значний потенціал
Процес Mitsubishi для без перервної виплавки міді	Загальнозастосовна	Хороші	Поки що Досягнутий рівень продуктивності > 200 000 т/рік	Потенціал для подальшого розвитку

Зважена плавка/зважене конвертування Kennecott-Outotec	Застосовується на трьох заводах. Будується четвертий завод	Хороші	Вища продуктивність в одному конвертері й за малого об'єму газу	Відмінні екологічні показники та потенціал для подальшого розвитку
Виплавка у відбивній печі	Загальнозастосовна	Дещо обмежені	Обмеження швидкості виплавки в одній печі	
Безперервний конвертер Noranda	Введено в експлуатацію в промислових масштабах	Хороші	Немає даних для остаточного аналізу	Є дійсно доступним, потенціал ще потрібно оцінити, коли будуть доступні дані щодо експлуатації
Джерело: [135, Gershel, T. 1998]				

Плавка у ванні здійснюється в декількох спеціальних печах, таких як відбивні, шахтні (або доменні), електричні, Ausmelt/ISASMELT, Noranda, Mitsubishi, El Teniente, Baiyin and Ванюкова [21, COM 1991], [25, OSPARCOM 1996], [134, Metallurgical Consulting Traulsen GmbH 1998]. Усі ці процеси ґрунтуються на процесах окиснення та виплавки, що відбуваються в плавильній ванні, з розділенням та випусканням шлаку та штейну різними способами. Деякі печі можуть працювати без попереднього сушіння концентрату, але перегріта водяна пара збільшує об'єм газу та знижує енергоефективність процесу. Відмінності між цими процесами можуть бути значними, наприклад, розташування точок подання повітря/кисню або палива, а деякі процеси працюють у періодичному режимі. Печі плавки у ванні зазвичай працюють разом із піччю витримки або окремим відстійником. Загальні описи наведені в Главі 2 та узагальнені у Таблиці 3.1. [134, Metallurgical Consulting Traulsen GmbH 1998]

Зважена плавка здійснюється або в печі Outotec, або в печі INCO [21, COM 1991], [25, OSPARCOM 1996], [134, Metallurgical Consulting Traulsen GmbH 1998]. У процесах Outotec та циклонах використовується збагачення киснем, а в процесі INCO використовується чистий кисень. Зважена плавка заснована на окисненні та виплавці сухих концентратів у формі завислих у повітрі часток. Частки, що прореагували, потрапляють у відстійну камеру, де відбувається розділення штейну та шлаку, іноді для підтримки температури у відстійнику використовується додаткове паливо. Потім штейн і шлак випускаються й переробляються, а гази проходять із печі через вертикальну камеру або шахту аптейку в теплообмінник. Кисень може подаватися в шахту аптейку для допалювання горючого пилу та сульфатування оксидів металів. Піч зваженої плавки також використовується для прямого виробництва чорнової міді.

Обертові конвертери з верхнім дуттям також використовувалися в минулому для виплавки первинної міді. Вони більше не використовуються для первинної плавки, здебільшого через високі експлуатаційні витрати, хоча цей тип печей використовується для плавки вторинного металу.

Світове застосування технологій виплавки показано в Таблиці 3.2.

Таблиця 3.2: Світове застосування технологій виплавки у виробництві первинної міді

Процес	**Виробництво чорнової міді** (1000 т/рік)
Зважена плавка Outotec	5815
ISASMELT	2255
Ausmelt	1430
Зважена плавка/зважене конвертування Outotec	1120
Mitsubishi	990
Teniente	846
Відбивна піч	795
Пряме виробництво чорнової міді	740
Шахтна/доменна піч	670
Піч зваженої плавки Inco	345
Інші та невідомі	2375
Джерело: [382, Holding 2012]	

Відбивна піч також використовується для плавки штейну, але не у ЄС-28. Вона не використовує енергію, що міститься в сірці та залізі в концентраті, а натомість покладається на використання викопного палива для виплавки концентратів за допомогою гарячих газоподібних продуктів згорання, що проносяться над подом. Отже, цей процес не такий ефективний, як інші описані процеси. Газоподібні продукти згорання збільшують загальний об'єм газу та призводять до дуже низького вмісту діоксиду сірки, який дуже важко видалити ефективно. Використання відбивних печей значно скоротилося з 1970-х років. Зміст SO_2 у відхідних газах зазвичай дуже низький, тому їх не можна обробляти на кислотній установці.

Загальний процес виробництва міді з первинної сировини показано на Рисунку 3.1.

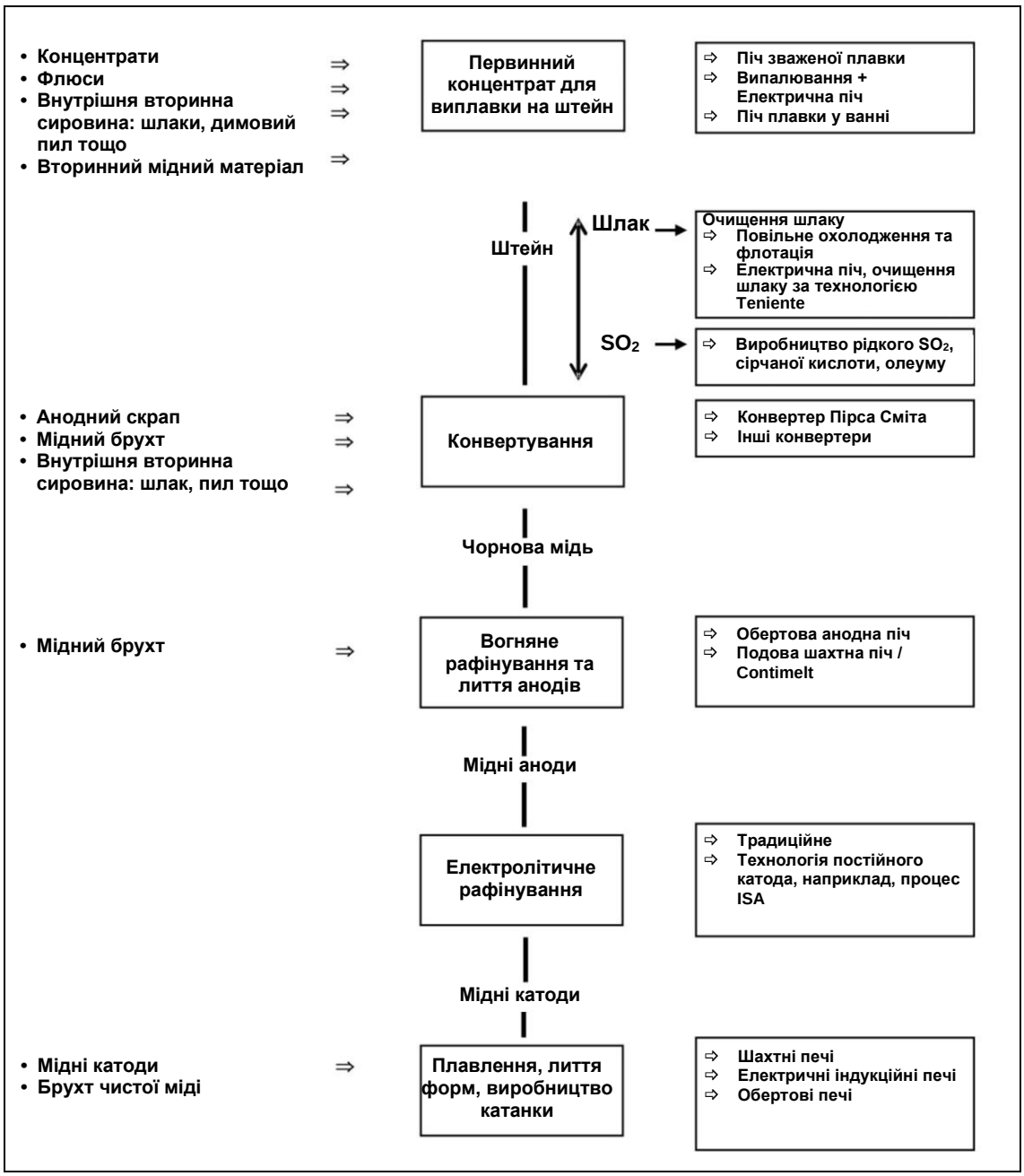


Рисунок 3.1: Виробництво первинної міді

3.1.1.1.2 Конвертування

Під час виробництва первинного металу використовують три типи процесів конвертування; два є процесами конвертування штейну, а один — конвертування сплаву. Процесами конвертування штейну є звичайний процес періодичної дії, який використовується найчастіше, та процес безперервного конвертування [135, Gershel, T. 1998].

Періодичний процес конвертування штейну

Процес конвертування періодичної дії передбачає два етапи. Його здійснюють шляхом продування штейну, отриманого в результаті операції виплавки, сумішшю повітря/кисню. Найчастіше використовується циліндрична ванна піч [21, COM 1991], [25, OSPARCOM 1996] і додаються флюсові добавки. На першому етапі відбувається окиснення заліза та частини сірки з утворенням шлаку та газоподібного діоксиду сірки; шлак періодично знімається та піддається подальшій обробці для вилучення міді. Зазвичай перший етап продування здійснюється у кілька етапів із поступовим додаванням штейну. На другому етапі, тобто продування міді, сульфід міді окиснюється до чорнової міді (вміст Cu 98,5%)

й утворюється більше газоподібного діоксиду сірки. Чорнова мідь випускається наприкінці процесу продування міді. Процес здійснюється для контролю рівня залишкової сірки та кисню в чорновій міді. Діоксид сірки, що утворюється, піддається подальшій обробці для вилучення сірки, зазвичай на установці з виробництва сірчаної кислоти.

Реакція є сильно екзотермічною, а також призводить до випаровування металевих домішок, таких як свинець і цинк, які потім уловлюються на установках з очищення та відновлюються. Технологічне тепло можна використовувати для плавлення анодного скрапу та іншого мідного брухту без додавання первинного тепла. Концентрація діоксиду сірки варіюється на різних етапах перетворення залежно від стадії конвертування та типу печі, що використовується.

Конвертери типу Пірса-Сміта та Hoboken працюють у режимі періодичної дії (у цій главі вони називаються конвертерами Пірса-Сміта або аналогічними конвертерами). Це циліндричні ванні печі з бічними фурмами для продування повітрям/киснем. [21, COM 1991], [25, OSPARCOM 1996]. Піч Ausmelt/ISASMELT також використовувалася для періодичного перетворення штейну в чорнову мідь. Обертові конвертери з верхнім дуттям використовувалися в минулому для періодичного перетворення первинного мідного матеріалу в чорнову мідь, але більше не використовуються.

Безперервний процес конвертування штейну

Безперервними процесами конвертування, що використовуються в промисловості, є печі зваженого конвертування Kennecott-Outotec [52, Newman, C.J. et al. 1998], [62, Helle, L. et al. 1994] [66, George, D.B. et al. 1995], піч Mitsubishi (яка є частиною інтегрованої технології Mitsubishi) та конвертер Noranda [135, Gershel, T. 1998].

Печі Mitsubishi та Noranda отримують розплавлену сировину для перетворення. Навпаки, процес Kennecott-Outotec виглядає так: штейн із металоплавильної печі спочатку гранулюють у воді, дроблять і сушать. Потім матеріал усереднюють зі шлакоутворювальними речовинами та подають у пальник концентрату спеціальної печі зваженої плавки з використанням атмосфери з високим вмістом кисню; перетворення відбувається в завислих у повітрі частках. Процес утворює високу та постійну концентрацію діоксиду сірки, який вилучається. Шлак та чорнова мідь випускаються для подальшої обробки. Використання меленого штейну дає змогу збалансувати якість штейну зі швидкістю подання та ступенем збагачення киснем для забезпечення оптимальної ефективності перетворення, а також дозволяє розділити етапи виробництва штейну та перетворення.

Існують значні відмінності між концепцією конвертера періодичної та безперервної дії в експлуатації та у виході діоксиду сірки протягом усього циклу конвертування. Існують також відмінності в легкості уловлювання диму під час завантаження та в здатності плавити анодний брухт. У більшості процесів використовуються ковші для транспортування штейну, шлаку та чорнової міді, що може призвести до утворення дифузних викидів. В одному випадку вентиляційні гази з конвертерного прольоту уловлюються та очищуються, в іншому випадку використовується інтелектуальна вторинна система уловлювання димів [198, Velten 1999]

Процес конвертування сплаву

Конвертування сплаву є періодичним процесом, у якому обробляється сплав з електричної печі, що обслуговує піч прямої зваженої плавки чорнової міді. Один цикл конвертування триває близько восьми годин. Додається близько 5–6 тонн вапняку на одне завантаження, щоб полегшити випускання шлаку окисненого заліза та свинцю на першому етапі конвертування. Для запобігання переокисненню міді, у завантаження додають невелику кількість коксу (0,1–1 т). Коли вміст свинцю падає нижче 2%, починається друге продування, та в конвертер додається діоксид кремнію для зв'язування PbO. Процес завершується, коли вміст Pb опускається нижче 0,3%. Відхідні гази конвертера обробляються в спеціальній системі мокрого очищення, а суспензія, що містить 55–65% Pb, використовується на заводі з відновлення свинцю.

3.1.1.1.3 Вогняне рафінування (анодна піч)

Вогняне рафінування є ще одним етапом очищення чорнового металу (чорнової міді), одержаного на етапу конвертування. Стадія рафінування передбачає додавання повітря, а потім відновника (наприклад, вуглеводнів) для відновлення вмісту будь-якого присутнього оксиду. [21, COM 1991], [25, OSPARCOM 1996], [90, Traulsen, H. 1998].

Вогняне рафінування досягається шляхом продування розплавленого металу повітрям для окиснення домішок та видалення останніх слідів сірки (етап окиснення). На цьому етапі утворюється невелика кількість шлаку, який необхідно видалити перед наступним етапом. На наступному етапі (відновлення або «дражніння») додається джерело відновника, такий як природний газ або пропан, для часткового видалення кисню, розчиненого в рідкій міді. Аміак також можна використовувати у якості відновника, але, як повідомляється, він підвищує рівень вмісту NO_X [292, Kojo et al. 2006]. Історично склалося так, що у якості джерела відновника використовувалися дерев'яні стовпи або колоди (і досі використовуються в невеликій кількості випадків); цей процес називається дражнінням. У кількох установках використовується допалювач для обробки газів на етапі дражніння.

На заводах із виплавки первинного металу та деяких заводах із виплавки вторинного металу для вогняного рафінування використовуються циліндричні обертові печі (анодні печі). Ці печі подібні конвертеру Пірса-Сміта й використовують фурми для додавання газу. У них завантажується розплавлена мідь, мідний брухт та анодний скрап. У деяких вторинних процесах використовується відбивна піч із трубками для подання повітря, та в них подається тверда або розплавлена мідь (мідь з конвертера або мідний брухт). Деякі відбивні печі можуть нахилятися та оснащені фурмами. Гарячі гази з анодних печей часто використовуються для сушіння, випарювання кисню або інших цілей. Перемішування розплавленої міді іноді досягається шляхом продування азотом через пористі вставки в печі. Це покращує однорідність та підвищує ефективність [265, AJ Rigby et al 1999].

Обертові конвертери з верхнім дуттям також можна використовувати для етапу вогняного рафінування, та в цьому випадку в анодній обертовій печі відбувається тільки етап відновлення/дражніння.

Безперервний процес плавлення та рафінування (Contimelt) застосовується для плавлення та обробки чорнової міді, високосортного мідного брухту та анодного скрапу для виробництва мідних анодів. Він поєднує етап плавлення та етап вогняного рафінування (окиснення та відновлення) з литтям в одному безперервному процесі, забезпечуючи високу енергоефективність на всіх етапах та скорочення кількості викидів.

Також застосовуються комбінації подових шахтних печей (з подачею твердого матеріалу для періодичного плавлення) й обертових печей (для періодичного відновлення). Ці системи можуть застосовуватися для первинних (чорнових) та вторинних (брухт) матеріалів.

Потім метал з анодної печі відливається в аноди. Найчастіше використовуваною технологією є розливна карусель, що складається з низки ливарних форм, що мають форму аноду, розташованих по колу платформи, що обертається. Розплавлений метал спочатку надходить у розливний пристрій, звідки він дозується у форми для отримання постійної товщини анода, а карусель обертається, пропускаючи аноди через серію водяних струменів для їхнього охолодження. Аноди автоматично вилучаються з форм і поміщаються в охолоджувальні ванни для запобігання окиснення металу. Швидкість лиття досягає 200 тонн за годину.

Як альтернатива «формі для лиття з зупинкою» з карусельною системою, мідні аноди також виробляються безперервно з використанням двострічкової ливарної машини Hazelett. Отримується мідна стрічка з бажаною товщиною анода. Зі стрічки можна отримати аноди, розрізавши її на традиційні форми анода, або, відповідно до системи Contilanod®, відливаючи анодні втулки в спеціальні бічні блоки, розташовані через певні інтервали в ливарній машині Попередньо відформовані анодні пластини відрізаються за допомогою плазмотрону або спеціальних ножиць. Перевагою цього методу є однорідність отримуваних анодів; проте система потребує ретельного обслуговування, а експлуатаційні витрати є порівняно вищими.

3.1.1.1.4 Електролітичне рафінування

Використовується електролітична камера, що складається з литого мідного анода й катода, поміщених в електроліт, що містить сульфат міді та сірчану кислоту. Катод є або тонкою основою з чистої міді (матриця), або формоутворювальним листом з неіржавкої сталі (постійна катодна пластина) (процес Mount ISA, система постійного катода Outotec і система Noranda/Kidd Creek). [21, COM 1991], [25, OSPARCOM 1996], [90, Traulsen, H. 1998], [258, Finland input 2007]. За високої густини струму та низької напруги іони міді розчиняються з неочищеного анода й переходять у розчин, звідки осідають на катоді. Мідь видаляється з анода настільки, що анод, що залишився, був усе ще досить міцним, щоб запобігти руйнуванню. Анод, що залишився, потім повторно використовується у виробничому процесі, зазвичай у конвертері, для охолодження реакції та вилучення міді. У разі використання постійних катодних пластин, відкладення чистої міді можуть бути обідрані, а потім, як і тверді мідні катодні пластини, розплавлені та відлиті в необхідну форму.

Під час електролітичного рафінування відокремлюються інші метали, які містяться в анодах; менш благородні метали, такі як нікель, розчиняються в електроліті, а більш благородні метали, такі як дорогоцінні метали, селен і телур, утворюють анодний шлам, який осідає в електролітичних камерах. Анодні шлами періодично видаляють із камер і з них вилучають цінні метали (див. Глава 7, благородні метали).

Концентрація інших розчинених металів в електроліті збільшиться, оскільки вони не осаджуються на катоді. Для видалення розчинених під час електролітичного рафінування домішок частина електроліту відводиться із системи для очищення. У типових процесах очищення використовується електровідновлення міді, або на деяких заводах мідь відновлюється як сульфат міді. Випарювання, кристалізація та подальше рафінування відновлюють нікель у вигляді сульфату нікелю. Для обробки та видалення миш'яку використовуються такі технології: вилучення розчинником; осадження під час остаточного електровідновлення міді; осадження із чорної кислоти. У деяких випадках утворюється арсенат міді, який повторно використовується як вихідний матеріал у плавильному виробництві.

Видалення домішок під час електролітичного рафінування спрямоване отримання катодної міді з якістю, що принаймні дорівнює або є кращою за якість класу А стандарту Лондонської біржі металів. У Таблиці 3.3 наведено приклад складу анода та досягнутої якості катода. Варто зазначити, що рівень домішок в аноді впливає на якість катода; рівень домішок в анодах залежить також від джерела концентрату або вторинного матеріалу.

Таблиця 3.3: Приклад рівнів видалення домішок під час електролітичного рафінування

Елемент	Вміст в аноді ([1]) (г/т)	Вміст у катоді (г/т)
Срібло	600–720	9–10
Селен	50–510	< 0,5
Телур	20–130	< 0,5
Миш'як	700–760	< 1
Сурма	330–700	< 1
Вісмут	60	< 0,5
Свинець	990–500	< 1
Нікель	1000–5000	< 3
([1]) Якість анода залежить від складу сировини. *Джерело:* [121, Rentz, O. et al. 1999]		

Поточна тенденція полягає у використанні більших камер із більшою кількістю електродів у цеху електролізу та використанні катодних формувачів із неіржавкої сталі [90, Traulsen, H. 1998]. Підвищення ефективності спостерігається, коли ці фактори поєднуються з належним контролем якості анодів. Контроль якості необхідний для забезпечення того,

щоб аноди були прямими, плоскими, мали хороший електричний контакт і були належним чином піддані вогняному рафінуванню. Так само спостерігається покращення якості катода в разі використанні основ із неіржавкої сталі, оскільки менше домішок переносяться механічно та відповідно потрапляють у катод. Ці катодні основи дають збільшення виходу за струмом до 97% і навіть більше. У сучасних цехах електролізу використовується високий рівень автоматизації заміни катода та анода, а також видалення катодних відкладень із постійних катодних пластин [21, COM 1991], [25, OSPARCOM 1996]. Замість основ із неіржавкої сталі можна використовувати виготовлені механічним способом мідні матриці.

Процес електровідновлення міді описаний у Розділі 3.1.2.2.

3.1.1.1.5 Обробка шлаків із високим вмістом міді

Шлаки, отримані в результаті виплавки первинного матеріалу в багатий штейн і стадії конвертування, мають високий вміст міді та піддаються низці процесів обробки шлаку [90, Traulsen, H. 1998]. Одним зі способів є використання електричної печі для реакції шлаку з вуглецем у вигляді коксового дріб'язку або із самими електродами й для осадження мідного штейну, що утворився, з отриманням інертного шлаку. Електричні печі можуть працювати в безперервному або періодичному режимах. Конвертерний шлак може бути повернутий прямо в металоплавильну піч.

Як альтернатива, процеси флотації використовуються після повільного охолодження, дроблення та подрібнення шлаку, а отриманий флотаційний концентрат являє собою частину з високим вмістом міді, яка повертається в металоплавильну піч. Цей метод використовується тільки в тому випадку, якщо є достатньо місця та хвости можуть бути належним чином оброблені та утилізовані.

Електрична піч використовується також для обробки концентрату, відокремленого шляхом повільного охолодження та флотації конвертерного шлаку.

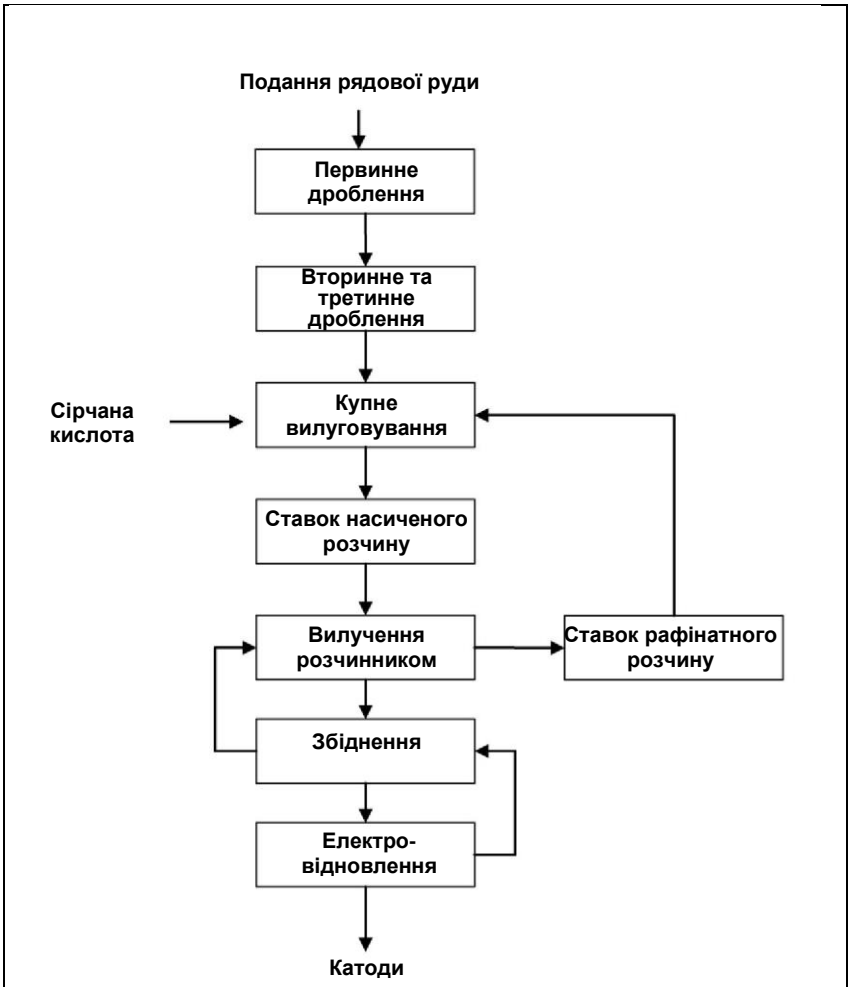
Шлаки від процесів обробки шлаку використовуються в проєктах цивільного будівництва, дорожнього будівництва, річкових набережних і в подібних галузях, а також у дробоструминній обробці, оскільки вони часто мають кращі властивості в порівнянні з альтернативними матеріалами. Дрібний матеріал використовується у якості заповнювача у виробництві цементу.

Інші шлаки, що мають високий вміст міді, такі як шлаки рафінування, зазвичай направляють на повторне використання на попередній етап технологічного процесу, в основному на етап конвертування або, на заводах із виплавки вторинного металу, на етап виплавки.

3.1.1.2 Гідрометалургійний спосіб

Цей процес зазвичай застосовується до окиснених або змішаних оксидних/сульфідних руд на об'єктах гірничодобувної промисловості, де є достатньо місця для вилуговування та обробки. Процес є особливо ефективним для руд, які важко збагачувати традиційними способами та які не містять дорогоцінних металів [54, Biswas, A.K. et al. 1976], [55, Kojo, I.V. et al. 1994], [134, Metallurgical Consulting Traulsen GmbH 1998]. Було розроблено декілька патентованих процесів, таких як Outotec L-SX-EW® та HydroCopper® [261, Nyman et al. 2002], [308, Haavanlammi 2007], [309, Pekkala 2007].

Основна схема гідрометалургійного процесу показана на Рисунку 3.2



Джерело: [137, Riekkola-Vanhanen, M. 1999]

Рисунок 3.2: Схема гідрометалургійного процесу

Гідрометалургійний спосіб передбачає дроблення руди з подальшим вилуговуванням із використанням сірчаної кислоти, іноді в присутності біологічних речовин, з використанням купного, чанового процесів або процесу перемішування [134, Metallurgical Consulting Traulsen GmbH 1998]. Потім розчин, отриманий у результаті вилуговування, освітлюють, очищають та концентрують шляхом вилучення розчинником. Потім мідь в органічному розчині вилучають сірчаною кислотою. Збіднений розчин, що містить переважно сульфат міді, направляють на етап електровідновлення.

3.1.2 Виробництво вторинної міді

Вторинна мідь виробляється за допомогою пірометалургійних процесів. Використовувані етапи процесу залежать від вмісту міді у вторинній сировині, її гранулометричного складу та вмісту інших компонентів [90, Traulsen, H. 1998] [121, Rentz, O. et al. 1999]. Як і для первинної міді, використовуються різні етапи для видалення цих компонентів і максимально можливого вилучення металів із залишків, що утворюються [219, VDI 2007].

Вторинний сировинний матеріал може містити органічні матеріали, такі як покриття, або бути оліїстим за своєю природою, й установки враховують це, використовуючи методи видалення оливи та покриття або правильну конструкцію печі та системи боротьби з викидами. Ціль полягає в тому, щоб пристосуватися до збільшення об'ємів димових газів, знищити ЛОС і мінімізувати утворення ПХДД/Ф або повністю знищити їх. Тип попередньої обробки або використовувана піч залежать від присутності органічних матеріалів, типу матеріалів, що завантажуються, наприклад, вміст міді та інших металів, а також від того, чи є матеріал оксидним або металевим.

Якщо піч, таку як конвертер, використовують для плавки неочищеного латунного брухту, щоб відокремити метали, що містяться в ньому, легувальні елементи випаровуються з міді, з утворенням чорної міді й пилу з фільтра з високим вмістом цинку.

Використовується широкий спектр вторинної сировини, деякі типи описані в Таблиці 3.4.

Таблиця 3.4: Вторинна сировина для виробництва міді

Тип матеріалу	Вміст Cu (% мас.)	Джерело
Змішаний мідний осад	1–25	Гальванічне покриття
Комп'ютерний брухт	15–20	Електронна промисловість
Однорідний мідний осад	2–40	Гальванічне покриття
Мідно-залізний матеріал (шматковий або мелений) з арматури, статорів, роторів тощо.	10–20	Електротехнічна промисловість
Латунний дрос, зола та шлаки, що містять мідь	10–40	Ливарні, заводи з виробництва напівфабрикатів
Латунний дрос із низьким вмістом цинку, зола та шлаки, з низьким вмістом цинку, що містять мідь	10–40	Ливарні, заводи з виробництва напівфабрикатів
Подрібнений матеріал	30–80	Заводи з подрібнення
Мідно-латунні радіатори	60–65	Автомобілі
Змішаний брухт латуні з низьким вмістом цинку	70–85	Водоміри, зубчасті колеса, клапани, крани, деталі машин, корпуси підшипників, пропелери, деталі для кріплення
Легкий мідний брухт	88–92	Мідні листи, карнизи, водостоки, бойлери, нагрівачі
Важкий мідний брухт	90–98	Листи, мідне висічення, напрямні рейки, дроти, труби
Змішаний мідний брухт	90–95	Легкий та важкий мідний брухт
Мідні гранули	90–98	Від подрібнення кабелю
Чистий брухт №1	99	Напівфабрикати, дріт, стружка, стрічки
Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]		

Етапи, що використовуються для виробництва вторинної міді, загалом подібні до етапів виробництва первинної міді, але сировина зазвичай є оксидною або металевою, тому умови процесу різняться. Отже, плавка вторинної сировини відбувається у відновлювальних умовах.

3.1.2.1 Етап виплавки вторинної міді

Низка печей, таких як доменна піч, міні-металоплавильна піч, обертова піч з верхнім дуттям, герметична дугова електропіч із зануреною дугою, піч Ausmelt/ISASMELT (система KRS або система перероблення Kayser), відбивна та обертова печі, використовуються для плавки матеріалу низької та середньої якості [26, McLellan and Partners Ltd 1993], [90, Traulsen, H. 1998] [121, Rentz, O. et al. 1999]. Системи Contimelt використовуються для високосортного мідного брухту (> 99% Cu).

Тип печі та етапи процесу залежать від вмісту міді у вторинній сировині, її гранулометричного складу та вмісту інших компонентів. Тому виплавка та рафінування вторинної міді є складним процесом, і тип вторинних матеріальних ресурсів, які можуть бути оброблені, залежить від конкретних наявних установок та печей [90, Traulsen, H. 1998]. Детальну інформацію про печі наведено в Главі 2. Маршрут виробництва вторинної міді показаний на Рисунку 3.3.

Залізо (у вигляді залізистої міді, звичайного залізного брухту тощо), вуглець (у вигляді коксу або природного газу) та флюсувальні матеріали додаються для відновлення оксидів металів, якщо це необхідно, а процеси працюють відповідно до вихідного матеріалу. Відновлювальна плавка призводить до випаровування в основному цинку, олова та свинцю, які викидаються у вигляді оксидів із відхідними газами й уловлюються в системі пиловловлювання. Вміст пилу, діоксиду сірки, ПХДД/Ф та ЛОС у димових газах печей залежить від сировини. Для подальшого очищення після відділення пилу відхідні гази можуть бути направлені на установку з виробництва сірчаної кислоти контактним способом після додаткового мокрого очищення [219, VDI 2007]. Уловлений димовий пил прямує на подальшу обробку для відновлення металів, відокремлених від вихідних матеріалів.

Металоплавильна міні-піч також використовується для виробництва вторинної міді з використанням брухту, що містить залізо та олово. У цьому випадку залізо діє як відновник на першому етапі для отримання металевої міді, а потім у розплав вдувається кисень для окиснення заліза та інших присутніх металів (свинцю й олова), які відновлюються зі шлаку. Окиснення заліза забезпечує тепло, необхідне для управління процесом, а надлишкове тепло регенерується.

У процесі KRS використовується піч Ausmelt/ISASMELT (див. Розділ 13.1.2.7) [234, UBA (D) 2007]. Ця комбінація є передовою технологією, яка замінює традиційну технологію доменної печі/конвертера у вилученні кольорових металів із вторинної сировини. Типові вихідні матеріали включають вторинну сировину, що містить мідь та дорогоцінні метали, що утворюються від виплавки та рафінування міді, мідних ливарень, металообробної промисловості або заводів із перероблення матеріалів, що містять мідь, таких як електричний та електронний брухт, брухт мідних сплавів, шлаки з високим вмістом міді, мідний дрос, пил з фільтрів та циклону, осадження та осад волочіння дроту.

Загалом електричні печі переробляють ті самі матеріали, що й печі KRS або доменна піч. Електрична піч вимагає меншої кількості введеного матеріалу на тонну виробленої чорної міді, ніж доменна піч, яка, на відміну від електричної печі, не може нормально працювати без утворення шлаку.

3.1.2.2 Конвертування, вогняне рафінування, обробка шлаку, електролітичне рафінування та перероблення чистого брухту сплавів

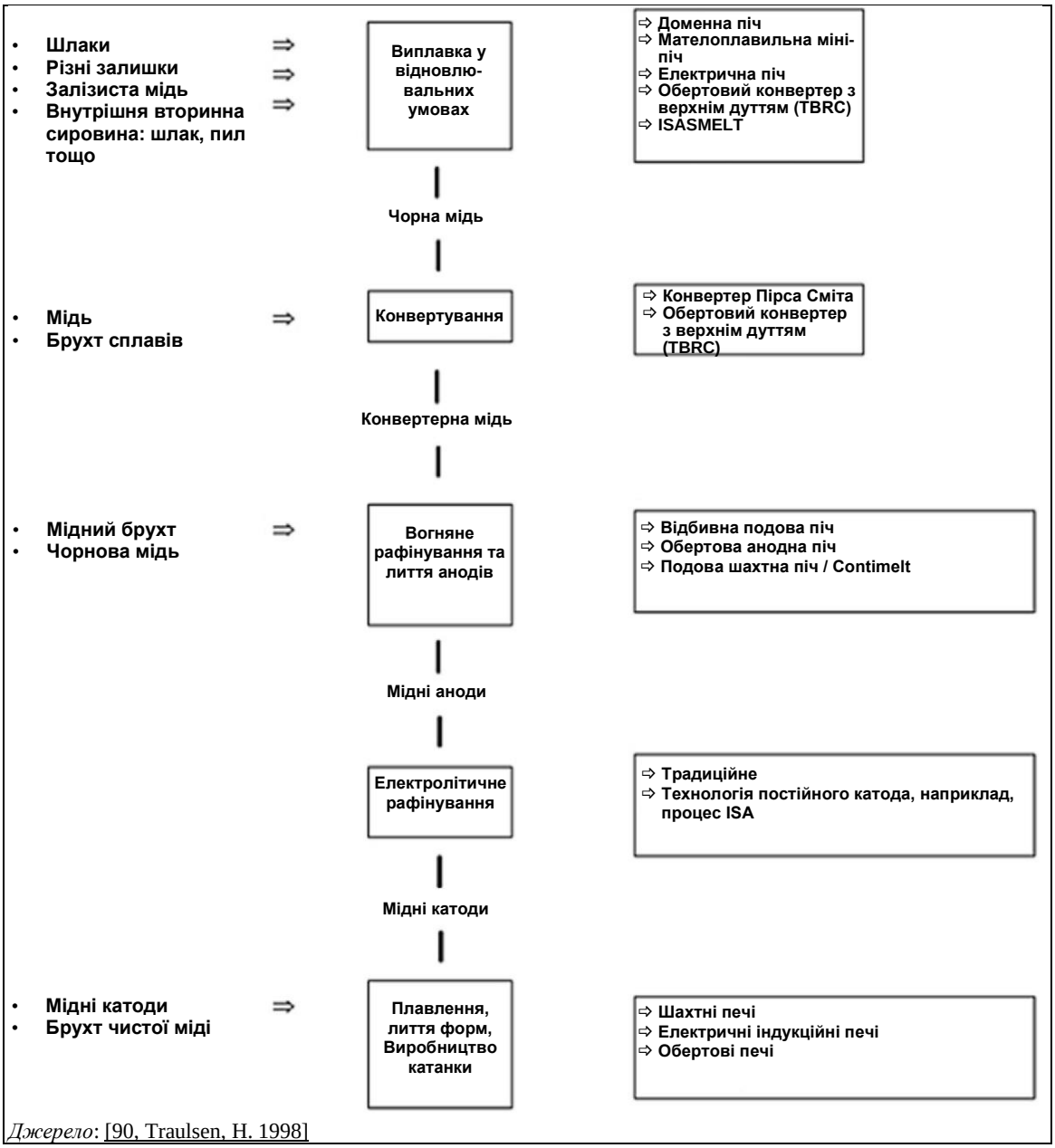
Використовуються такі ж конвертерні та рафінувальні печі, як і для виробництва первинної міді, а також ті ж системи обробки шлаку та процеси електролітичного рафінування. Основна відмінність полягає в тому, що конвертери, які використовуються для виробництва вторинної міді, обробляють метал, а не штейн. Ці печі зазвичай використовують природний газ у якості палива та кокс у якості відновника для плавлення та компенсування дефіциту технологічного тепла, тоді як у первинних конвертерах штейн забезпечує необхідне технологічне тепло [90, Traulsen, H. 1998]. Вторинні конвертери також окиснюють і перетворюють на шлак другорядні елементи, такі як залізо, та інші метали, такі як цинк або олово, відокремлюються шляхом випаровування. У них виробляється конвертерна мідь такої якості, яка підходить для вогняного рафінування.

Тепло реакції під час вдування повітря в конвертер використовується для випаровування металевих компонентів; шлакоутворювальні речовини використовуються для видалення заліза та певної кількості свинцю. Печі вогняного рафінування також використовуються для плавлення брухту вищого сорту. Існують потенційні джерела дифузних викидів від вторинних конвертерів.

Шлами електролітичного рафінування та відпрацьовані розчини також є джерелами дорогоцінних металів та інших металів, таких як нікель. Для їхнього вилучення застосовуються ті самі технології, що й у виробництві первинної міді.

Мідні сплави, такі як бронза та латунь, також використовуються як вторинна сировина в низці процесів. Якщо вони забруднені або змішані з іншими сплавами, вони переробляються в циклах вторинної виплавки та рафінування, як описано в Розділі 3.1.2.1 вище [219, VDI 2007].

Чистий метал використовується безпосередньо для виготовлення напівфабрикатів. Індукційні печі використовуються для плавлення чистого матеріалу з подальшим литтям у форми, призначені для наступного етапу виготовлення. Аналіз та контроль складу матеріалу, що завантажується, застосовується для забезпечення бажаного сплаву без значних добавок металу в первинній формі. Оксид цинку можна зібрати з пилу з фільтрів.



Джерело: [90, Traulsen, H. 1998]

Рисунок 3.3: Загальна схема виробництва вторинної міді

Залежно від типу вихідних матеріалів на деяких заводах на першому етапі утворюється димовий пил із високим вмістом цинку та свинцю, наприклад, під час виплавки в доменній печі матеріалу нижчого сорту. Цей пил містить до 65% цинку та свинцю і є придатним вихідним матеріалом для обробки в процесах виробництва свинцю та цинку.

Ще один варіант вилуговування використовується компанією Umicore у Бельгії, де мідний штейн виробляється в печі Ausmelt/ISASMELT. На другому етапі мідний штейн, що залишається в печі, конвертується в чорнову мідь і виливається в рафінувальну піч, де піддається подальшому рафінуванню для отримання належної якості чорнової міді. Потім чорнову мідь гранулюють, гранули розчиняють в автоклаві, а з отриманого розчину отримують чисту мідь шляхом електровідновлення, [228, COM 2007], [238, ECI 2012].

Електровідновлення використовується для вилучення міді з розчинів сульфату міді, отриманих у результаті вилуговування нечистої міді або гідрометалургійного процесу вилучення розчинником. У процесі електровідновлення використовується нерозчинні аноди, такий як свинцеві або титанові, та основи з неіржавкої сталі або мідні матриці у якості катодів. Іони міді видаляються з розчину й осідають на катоді, так само як під час електролітичного рафінування. Мідь з катодів обдирається, так само як і в разі використання постійних катодних основ. Електроліт циркулює через декілька камер і збіднюється міддю. Потім електроліт повертається у цикл екстракції розчинником. Частина електроліту зазвичай випускається для контролю домішок, які могли бути перенесені під час вилучення розчинником.

Через напругу розкладання напруга в камері електровідновлення приблизно в п'ять разів вище, ніж у рафінувальній ванні. Коли електровідновлення використовується для вилучення міді з розчинів сульфату міді, частина розчину має бути випущена для видалення миш'яку й нікелю.

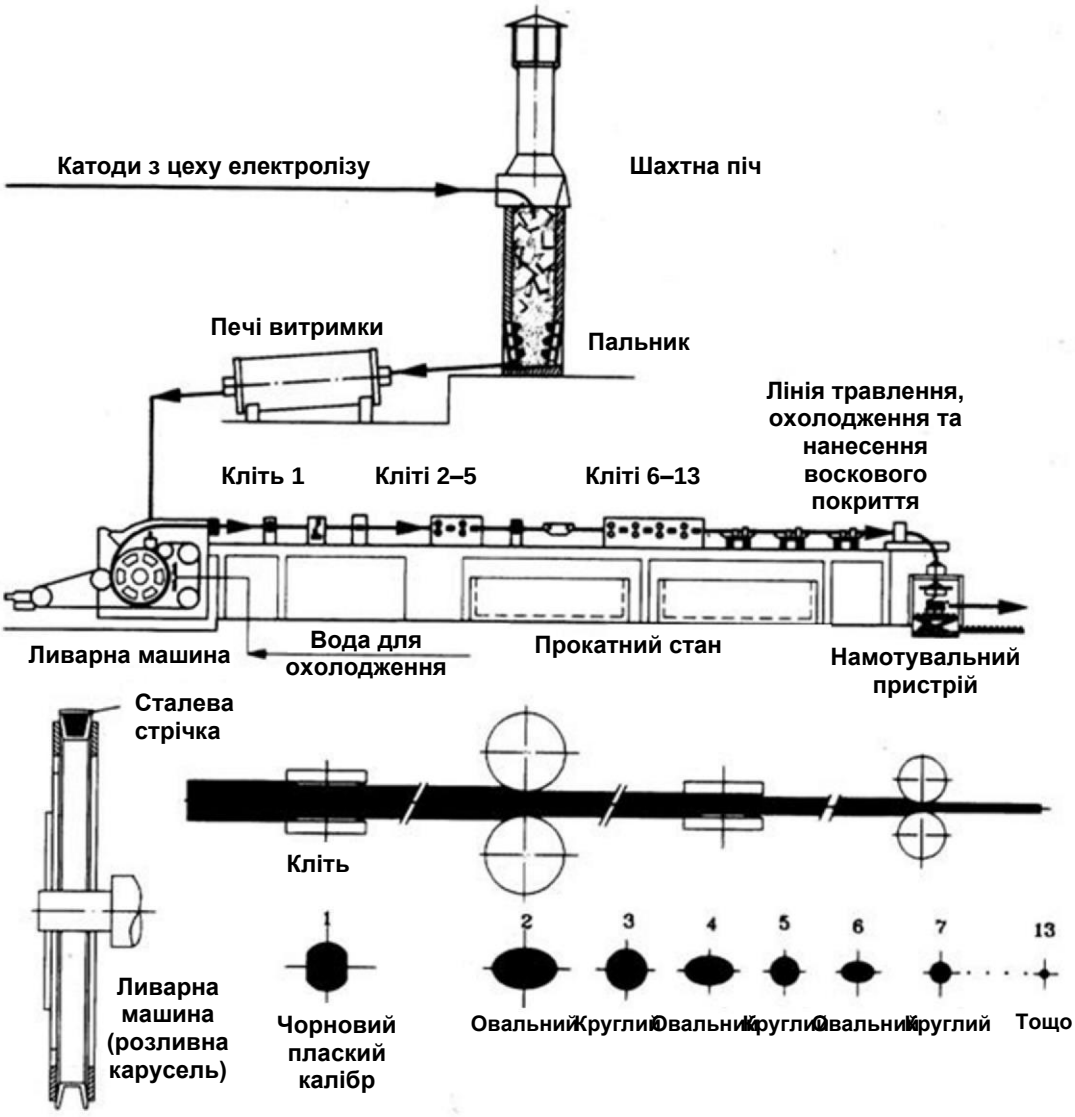
3.1.3 Виробництво катанки

Катанка виготовляється з катодів із рафінованої електролітичним способом міді високої чистоти, що гарантує мінімізацію слідів домішок, які можуть вплинути на провідність, здатність до відпалу та гарячеламкість. Особлива увага приділяється контролю режимів роботи печі, щоб мінімізувати абсорбцію кисню металом. Процеси описані нижче [114, Eurometaux 1998].

3.1.3.1 Процес Southwire

Шахтні печі використовуються для плавлення мідних катодів та іншого брухту чистої міді. Досягається швидкість плавлення приблизно 60 т/год. Приклад процесу Southwire показаний на Рисунку 3.4.

Вихідні матеріали плавляться за допомогою пальників, що працюють на природному газі, пропані або аналогічних пальників, розташованих рядами навколо кожуха печі. Паливо спалюється в суворо контрольованих умовах горіння, щоб підтримувати слабко відновлювальну атмосферу (менше ніж 0,5–1,5% CO або H_2) у зонах, де гази контактують із міддю, щоб мінімізувати вміст кисню в міді. Це досягається через незалежний контроль співвідношення палива та повітря для кожного пальника шляхом контролю вмісту CO або H_2 у газоподібних продуктах згорання від кожного пальника по черзі.



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]

Рисунок 3.4: Приклад процесу Southwire

Гази з печі охолоджуються, а пил видаляється за допомогою тканинних фільтрів. Допалювання також можна застосовувати для знищення CO, якщо його концентрація є високою.

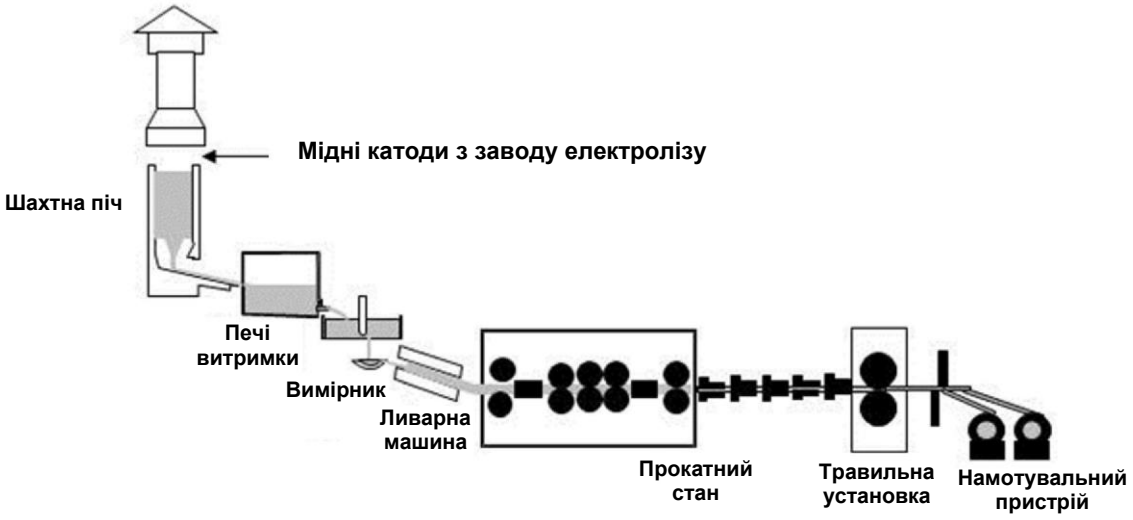
Розплавлена мідь вивантажується з нижньої частини шахтної печі та прямує в циліндричну піч витримки для регулювання температури та балансування металу, а також для металургійної обробки. Для підтримки температури розплавленої міді та відновлювальної атмосфери в жолобах передбачені пальники, що працюють на природному газі. Піч витримки, яка також працює на природному газі або аналогічному паливі, служить резервуаром для забезпечення постійного потоку металу в процес лиття і, у разі необхідності, може використовуватися для перегріву металу.

Розплавлена мідь тече з печі витримки через розливний пристрій, обладнаний регулятором потоку, на розливну карусель. Водоохолоджувана сталева стрічка охоплює більш ніж половину кола каруселі, утворюючи ливарну порожнину, у якій розплавлена мідь твердіє, утворюючи литу заготівку трапецієподібної форми площею від 5000 мм^2 до 8300 мм^2. Ацетилен, спалений із повітрям, використовується для покриття нагаром розливної каруселі та сталевої стрічки. Після вирівнювання й обрізання відлита заготівка притискними роликами подається в прокатний стан, що складається з чорнової та чистової ділянок, де заготівку обробляють до кінцевого діаметра. Емульсія мінеральної оливи або синтетичний водний розчин використовуються як рідина для прокатки[219, VDI 2007].

3.1.3.2 Процес Contirod

Шахтна піч, як описано вище, використовується для плавлення міді. Розплавлена мідь із печі тече через жолоб, обладнаний сифонами, в обертову піч витримки з газовим нагрівом. Потім мідь надходить у розливальну лійку, яка автоматично регулює швидкість подання в ливарну машину [114, Eurometaux 1998]. Приклад процесу Contirod показано на Рисунку 3.5.

Можна також використовувати двострічкову ливарну машину Hazelett [121, Rentz, O. et al. 1999], [219, VDI 2007]. У ній дві стрічки охолоджуються безперервною водяною плівкою, яка рухається з високою швидкістю по всій довжині поверхні стрічок. Бічні блоки автоматично охолоджуються в спеціально розробленій зоні охолодження, розташованій на зворотному шляху петлі. Залежно від розміру заводу площа поперечного перерізу заготівки може становити від 5000 мм^2 до 9100 мм^2, а потужність від 25 до 50 тонн на годину. Прямокутна заготівка охолоджується, чотири кути фрезерують для видалення облою, а потім заготівка надходить у прокатний стан із горизонтальними та вертикальними проходами, що чергуються, для отримання кінцевого продукту. Емульсія мінеральної оливи або синтетичний водний розчин використовуються як рідина для прокатки.



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]

Рисунок 3.5: Приклад процесу Contirod

3.1.3.3 Процеси Properzi та Secor

Безперервні процеси Properzi та Secor аналогічні до процесу Southwire (див. Розділ 3.1.3.1) з відмінностями в геометрії лиття [114, Eurometaux 1998]. Характеристики, описані для процесу Southwire, також дійсні для цих двох систем виготовлення мідної катанки.

3.1.3.4 Процес Upcast

Мідь плавиться в канальній індукційній печі. Розплав порціями подається в індукційну піч витримки. Для невеликих обсягів потужностей можливо достатньо однієї комбінованої печі плавлення-витримки [114, Eurometaux 1998].

Тяглова машина Upcast розташована над піччю витримки. Водоохолоджувані графітові матриці занурюються на певну глибину в розплав, і розплавлена мідь безперервно надходить у матриці, де вона твердне й підтягується до притискних роликів. Затверділа катанка витягується вгору притискними роликами.

3.1.3.5 Процес витягування з розплаву на затравці

Підігрітий вихідний матеріал вивантажується в канальну плавильну індукційну піч. Мідь надходить у піч витримки та тигель, прикріплений до печі витримки. Стрижень-заготівка діаметром 12,5 мм протягується через вхідну матрицю в основі тигля. Волочіння електродного дроту через ванну металу та контроль кінцевого діаметра через верхню матрицю збільшує діаметр. Відлита заготівка прямує через ролики, що регулюють натяжіння стрічки, на прокатний стан із трьома клітями для виробництва катанки діаметром 8,0 мм та 12,5 мм [114, Eurometaux 1998].

3.1.4 Виробництво напівфабрикатів із міді та мідних сплавів

Мідь та мідні сплави плавляться в безперервному або періодичному процесах та відливаються для отримання форм, придатних для наступного етапу виробництва [219, VDI 2007]. Лита продукція є вихідним матеріалом для виробництва різних матеріалів, таких як листи, стрічки, профілі, виливки, катанка, дріт та труби.

Загальну схему виробництва напівфабрикатів показано на Рисунку 3.6.



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]

Рисунок 3.6: Основна схема виробництва напівфабрикатів

3.1.4.1 Процес плавлення

Мідь або мідні сплави можна плавити в періодичному процесі в електричних або індукційних печах (тигельного або канального типу). Коли потрібна висока швидкість плавлення, застосовують також безперервне плавлення міді в шахтній печі. Тигельні або відбивні печі також використовуються для плавлення та вогняного рафінування міді. Системи уловлювання та зниження викидів диму обираються залежно від сировини та ступеня наявного забруднення. Газ, уловлений з електричних печей, зазвичай очищають у циклонах, а потім у тканинних фільтрах. Для шахтних печей, що працюють на газі, управління роботою пальників є вирішальним фактором для мінімізації вмісту CO у газах, що викидаються. Допалювач зі встановленою за ним системою регенерації тепла використовується, якщо вміст CO є досить великим (наприклад, > 5% CO); тканинні фільтри використовуються також для видалення пилу із шахтних печей.

Мідні катоди, мідний брухт та брухт сплавів використовуються як сировина та зазвичай зберігаються у відкритих відсіках, щоби можна було змішувати різні сплави для отримання кінцевого сплаву. Це попереднє усереднення є важливим фактором для зменшення часу, необхідного для приготування розплаву, що також зводить до мінімізації енергії, що використовується, та знижує залежність від дорогих лігатур. В індукційних печах брухт нарізається на невеликі шматки для підвищення ефективності плавлення та полегшення використання витяжок тощо.

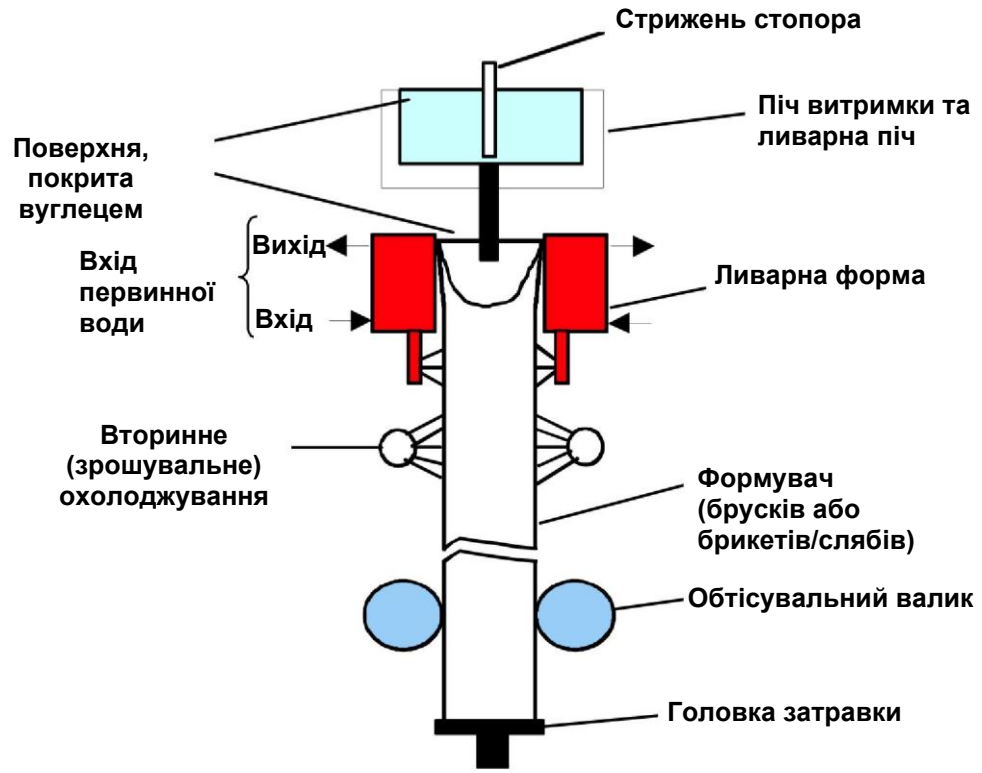
Сировина також включає латунну або мідну стружку, в цьому випадку вони покриті мастилами. Вживаються заходи для запобігання витоку оливи із зони зберігання та забруднення підземних та поверхневих вод. Так само для видалення мастил та інших органічних забруднювальних речовин використовуються сушарки для стружки або інші печі, а також методи знежирення розчинниками або водою [219, VDI 2007].

Під час плавлення латуні або бронзи з печі виділяється цинк; належний контроль температури може це мінімізувати. Дим уловлюється в системі видалення газів та видаляється в тканинному фільтрі. Оксид цинку зазвичай відновлюється. Також проводиться певне вогняне очищення, та дими, що утворюються, враховуються під час розробки проєктуванні систем уловлювання та зниження викидів диму.

3.1.4.2 Лиття

Зазвичай розплавлений метал із печі або секції витримки може розливатися безперервно або періодично [114, Eurometaux 1998]. У безперервному литті використовується або вертикальний або горизонтальний режим, тоді як у періодичному литті зазвичай використовується вертикальний режим. Також використовуються технології Upcast. Бруски та брикети/сляби виробляються та піддаються подальшій обробці.

Принцип безперервного або напівбезперервного лиття наведено на Рисунку 3.7.



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]

Рисунок 3.7: Принцип безперервного або напівбезперервного лиття напівфабрикатів

Стандартними формами, отримуваними в результаті лиття, є [114, Eurometaux 1998]:

- бруски в переважно виробляються з міді та мідних сплавів для виробництва труб, прутків і профілів методом безперервного або періодичного лиття;
- сляби або брикети відливають із міді та мідних сплавів для виробництва листів та стрічок методом безперервного чи періодичного лиття.

Метал розплавляється та проходить через печі витримки у вертикальну або горизонтальну формувальну ливарну машину. Відрізки брусків відпилюються для подальшого процесу виробництва. Для виробництва спеціальних виробів із міді та мідних сплавів застосовуються спеціальні процеси:

- процес Upcast для дротів та труб;
- горизонтальне безперервне лиття стрічок та профілів;
- процеси вертикального лиття та прокатки стрічки для виробництва мідних труб.

Заготівка, розлита на вертикальних або горизонтальних розливних агрегатах, розрізається за допомогою техніки летючої пили. В агрегаті періодичного лиття довжина форми визначається глибиною ливарної ями. Після досягнення максимальної довжини лиття припиняється та вилучається краном або підіймачем. У разі безперервного лиття не потрібно переривати процес лиття. Усі операції лиття вимагають прямого охолодження водою для остаточного затвердіння та охолодження відлитої заготівки до температури, придатної для подальшої обробки. Охолоджувальна вода може бути перероблена після седиментації та відокремлення твердих часток (окалини лиття). Якщо окалина не забруднена графітом або іншими частками, її повертають до плавильного заводу для

перероблення, якщо вона не використовується повторно безпосередньо в ливарному цеху.

Порівняння експлуатаційних даних для типових вертикальних та горизонтальних установок безперервного лиття наведено в Таблиці 3.5.

Таблиця 3.5: Порівняння експлуатаційних даних для типових вертикальних та горизонтальних установок безперервного лиття

Параметр	Вертикальне безперервне лиття	Горизонтальне безперервне лиття
Діаметр заготівки	70–1500 мм	150–400 мм
Потужність	8 тонн/(на годину та один рівчак)	8 тонн/(на годину та один рівчак)
Швидкість лиття	80–800 мм/хв	80–200 мм/хв
Температура лиття	980–1200°C	980–1200°C
Режим роботи	Одно- або багаторівчакові	Одно- або багаторівчакові
Цикл витягування	Безперервний	Безперервний або циклічний
Вторинне охолодження	Застосування водного зрошування	Застосування водного зрошення не є обов'язковим, хоча можливе
Тип форми	Мідна форма, графітова форма	Графітова форма
Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]		

3.1.4.3 Виготовлення труб, профілів та прутків

Лінії виробничого процесу можна розділити на дві групи продуктів, кожна з яких використовує одні й ті самі етапи процесу:

- мідні труби прямі та в бухтах;
- труби з міді (мідних сплавів), а також прутки, виливки, дріт та профілі з міді та мідних сплавів.

В обох випадках вихідним матеріалом для процесу виготовлення є бруски з міді або мідних сплавів. Бруски на першому етапі підігріваються електричним або непрямим способом за допомогою установок, що працюють на газі, а потім пресуються в необроблені труби за допомогою екструзійних пресів із гідравлічним приводом [219, VDI 2007]. Для виготовлення мідних труб, залежно від типу продукції, що виробляється, у промисловості застосовуються різні процеси:

- екструзія труб із подальшим багатоступеневим волочінням до необхідного розміру;
- екструзія труб із подальшою обтискною прокаткою з подальшим волочінням до необхідного розміру в кілька етапів;
- Стан гарячого прошивання з подальшою обтискною прокаткою заготівки та волочінням до необхідного розміру.

Під час екструзії або прокату брусків для отримання труб із товстими стінками, на першому етапі зменшення розміру зазвичай краще застосовувати обтискну прокатку.

Для виготовлення труб із тонкими стінками методом екструзії використовуються машини для волочіння труб.

Для виготовлення прутків, виливків, дроту та профілів із мідних сплавів зазвичай використовуються процеси екструзії матеріалу в бухтах або прямих відрізках із подальшим очищенням і травленням, волочінням до необхідного розміру (з використанням волочильних станів або машин безперервного волочіння), термічною обробкою для окремих сплавів, випрямленням та розпилюванням.

Весь процес, починаючи з екструзійного преса або стану гарячого прошивання, є послідовністю (у більшості випадків) етапів зменшення, що дають змогу змінити форму та розмір. Під час цих етапів обробки інструменти обладнання для зміни розміру та форми охолоджуються та захищаються спеціальним середовищем із використанням емульсій для обтискної прокатки та мастил для волочильних агрегатів. Емульсії для обтискної прокатки очищаються шляхом фільтрування, що збільшує строк експлуатації та знижує кількість

мастила, що підлягає утилізації після очищення. Однак мастила, що використовуються для етапів волочіння, повністю втрачаються разом із продуктом, і ніякі оліїсті матеріали не повинні відкидатися з процесів волочіння.

Вироби зазвичай піддаються відпалюванню та знежиренню перед транспортуванням, а обрізки знежирюють у печі або за допомогою інших процесів знежирення перед поверненням у піч для плавлення. Вироби відпалюють у різних печах у відновлювальних умовах із використанням екзогазу або сумішей водню та азоту (як захисного газу).

Мідні труби можуть також бути виготовлені з використанням екструзійного преса з прошивним станом, у якому відрізки брусків пресуються в шматки трубної заготівки; потім шматки трубної заготівки піддаються обтискній прокатці (пільгерстан) і, нарешті, волочінню до необхідного розміру у волочильних барабанах. Олива, що використовується (у невеликих кількостях) для операцій волочіння, нейтралізується за допомогою вбудованих систем знежирення/травлення, часто пов'язаних із секцією відпалювання.

3.1.4.4 Виготовлення листів та стрічок

Сляби та брикети з ливарного цеху здебільшого є вихідним матеріалом для виготовлення листів та стрічок. Ключовими елементами процесу виготовлення плоского прокату є операції гарячої та подальшої холодної прокатки. Процес виготовлення складається з таких етапів:

- попереднє нагрівання;
- гаряча прокатка та фрезерна обробка;
- холодна прокатка;
- проміжне відпалювання;
- травлення, промивання та сушіння;
- повторна прокатка та відпалювання заготівки
- Чистова обробка:
  - листи (нарізання по довжині)
  - стрічки (нарізання по ширині)

Гаряча прокатка литих слябів потребує від 15 до 20 слябів, доки не буде досягнуто кінцевої форми, що визначається вагою сляба. Втрати металу під час гарячої прокатки відсутні, тому вага слябу та бунта однакова. Стан гарячої прокатки не потребує захисного газу. Рівень шуму під час прокатки контролюється за допомогою захисних заходів [234, UBA (D) 2007].

Гаряча прокатка зазвичай проводиться на подвійному прокатному стані, оснащеному стелажами до 200 м завдовжки та пристроєм кінцевого намотування. В охолоджувальну воду для роликів додано невелику кількість мастила для покращення зчеплення зі сталевими роликами. Пара, що утворилася, відводиться, а відхідний газ зневоднюється перед викидом в атмосферу.

Потім виконуються подальші операції холодної прокатки. Холодна прокатка призводить до затвердіння металу Найчастіше бунт відпалюють перед холодною прокаткою. Відпалювання проводять у відновлювальних умовах, щоб уникнути окиснення. Використовується захисний газ у вигляді екзогазу або суміші азоту та водню. Екзогаз отримується на об'єкті з природного газу в спеціальному реакторі непрямого нагріву. Азот та водень закуповуються та зберігаються на об'єкті в спеціальних резервуарах. Суміші захисних газів N_2/H_2 отримують із резервуарів для зберігання шляхом змішування компонентів у необхідному співвідношенні. Для відпалювання перед холодною прокаткою застосовують ковпакові печі з електричним нагрівом або непрямим нагрівом природним газом або мазутом. Печі баштового типу використовуються для проміжного відпалювання попередньо прокатаних бунтів.

Товщина листа додатково зменшується шляхом поетапної холодної прокатки на різних реверсивних станах. Для холодної прокатки використовуються різні типи станів, які називаються Duo, Quarto, Sexto та Sendzimir (12 роликів). Також застосовуються

конструкції прокатних станів, такі як одноклітинні стани, об'єднані з багатоклітинним прокатним станом, де кліті розташовані послідовно. Вибір стану залежить від товщини листа та бажаних розмірів бунта.
При холодній прокатці для захисту роликів використовується емульсія або олива. Тому прокатні кліті вентилюються, а вентиляційні гази очищаються механічними фільтрами, мокрими електростатичними фільтрами або скруберами. Емульсія та олива очищаються від часток металу та крекінгового мазуту паперовими або тканинними смуговими фільтрами.

Типові дані для процесу виробництва латунної стрічки наведено в Таблиці 3.6.

Таблиця 3.6: Типові дані для процесу виробництва латунної стрічки

Гаряча прокатка	**Технологічні дані**
Тип стану	Переважно Duo
Вихідні розміри	Товщина 250–130 мм, ширина 450–1000 мм
Кінцеві розміри	Товщина 15–12 мм, ширина 450–1000 мм
Температура	750–800°C
Зусилля прокатки	~ 10–12 кН/мм по ширині листа
Обробка поверхні	0,3–0,7 мм обрізання з обох поверхонь
Перша холодна прокатка	
Тип стану	Переважно Quarto
Зусилля прокатки	~ 15–20 кН/мм по ширині листа
Зменшення розмірів і швидкість прокатки	Зменшення товщини з 15 мм до 4 мм за декілька проходів, швидкість 100–200 м/хв
Коефіцієнт перетворення	70–80%
Відпалювання ([1]) (рекристалізація)	
Температура	550–600°C
Друга та остаточна прокатка	
Тип стану	Переважно Quarto або, як альтернатива, залежно від товщини листа, Sexto або кліті з 20 роликами
Зусилля прокатки	~ 2–10 кН/мм по ширині листа, залежно від типу стану, що використовується
Швидкість прокатки	Зменшення з 4 мм до 1 мм: 300–500 м/хв, декілька проходів або зменшення з 1 мм до 0,1 мм: 500–1000 м/хв, декілька проходів
Різання листів на стрічки	
Тип обладнання	Машина поздовжнього різання стрічок
([1]) Відпалювання необхідно виконувати кожного разу, коли коефіцієнт перетворення перевищує 70–80%; вибір температури відпалювання залежить від властивостей матеріалу, яких необхідно досягти. *Джерело:* [121, Rentz, O. et al. 1999]	

3.1.5 Виробництво виливків міді та мідних сплавів

Виливки міді або її сплавів виготовляються для ливарної промисловості з використанням процесу лиття в стаціонарні форми. Широкий спектр сплавів виробляється з іншими металами, такими як нікель, олово, цинк та алюміній.

Виробництво виливків вимагає дотримання точного складу сплавів. Це досягається на етапі приймання та зберігання сировини шляхом розділення та сортування. Старий брухт зазвичай зберігається у відкритих відсіках, щоб можна було змішувати різні сплави для отримання кінцевого сплаву. Попереднє усереднення є важливим фактором для зменшення часу, необхідного для приготування розплаву, що також зводить до мінімізації енергії, що використовується, та знижує залежність від дорогих лігатур. Мідь або мідні сплави можна плавити в періодичному процесі в обертових або індукційних печах. Обертові печі зазвичай використовуються для більш забрудненого брухту, також часто використовуються киснево-паливні пальники. Для відокремлення небажаних компонентів, зокрема заліза, можна додавати флюси, а шлак випускати окремо від металу. Вихід придатного металу коливається від 70% до 97%, але залежить від використовуваної сировини [103, COM 1998].

Системи уловлювання та зниження викидів диму обираються залежно від сировини та ступеня наявного забруднення. Доступ до індукційної печі для завантаження та випускання означає, що використовується система рухомих витяжок. Витяжки є надійними, тому вони можуть витримувати деяке механічне навантаження. Газ, уловлений з індукційних печей, зазвичай очищають у циклонах, а потім у тканинних фільтрах. У випадках органічного забруднення можна використовувати допалювач із подальшою системою регенерації тепла. Як альтернатива, система контролю згорання в печі має забезпечувати спалювання забруднювальних речовин.

Під час плавлення латуні або бронзи з печі виділяється цинк, але належний рівень контролю температури в печі може це мінімізувати. Дим уловлюється в системі видалення газів та зазвичай видаляється в тканинному фільтрі. Оксид цинку зазвичай відновлюється. Також проводиться певне вогняне очищення для коригування складу сплаву, а дими, що утворюються, враховуються під час розробки проєктуванні систем уловлювання та зниження викидів диму.

Розплав печі відбирається, проводиться його аналіз, і здійснюється остаточне коригування сплаву. Потім метал випускається у криті жолоби, що подають матеріал у ланцюг виливниць. Виливниці зазвичай обробляють мінералом, щоб запобігти прилипанню та утворенню пари оливи. Оливу можна вловити та спалити.

Охолоджені виливки укладаються в штабелі, зв'язуються та зберігаються на відкритому повітрі на піддонах.

3.1.5.1 Лігатури

Завантаження печі зазвичай попередньо регулюють відповідно до використовуваного сплаву, але розплавлений метал можна переносити в ківш або піч витримки, щоб можна було точно відрегулювати склад сплаву перед литтям. З цією метою використовуються лігатури, такі як CuP, CuNi, CuZnPb і CuBe. Ці лігатури виробляються в тих самих печах, що описані вище; характер диму й пилу від виробництва лігатур впливає на управління технологічним процесом, а також на системи уловлювання та боротьби з викидами, що використовуються. Більш суворі системи експлуатації та боротьби з викидами особливо доцільні, коли використовуються надзвичайно небезпечні матеріали, такі як берилій, або коли для виробництва сплаву додаються хімічно активні матеріали, такі як фосфор. Наприклад, міднофосфорна лігатура виготовляється так: послідовно працюють дві печі (зазвичай використовуються індукційні); мідь плавиться в першій печі та переноситься в другу, де через фурму впорскується розплавлений фосфор для утворення сплаву. Швидкість впорскування контролюється для мінімізації утворення пари пентоксиду фосфору, особливо на останніх етапах, коли метал наближається до насичення фосфором (< 14% P). Потім фосфорна мідь виливається у виливниці, а пари пентоксиду фосфору продовжують виділятися в міру охолодження сплаву, якщо вміст фосфору дуже високий.

Пентоксид фосфору дуже гігроскопічний, і, як наслідок, його пари не можна фільтрувати за допомогою звичайного рукавного фільтра, оскільки пари поглинатимуть вологу й покриватимуть рукави фосфорною кислотою. Традиційне вологе очищення має обмежену дію, оскільки дрібнодисперсні пари утворюють дрібнодисперсний туман і не уловлюється очисним матеріалом. Ефективне зниження концентрації сполук фосфору в газовому потоці може бути досягнуто шляхом використання високоефективних скруберів Вентурі або фільтрів із волокнистих матеріалів Теоретично можна отримати слабку кислоту для подальшої обробки, але на практиці цього важко досягти.

3.1.6 Операції травлення

Дріт, труба, стрічка та деякі інші матеріали піддаються траленню для чистової обробки перед упаковуванням або, у випадку з мідним дротом, для видалення оксиду з поверхні перед волочінням дроту. Застосовують розчини сірчаної кислоти, а іноді суміш розведених сірчаної та азотної кислот. В останньому випадку можливе виділення азотної пари, якщо використовуються кислоти вищої концентрації.

3.1.6.1 Некислотне травлення мідної катанки

Цей процес відбувається в замкнутому циклі. Катанки можна травити в потоковій системі, що складається з розділеної на відсіки горизонтальної сталевої труби. Використовується 2,5–5% водний розчин ізопропанолу (ІПС (ізопропіловий спирт)). Процес перетворення окалини оксиду міді під впливом спирту з утворенням міді (що частково залишилася на катанці) відомий як процес Бернса [114, Eurometaux 1998]. У виробництві мідної катанки звичайною практикою є перероблення розчину для травлення після видалення мідного осаду шляхом відстоювання або фільтрування; концентрацію ІПС регулюють відповідно до потреб.

Після травлення катанку сушать стисненим повітрям. Потім вкривають воском, який наноситься у вигляді дрібного розпилення 4% воскової емульсії, що запобігає окисненню поверхні катанки. Катанка укладається, скручується в бунти на дерев'яні піддони та трамбується, зв'язується та загортається в поліетиленову плівку.

3.1.6.2 Кислотне травлення мідної катанки та напівфабрикатів із міді та мідних сплавів

Мідна катанка
Під час кислотного травлення мідної катанки використовують розділену на відсіки горизонтальну сталеву трубу [114, Eurometaux 1998]. На першому етапі катанку травлять розведеною сірчаною кислотою; потім залишкова кислота змивається в кілька етапів із поверхні катанки шляхом розпилення води з подальшим сушінням стисненим повітрям і покриттям воском.

У якості альтернативи, після часткового охолодження в довгій, заповненій водою трубі катанку формують у спіралі, що відповідають діаметру бунта. Ці спіралі розподіляються по роликовому столу, де температура знижується до 20ºC за допомогою зрошування водою. Конвеєр із кислототривкого сплаву подає ці спіралі в травильні ванни, де катанка протравлюється 20% розчином сірчаної кислоти. Система кислотного травлення забезпечує ідеальне видалення всіх оксидів із поверхні катанки. Потім петлі промивають водою й, нарешті, покривають захисним розчином воску.

Для вилучення міді, розчиненої в травильній кислоті, використовується електровідновлення, або промивний розчин також може бути направлений як підживлювальна рідина в цех електролізу на тому ж об'єкті або може бути оброблений за допомогою іонного обміну.

Напівфабрикати з міді та мідних сплавів
Травлення поверхні листів і стрічок зазвичай проводять сірчаною кислотою (8–10%), але для деяких сплавів спеціального призначення застосовують суміші сірчаної та азотної кислот у лініях безперервного виробництва або автоматизованих системах. Очищення газів застосовується для видалення парів азотної кислоти. Кислоту періодично змінюють для гарантії того, що якість поверхні не постраждає [114, Eurometaux 1998].

Відпрацьовану кислоту направляють на очищення та до процесу відновлення металу на внутрішніх або зовнішніх очисних установках. Системи травлення вентилюються для захисту робітників. Продукція промивається, промивна вода направляється на очищення, а осад переробляється, якщо це можливо. Для видалення мастила з поверхні прокату використовують воду, що містить мийні засоби. Відпрацьована вода очищується шляхом ультрафільтрації.

3.2 Поточні рівні викидів та споживання

Основними екологічними проблемами, пов'язаними з виробництвом рафінованої міді є забруднення повітря та води [27, M. Barry et al. 1993], [206, Traulsen, H. 1999]. Підприємства зазвичай мають власні очисні установки, та зазвичай практикується перероблення стічних вод. Більшість можливих відходів використовується повторно.

Деякі місцеві аспекти, такі як шум, залежать від галузі.

Через небезпечний характер деяких твердих та рідких відходів також існує значний ризик забруднення ґрунту, якщо ці відходи не зберігаються та не обробляються належним чином.

Дифузні викиди можуть бути дуже значними (див. Розділ 2.4). Вимірювання проводилися на одному великому мідеплавильному заводі, що виробляє первинну та вторинну мідь. Результати чітко показують, що дифузні викиди переважають навіть після вдосконалення вторинних систем уловлювання диму [158, Petersen, K. 1999]. У цьому прикладі виміряні концентрації пилу показані у Таблиці 3.7.

Таблиця 3.7: Порівняння концентрації підданих очищенню викидів пилу та дифузного пилу на заводі з виплавки первинної міді

	Викиди пилу (кг/рік)	
	Перед вживанням додаткових заходів з уловлювання вторинного газу (1992)	Після вживання додаткових заходів з уловлювання вторинного газу (1996) ([1])
Виробництво анодів (т/рік)	220 000	325 000
Дифузні викиди: • усього по плавильному заводу • лінія даху плавильного заводу	 66 490 56 160	 32 200 17 020
Викиди з труби заводу з виробництва первинної міді • плавильний завод/кислотний завод • вторинні витяжки труби	 7990 2547	 7600 2116
([1]) Викиди після інвестицій у розмірі 10 мільйонів євро для встановлення вдосконаленої системи уловлювання та очищення дифузного газу. Додаткова енергія = 13,6 ГВт год/рік. *Джерело:* [158, Petersen, K. 1999]		

3.2.1 Споживання енергії під час виробництва міді

Виробництво міді вимагає енергії на більшості етапів, причому енергоспоживання в електролітичному процесі є найбільшим [25, OSPARCOM 1996]. Необхідна виробнича енергія (нетто) для низки технологічних процесів із використанням мідного концентрату перебуває у діапазоні 14–20 ГДж/т мідного катода [206, Traulsen, H. 1999]. Точна цифра залежить в основному від концентрату (відсоткового вмісту сірки та заліза), але також має значення використовувана плавильна установка, ступінь збагачення киснем, збирання та використання технологічного тепла. Таким чином, порівняльні дані, що базуються виключно на типі металоплавильної печі, можуть бути неточними. Використання енергії, що міститься у концентраті, є більш важливим, а металоплавильні печі, що функціонують в автогенному режимі, споживають менше енергії.

Підвищення енергоефективності та зниження зовнішнього споживання палива також досягаються шляхом застосування технологій регенерації відпрацьованого тепла. Гарячі відхідні гази металоплавильної печі або конвертерної ємності направляються в котел-утилізатор. У котлі газ охолоджується через утворення пари. Пар можна використовувати всередині, наприклад, для сушіння концентрату (при прямому сушінні паровим змійовиком, 150–180 кг пари на тонну концентрату) або для інших технологічних установок, або зовні для виробництва електроенергії або централізованого теплопостачання. Виробництво сірчаної кислоти з газів, що містять SO_2, також утворює додаткову енергію, яку можна регенерувати за допомогою теплообмінника.

Енергія, що споживається на етапі електролітичного рафінування у виробництві міді, становить 300–400 кВт-год на тонну міді, але енергія, що споживається, значно вища під час електролітичного рафінування анодів з високим вмістом домішок [134, Metallurgical Consulting Traulsen GmbH 1998]. Тип катодної основи (з неіржавкої сталі або міді), що використовується, в основному впливає на ефективність роботи цеху електролізу [90, Traulsen, H. 1998], і вона може варіюватися від 92% до 97% за показником виходу за струмом.

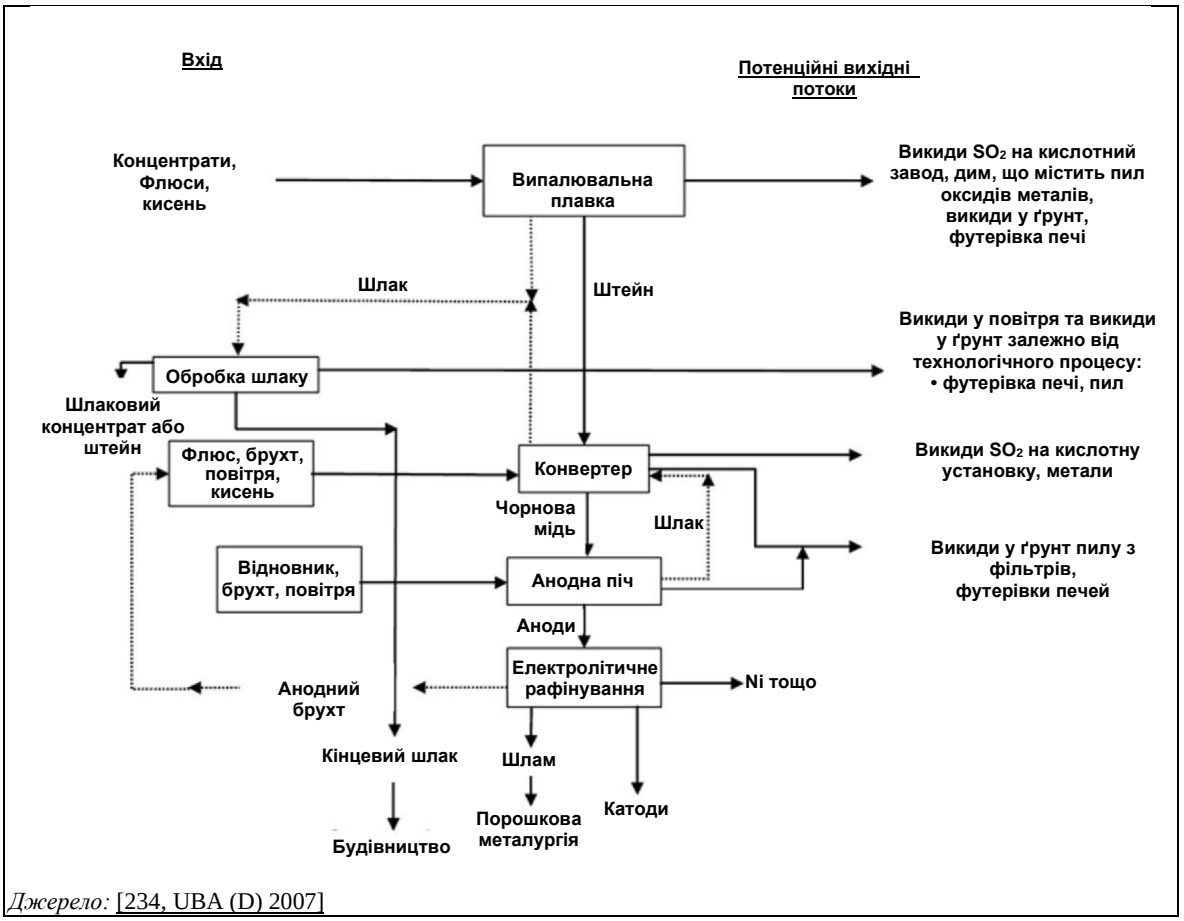
3.2.2 Дані про викиди та споживання

Основні джерела викидів та споживання для виробництва міді описані нижче.

3.2.2.1 Вхідні та вихідні потоки у виробництві первинної міді

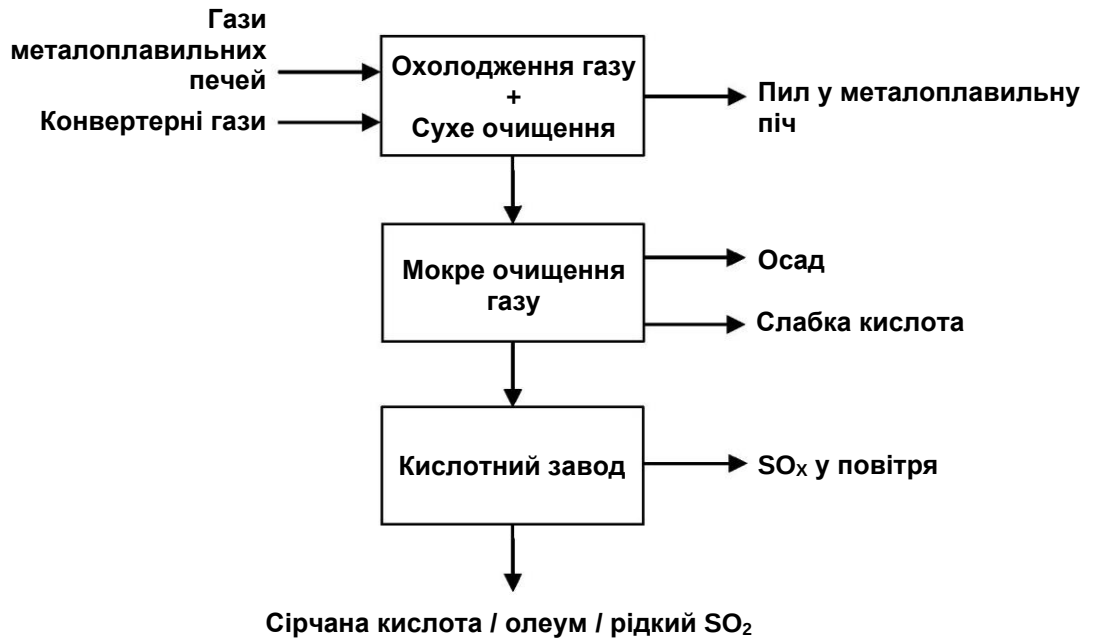
Вхідні та вихідні потоки для виплавки первинної міді залежать від вмісту міді в концентраті, концентрації інших металів (As, Se, Hg, Ag, Au тощо) та використання мідного брухту або інших матеріалів, що містять мідь, на різних етапах процесу.

На Рисунку 3.8 показані вхідні потоки та потенційні вихідні потоки стандартного процесу виробництва первинної міді, а на Рисунку 3.9 показано систему газоочищення.



Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Рисунок 3.8: Загальна схема вхідних та вихідних потоків для виплавки первинної міді



Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Рисунок 3.9: Очищення газів з металоплавильних печей та конвертерів

Якщо концентрат має низький вміст сірки та високий вміст органічних речовин, відхідні гази з етапу випалювання/виплавки, направляються на електростанцію для регенерації вмісту енергії, а потім десульфуризуються в напівсухому скрубері.

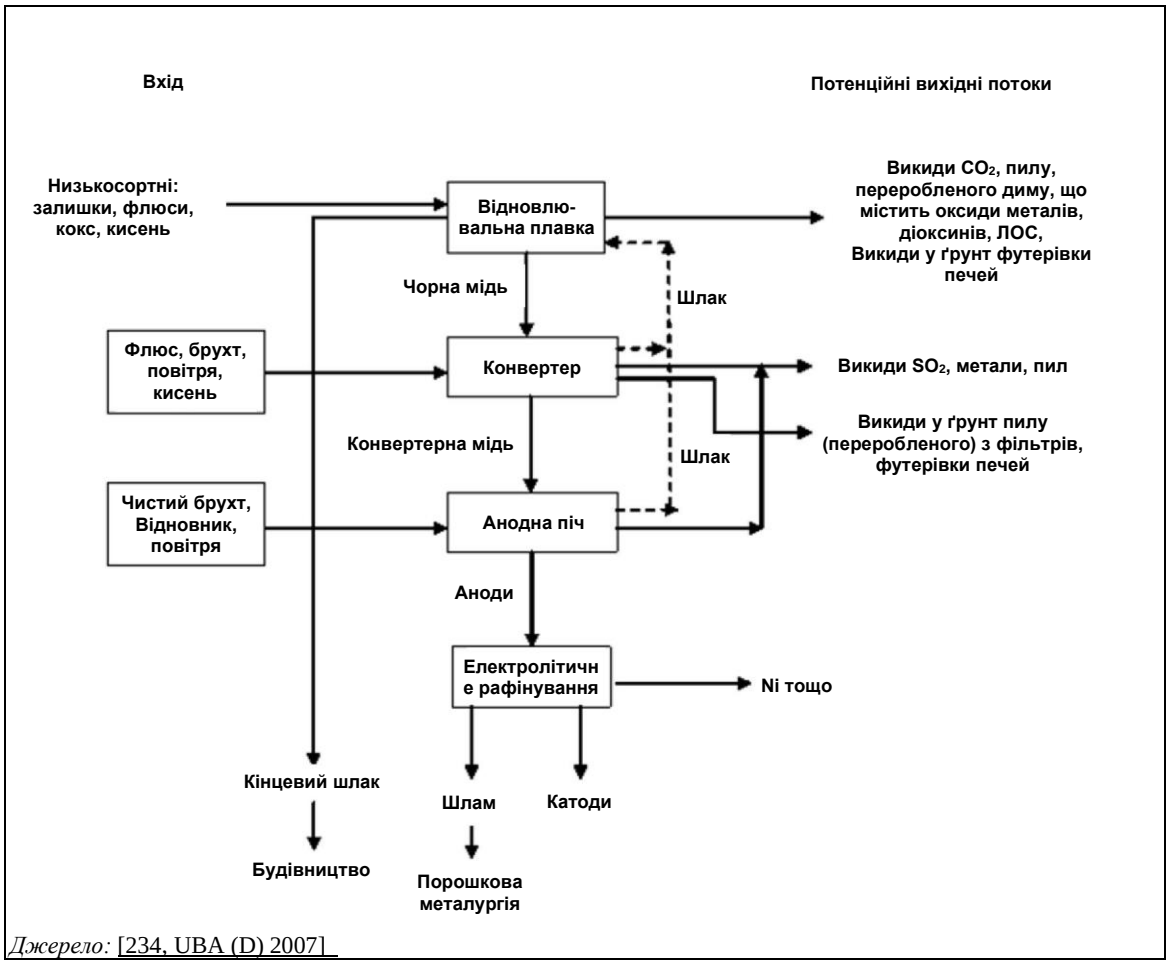
Деякі заводи з виплавки первинної міді об'єднані з підприємствами виплавки вторинної міді або з виробництвом пилу свинцю або оксиду цинку зі змішаних концентратів тощо. Тому дані про вхідні та вихідні потоки дуже важко порівнювати. Значення для комплексного процесу наведено у Таблиці 3.8 нижче. Слід зазначити, що основним впливом на дані щодо вхідних та вихідних потоків є вміст міді в концентраті або іншій сировині, тому дані можуть відрізнятися, відповідно результати порівняння не є вірогідними. Вилучення міді у процесі виплавки та рафінування є більш значущим і становить понад 96%.

Таблиця 3.8: Приклад даних про вхідні та вихідні потоки для заводу з виплавки/рафінування первинної міді

Вхідні матеріали	Кількість (тонн/рік)	Продукція	Кількість (тонн/рік)
Мідні концентрати	1 040 000	Мідні катоди	366 000
Мідний брухт	65 000	Мідні солі	ІВ
Подрібнений матеріал електронного брухту	3600	Сульфат нікелю	ІВ
Експортні проміжні продукти	56 000	Дорогоцінні метали	960
		Рафінований свинець	17 000
		Сірчана кислота	1 018 000
		Шлаки	690 000
Примітка: ІВ = інформація відсутня. *Джерело:* [121, Rentz, O. et al. 1999], [234, UBA (D) 2007]			

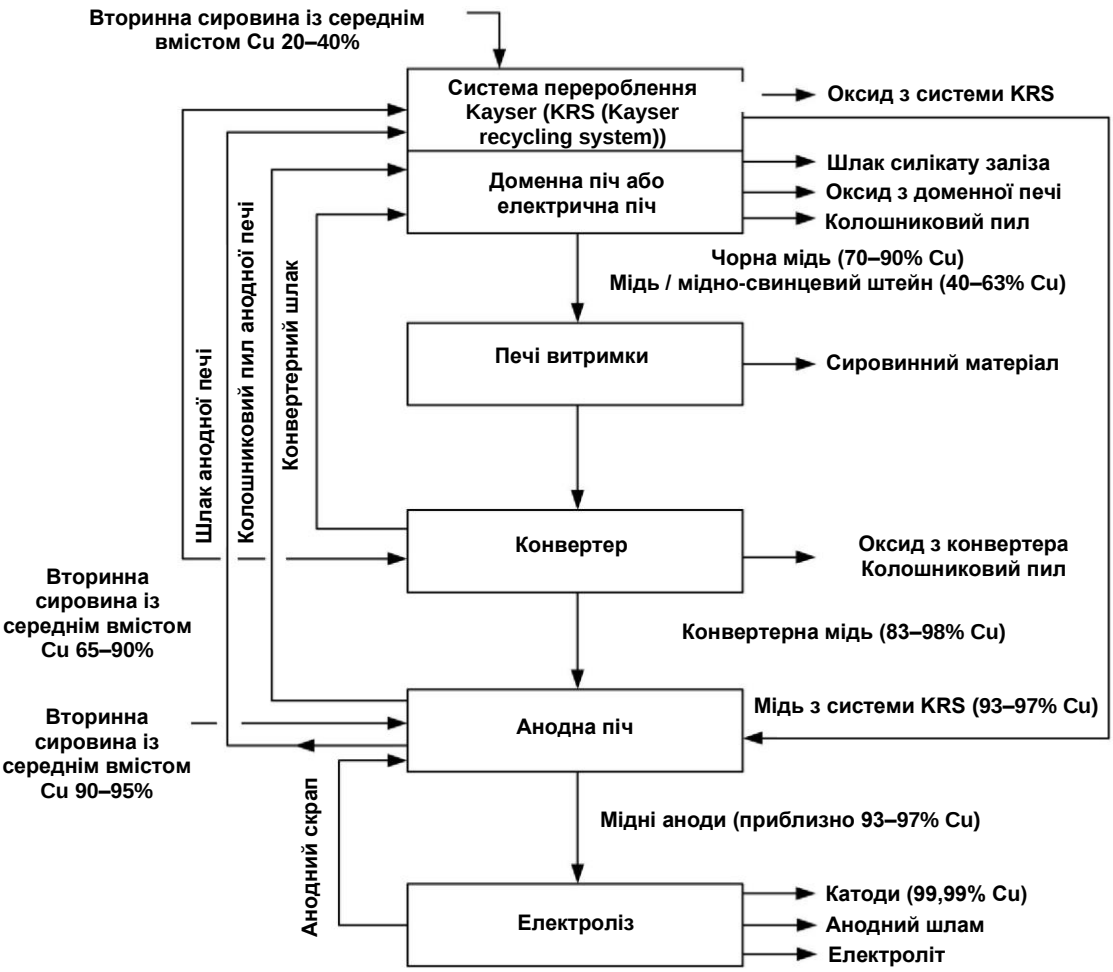
3.2.2.2 Вхідні та вихідні потоки у виробництві вторинної міді

Як повідомлялося вище, вторинна сировина може подаватися на різні етапи вторинних процесів залежно від чистоти, вмісту інших металів та ступеня забруднення поверхні [219, VDI 2007]. Ступінь органічного забруднення впливає на потенційні викиди, та на декількох етапах процесу знищення органічних сполук, таких як ПХДД/Ф, використовуються допалювачі, залежно від ступеня присутнього органічного забруднення.На Рисунку 3.10 та Рисунку 3.11 показані загальні схеми з даними щодо вхідних та вихідних потоків для виробництва вторинної міді.



Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Рисунок 3.10: Загальна схема вхідних та вихідних потоків для виплавки вторинної міді



Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Рисунок 3.11: Приклад схеми вхідних та вихідних потоків з майданчика з виробництва вторинної міді з процесом відновлення олова/свинцю

Велика кількість відходів переробляється у технологічному процесі та інших пов'язаних з ним процесах. Виробники кольорових металів, наприклад, свинцю, цинку та олова, використовують велику кількість відходів у якості сировини для своїх процесів [219, VDI 2007]. На кількох підприємствах впроваджено процеси відновлення інших металів із цих відходів.

Таблиця 3.9 та Таблиця 3.10 показують один приклад вхідних та вихідних потоків заводу з виплавки вторинної міді з використанням печі KRS, заводу з виробництва свинцево-олов'яних сплавів, відбивної подової печі та електролізу. Діапазони залежить від наявності матеріалів.

Таблиця 3.9: Дані про вхідні та вихідні потоки для виробництва вторинної міді показані на Рисунку 3.11

Вхідний потік	Кількість (тонн/рік)	Вихідний потік	Кількість (тонн/рік)
Мідний брухт	100 000–120 000	Мідні катоди	185 000
Чорнова мідь	10 000–30 000	Сульфат міді	10 500–2000
Мідні аноди	0–40 000	Сульфат нікелю	2500–3000
Брухт мідних сплавів	20 000–30 000	Оксиди цинку	12 000–15 000
Зовнішні залишки та відходи (наприклад, шлак, пил, зола, осад, сміття від підмітання)	50 000–70 000	Свинцево-олов'яні сплави	2500–3000
Мідно-залізний матеріал ([1])	Приблизно 50 000	Анодний шлам	1500–1800
Вапняк	5000–7000	Шлак	100 000–120 000
Кремнезем	10 000–15 000	CO_2	73 000–103 720
Кокс	Приблизно 1000		
Паливо (мастило)	20 000–30 000		
([1]) в тому числі електронний брухт Примітка: вихід CO_2 еквівалентний 0,4–0,56 т/т міді *Джерело*: [234, UBA (D) 2007]			

Таблиця 3.10: Відмінності в експлуатаційних параметрах печі KRS і шахтної печі

Параметр	Піч KRS	Шахтна піч
т пари (ГДж)/т шихти	0,6 (1,7)–0,7 (2,0)	0,7 (1,8)
Кількість матеріалу, що пропускається (т/год)	25–50 (включно із залізом)	5–20
Об'ємний потік відхідних газів ($м^3$/год)	300 000	50 000–100 000
Вміст пилу (мг/$м^3$)	5000–10 000	20 000–40 000
Основні компоненти пилу (пил з фільтра, залежно від режиму роботи)		
Cu (% мас.)	3–6	< 5
Pb (% мас.)	15–20	10–40
Zn (% мас.)	35–50	30–60
Sn (% мас.)	2–4	1–5
Очищений газ		
Вміст пилу (мг/$м^3$)	1–5	1–5
SO_2 (мг/$м^3$)	< 500 (щодня) 1500 (пік кожні пів години)	10–100
NO_X (мг/$м^3$)	10–100	30–100
ПХДД/Ф (нг МТЕ/$м^3$)	< 0,1–0,4	0,3 з використанням регенеративного термічного окиснювача
Температура відхідних газів на виході з труби (°C)	80–90	75–90
Джерело: [234, UBA (D) 2007]		

3.2.2.3 Викиди в повітря

У повітря можуть потрапляти пил, металовмісні сполуки, органічний вуглець (що може призводити до утворення ПХДД/Ф) та діоксид сірки [121, Rentz, O. et al. 1999]. Потенційні джерела та значущість потенційних викидів у повітря показані у Таблиці 3.11 та розглядаються далі у цьому розділі.

Таблиця 3.11: Значущість потенційних викидів у повітря у процесі виробництва міді

Джерело викидів	Пил та металовмісні сполуки	ПХДД/Ф	Органічний вуглець	Сполуки сірки
Обробка матеріалів	••	НЗ	НЗ	НЗ
Зберігання сировини	•••	НЗ	НЗ	НЗ
Сушіння	•••	•	•	•
Обробка брухту	••	••• (вторинний)	••• (вторинний)	НЗ
Виплавка	•••	••• (вторинний)	• (вторинний)	••• (обробляється на установці для регенерації)
Витримка	•	НЗ	НЗ	НЗ
Конвертування	••	• (вторинний)	• (вторинний)	••• (обробляється на установці для регенерації)
Рафінування	••	• (вторинний)	• (вторинний)	•
Плавлення/лиття	• (•• для сплавів)	•	• (вторинний) + CO	НЗ
Транспортування у ковші	•••	НЗ	НЗ	•
Електроліз	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Обробка шлаку	••	НЗ	• CO (з електричної печі)	•

Примітка: ••• Більш значущі — • Менш значущі
НЗ = не застосовується.

Оксиди азоту є відносно незначними [23, DFIU-University Karlsruhe 1996], але можуть поглинатися сірчаною кислотою, що утворюється в результаті первинного процесу; використання збагачення киснем іноді може зменшити утворення оксидів азоту термічним шляхом. Це залежить від моменту додавання кисню; іноді через підвищення температури утворюється вища концентрація оксидів азоту, проте об'єм та загальна кількість газу нижчі. Можна використовувати пальники з низьким рівнем виходу NO_X.

Можливе утворення ПХДД/Ф у зоні згорання та в охолодній частині системи очищення відхідних газів (синтез de novo). Для захисту від шкідливого впливу на довкілля викиди повинні бути знижені. Відповідно, відхідні гази повинні вловлюватися у місці їх утворення та направлятися в пристрій очищення відхідних газів (наприклад, в систему уловлювання, з подальшим надходженням у пиловловлювач і скрубер) [219, VDI 2007].

Викиди можуть виходити з процесу або у вигляді викидів з димових труб, або у вигляді дифузних викидів, залежно від системи боротьби з викидами і якості технічного обслуговування заводу, що використовуються. Викиди з димових труб зазвичай контролюються безперервно або періодично, а працівники на об'єкті або консультанти за межами об'єкта повідомляють про них компетентні органи.

3.2.2.3.1 Чадний газ

На додаток до викидів, описаних вище, процеси плавлення з використанням печей, у яких необхідно підтримувати відновлювальну атмосферу, можуть утворювати значну концентрацію чадного газу. Це особливо стосується плавлення високосортної міді у шахтних печах у поєднанні з литтям у форми або виробництвом катанки, оскільки виробництво такої продукції вимагає контролю рівню кисню для досягнення високої провідності. Таким чином, процес протікає у відновлювальних умовах, і вміст чадного газу в газах може збільшуватись, стандартний вміст складає приблизно 5000 мг/Нм^3. Системи управління пальником також можуть мінімізувати викиди CO та підтримувати якість продукції. Аварійні сигнали, що реагують на вміст CO, можуть бути включені в процес. Стандартний рівень CO під час виробництва у шахтній печі, що використовується для

виготовлення катанки або напівфабрикатів, становить 2000–11 000 г на тонну міді [114, Eurometaux 1998]. У деяких установках допалювання використовується для видалення вуглеводнів з газів під час обробки брухту, покритого органічною речовиною. При цьому CO також руйнується та повідомляється, що викиди становлять ~ 45 г на тонну міді [121, Rentz, O. et al. 1999].

Можна прогнозувати приземні концентрації CO, а ці дані можна використовувати для визначення впливу CO на якість місцевого повітря, щоб можна було оцінити потреби подальшої боротьби з викидами на місцевому рівні. Усунення CO шляхом спалювання газів шахтної печі з такими рівнями вмісту CO потребує додаткового палива, і, отже, викиди CO_2 збільшуватимуться в геометричній прогресії.

Чадний газ також утворюється під час роботи печі для очищення шлаку і доменної печі та в деяких випадках може виділятися з відхідними газами. Для видалення CO можна застосовувати допалювання, що призводить до стандартних концентрацій в діапазоні 10–200 мг/Нм^3. Є щонайменше один приклад подання кисню у колошник над зоною реакції для забезпечення зони допалювання в корпусі печі. Цей захід також руйнує органічні сполуки, такі як ПХДД/Ф. Електричні печі, що використовуються для процесів очищення шлаку та процесів відновлення, зазвичай працюють з допалюванням або всередині печі, або спеціальної реакційної камери.

3.2.2.3.2 Пил та металовмісні сполуки

Вони можуть виділятися на більшості етапів технологічного процесу. Технології боротьби з викидами, що утворюються в результаті вантажно-розвантажувальних робіт, зберігання, сушіння та обробки, описані у Главі 2, ці технології необхідно застосовувати для запобігання та мінімізації цих викидів.

Прямі та дифузні викиди пилу, що утворюються на етапах виплавки, конвертування та рафінування, є потенційно високими. Значущість викидів також є високою, оскільки ці етапи процесу використовуються для видалення з міді летких металів, таких як Zn, Pb, деякої кількості As та Cd, і ці метали присутні у газі та частково у пилу.

Печі для виплавки первинної міді зазвичай дуже добре утримують пил і належним чином герметизовані для мінімізації дифузних викидів; використовуються пальники концентрату або фурми, тому їх легше герметизувати. Практикується належне технічне обслуговування печей і повітроводів, щоб мінімізувати дифузні викиди, а уловлені гази обробляються в системах видалення пилу перед процесами вилучення сірки.

Печі для виплавки вторинної міді більш схильні до дифузних викидів під час циклів завантаження та випускання. Ці печі мають великі завантажувальні вікна, а істотним фактором є деформація та неналежна герметизація цих вікон. У ванних печах з виплавки вторинної міді шихта завантажується через закриту систему завантаження, а дифузні викиди утворюються у льотках та жолобах, вловлюються витяжками та направляються у систему газоочищення. Уловлені гази зазвичай охолоджують, а пил видаляють із газових потоків за допомогою електростатичних фільтрів або тканинних фільтрів. Зазвичай досягається висока ефективність фільтрації, а концентрація пилу після очищення знаходиться в діапазоні < 1–5 мг/Нм^3 [157, Winter, B. et al. 1999] [206, Traulsen, H. 1999].

Через періодичний режим роботи етапи конвертування та вогняного рафінування зазвичай не може бути забезпечена герметизація, як і на етапі виплавки. Подання та транспортування штейну, шлаку та металу є значним потенційним джерелом дифузних димів. Що ще важливіше, використання системи транспортування у ковші або човні може знижувати ефективність витяжних ковпаків для уловлювання диму, особливо під час використання конвертера Пірса-Сміта або подібного конвертера. Для уловлювання або скорочення викидів, що виникають під час завантаження або випускання, конвертери або закриваються, або оснащуються вторинними ковпаками-уловлювачами (див. Главу 2). Відхідні гази, що витягуються з покриття або витяжного ковпака, повинні оброблятися відповідно до вмісту SO_2. Гази від конвертування штейну матимуть вищі концентрації SO_2, та завжди необхідно видаляти оксиди металів (As, Pb тощо). Завдяки витяжним ковпакам додавання флюсу та інших матеріалів може мінімізувати час відхилення конвертерів і,

таким чином, скоротити час, протягом якого конвертери відокремлюються від системи уловлювання первинного газу. Виробництво штейну вищої якості знижує кількість переміщень у ковші, отже, знижує потенціал для утворення диму. Тому дифузні чи невловлювані викиди є дуже важливими. Розв'язання цих проблем залежать від ефективного первинного та, в деяких випадках, вторинного уловлювання диму.

Ще одним джерелом викидів пилу та металів, особливо у первинному виробництві міді, є обробка шлаку з високим вмістом міді. Під час використання печей відпрацьовані гази процесу направляються в систему очищення димових газів. Використовуються рукавні фільтри, електростатичні пиловловлювачі та мокрі скрубери. Викиди концентрацій пилу після рукавного фільтра або електростатичного пиловловлювача знаходяться в межах 1–5 мг/Нм^3. Завод Atlantic Copper в Уельві (Іспанія), що використовує мокрий скрубер, заміряв шляхом відбору точкових проб викиди пилу в діапазоні від 10 мг/Нм^3 до 80 мг/Нм^3 (середньорічний показник складає 40 мг/Нм^3).

Процес вогняного рафінування також здійснюється з використанням печей та є поширеним у виробництві первинної та вторинної міді. Викиди пилу зазвичай знижуються за допомогою рукавного фільтра. Повідомлялося про викиди пилу у діапазоні від 1 мг/Нм^3 до 5 мг/Нм^3. Завод Atlantic Copper в Уельві, що використовує комбінацію мокрого скрубера та мокрого електростатичного пиловловлювача, заміряв шляхом відбору точкових проб викиди пилу в діапазоні від < 5 мг/Нм^3 до 20 мг/Нм^3 (середньорічний показник складає 6 мг/Нм^3).

Централізована вторинна система очищення відхідних газів використовується в основному на установці виробництва первинної міді для оптимізації роботи системи боротьби з викидами. Рукавний фільтр використовується для зниження викидів пилу та досягається середньодобовий рівень викидів пилу від < 1 мг/нм^3 до 5 мг/нм^3. Завод Aurubis у Пирдопі (Болгарія), що використовує комбінацію мокрого скрубера та рукавного фільтра, повідомляє про середньодобові викиди пилу у діапазоні від 2,5 мг/нм^3 до 23 мг/нм^3.

Етапи плавлення та лиття, що використовуються у виробництві катанки, напівфабрикатів тощо, також є потенційними джерелами викидів пилу та металів. Виробництво мідних сплавів, таких як латунь, призводить до значної кількості диму (ZnO) на етапі лиття, і необхідно забезпечити його належне уловлювання. Вміст пилу зазвичай невеликий, але тепло/енергію можна регенерувати, якщо це доцільно. Зазвичай використовуються ефективні системи уловлювання диму та тканинні фільтри [114, Eurometaux 1998].

Викиди металів сильно залежать від складу пилу, що утворюється у процесі. Склад сильно відрізняється та залежить від процесу, що є джерелом утворення пилу, та сировини, що переробляється. Наприклад, пил, що утворюється у конвертері для брухту, повністю відрізняється від пилу з конвертера для штейну, він змінюватиметься в залежності від експлуатаційної фази процесу (завантаження, продування, лиття, дражніння тощо) під час вимірювання, від вихідного матеріалу тощо. У Таблиці 3.12 та Таблиці 3.13 показано процентний вміст металів у пилу від різних технологічних процесів та виміряні діапазони низки процесів виробництва міді.

Таблиця 3.12: Основні компоненти пилу від процесів виробництва міді

Компонент	Пил з електростатичного пиловловлювача печі для виплавки концентрату на штейн	Пил з доменної печі	Пил з конвертера для брухту	Пил з електростатичного пиловловлювача конвертера для штейну	Пил з електричної печі для очищення шлаку	Пил з анодної печі
Pb (%)	0,1–5	5–50	5–30	2–25	2–15	2–20
Zn (%)	0,1–10	20–60	25–70	5–70	25–60	5–40
Sn (%)	0,1–1	0,2–5	1–20	0,1–4	НЗ	НЗ
Cu (%)	5–30	2–12	2–15	10–25	0,5–2,5	15–25
As (%)	0,1–4	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	0,5–10
Ni (%)	0,1–1	0,1–1	НЗ	0,1–1	НЗ	НЗ
Примітка: НЗ = Не застосовується. *Джерело:* [206, Traulsen, H. 1999]						

Відмінності між окремими вимірюваннями на заводі більші, ніж відмінності на доменних печах, електричних печах, конвертерах та анодних печах. Стандартні діапазони вимірюваних концентрацій після фільтрувального сепаратора для всіх процесів виробництва міді показані в Таблиці 3.13.

Таблиця 3.13: Концентрації пилоподібних компонентів та ПХДД/Ф у очищеному газі всіх основних процесів заводу з виплавки вторинної міді

Газові компоненти	Одиниці вимірювання	Стандартний діапазон для очищеного газу
Ртуть (Hg)	мг/м^3	0,001–0,05
Талій (Tl)	мг/м^3	< 0,02
Свинець (Pb)	мг/м^3	0,04–1
Кобальт (Co)	мг/м^3	< 0,02
Нікель (Ni)	мг/м^3	0,01–0,1
Селен (Se)	мг/м^3	0,01–0,1
Телур (Te)	мг/м^3	< 0,02
Сурма (Sb)	мг/м^3	< 0,01–0,1
Хром (Cr)	мг/м^3	0,01–0,1
Ціанід (CN)	мг/м^3	< 0,05
Фторид (F^-)	мг/м^3	< 0,05
Мідь (Cu)	мг/м^3	0,02–1
Марганець (Mn)	мг/м^3	< 0,02
Ванадій (V)	мг/м^3	< 0,02
Олово (Sn)	мг/м^3	0,01–0,15
Миш'як (As)	мг/м^3	< 0,01–0,15
Кадмій (Cd)	мг/м^3	< 0,001–0,05
ПХДД/Ф (загальне значення для таких, що переносяться з пилом, та газоподібних фракцій)	нг МТЕ/м^3	0,01–0,4
Джерело: [206, Traulsen, H. 1999]		

3.2.2.3.3 Органічні сполуки вуглецю

Органічні сполуки вуглецю можуть виділятися під час виробництва первинної міді на етапі сушіння в залежності від матеріалів, що використовуються для обробки руди, та палива, що використовується для сушіння. Для виробництва вторинної міді найбільш значними джерелами є обробка брухту, плавлення та рафінування. Етап конвертування вторинної міді також є потенційним джерелом, якщо у конвертер додається брухт, забруднений органічним матеріалом, і повне згорання не досягається; це в першу чергу стосується дифузних викидів. Органічні сполуки вуглецю можуть виділятися у разі використанні маслянистого матеріалу у якості сировини та їх кількість може становити 5–100 г на тонну міді або від 1 мг/нм^3 до 10 мг/нм^3 [249, Austria, Brixlegg 2007]. ЛОС можуть виділятися в результаті процесів знежирення або вилучення розчинником.

3.2.2.3.4 ПХДД/Ф

Органічні сполуки вуглецю, які можуть виділятися, включають ПХДД/Ф, що утворюються в результаті неповного згорання мастила та пластику у вихідному матеріалі та в результаті синтезу de novo, якщо гази не охолоджуються досить швидко. Можна застосовувати обробку брухту для видалення органічних забруднень, але зазвичай для обробки газів, що утворюються, використовуються допалювачі з подальшим швидким охолодженням. Коли немає можливості обробити газів із печей у допалювачі, їх можна піддати окисненню шляхом додавання кисню над зоною плавлення. Також можна визначити органічне забруднення вторинної сировини, щоб можна було використовувати найбільш ефективну комбінацію печі та системи боротьби з викидами для запобігання викиду диму та газів та супутніх ПХДД/Ф. Брухт для переплавлення, забруднений органічним матеріалом, також є потенційним джерелом утворення ПХДД/Ф у галузі виробництва напівфабрикатів [219, VDI 2007].

Повідомлялося, що високі температури експлуатації, що застосовуються у процесі первинної виплавки та конвертування, руйнують органічні сполуки, а присутність діоксиду сірки перешкоджає синтезу de novo ПХДД/Ф.

У Главі 2 описані деякі фактори, що впливають на викиди ПХДД/Ф. Технології, що використовуються для боротьби з ПХДР/Ф у цьому секторі, передбачають допалювання, контрольовану обробку газів та їх охолодження, а також ефективне видалення пилу; також використовується адсорбція активованим вугіллям.

Викиди ПХДД/Ф < 0,001–0,1 нг МТЕ/м^3 були виміряні після застосування системи KRS, електричної печі та двох конвертерів, не обладнаних вторинними пристроями контролю ПХДД/Ф. Викиди ПХДД/Ф, виміряні після анодної відбивної печі, в середньому становили близько 0,13 нг МТЕ/м^3. Оскільки доменна піч спроєктована як протиструминний реактор, температури її відхідних газів є відносно низькими, що призводить до підвищених викидів ПХДД/Ф. До вживання заходів з регулювання викидів у доменних печах було виміряно рівні вмісту ПХДД/Ф у діапазоні від 2,3 нг МТЕ/м^3 до 29,5 нг МТЕ/м^3. У доменній печі з холодним колошниковим газом викиди діоксинів після проходження через камеру допалювання знижені до < 0,2 нг МТЕ/Нм^3 шляхом застосування вуглецево-вапняних добавок [219, VDI 2007].

Якщо у якості сировини використовується велика кількість електронного брухту з бромованими вогнетривкими добавками, це може призвести до утворення змішаних галогенізованих діоксинів. У разі переплавлення/рафінування міді можуть існувати умови для утворення ПХДД/Ф, зокрема, у разі використанні брухту та стружки, забруднених хлором з використовуваних мастильно-охолоджувальних рідин.

3.2.2.3.5 Діоксид сірки

Найбільш значними джерелами викиду діоксиду сірки є етапи випалювання, виплавки та конвертування у виробництві первинної міді з використанням сульфідних концентратів. Очікуються утворення дифузних викидів, але їх можна уловлювати декількома способами [121, Rentz, O. et al. 1999]. Діоксид сірки також може виділятися на етапі сушіння концентрату (в основному з палива, що використовується у пальнику) та на етапах первинного рафінування, коли чорнова мідь містить 0,03–0,1% розчиненої сірки. Концентрація в газі зазвичай дуже низька, й у разі необхідності зазвичай використовується просте скруберне газоочищення.

Якщо не застосовується часткове випалювання та виплавка продукту випалу на штейн в окремих установках через спеціальний вихідний матеріал, то випалювання мідних концентратів проводиться одночасно з виплавкою. Використання герметичних печей для виплавки дозволяє ефективно уловлювати діоксид сірки. Всі плавильні заводи ЄС-28 використовують збагачення киснем, що дозволяє досягти високої концентрації діоксиду сірки. Відповідно це дозволяє мінімізувати об'ємі відхідних газів і зменшити розміри систем обробки газу, в тому числі установки з виробництва сірчаної кислоти. Дуже високі рівні збагачення киснем можуть збільшити концентрацію триоксиду сірки в газах, що надходять на кислотний завод. Ця підвищена кількість триоксиду сірки в газі з печі поглинається скруберами та збільшує кількість слабкої кислоти для обробки, інших цілей або утилізації. Для перетворення газів використовують контактні установки з виробництва сірчаної кислоти з чотирма або п'ятьма проходами. У деяких випадках за низького (< 5%) вмісту діоксиду сірки використовуються установки однократного контактування, в інших випадках використовуються установки подвійного контактування/подвійної абсорбції [90, Traulsen, H. 1998]. У разі необхідності рідкий діоксид сірки може бути отриманий із частини діоксиду сірки, що міститься у газі.

У разі мідного концентрату з низьким вмістом сірки та високим вмістом органічного вуглецю виплавка може здійснюватися у шахтній/доменній печі. У таких випадках відхідні гази спалюються на місцевій електростанції як додаткове паливо. Димові гази електростанції десульфуризуються.

Етап конвертування штейну також викликає значну концентрацію діоксиду сірки. Існують дві потенційні проблеми у використанні конвертерів з періодичним поданням матеріалу, таких як конвертер Пірса-Сміта або подібний конвертер. По-перше, уловлювання газу не є повністю ефективним, і застосовуються ті самі зауваження, що й надані вище у Розділі

3.2.2.3.2. По-друге, концентрація діоксиду сірки в газах значно варіюється в залежності від етапу конвертування та може викликати проблеми із системами видалення двоокису сірки, якщо вони не розроблені спеціально з урахуванням цієї мінливості. Ці гази поєднуються зі стабільними, більш концентрованими газами, що утворюються заводом з виплавки первинної міді, для підтримки автотермічного режиму роботи установки з виробництва сірчаної кислоти. Використання кількох конвертерів у поетапній послідовній роботі, що об'єднує гази, також може зменшити цей ефект. Безперервні процеси, такі як процес Mitsubishi та процес зваженої плавки/зваженого конвертування Kennecott-Outotec, підтримують високу та постійну концентрацію діоксиду сірки та не потребують транспортування у ковші [66, George, D.B. et al. 1995], [72, Shibasaki, T. et al. 1993]. Отже, об'єми газу, що утворюється, менші. Це означає, що концентрація діоксиду сірки вище у відхідних газах, але його маса набагато менше, принаймні, під час обробки, очищення та охолодження газу. На контактній установці необхідно відрегулювати співвідношення SO_2 та O_2, а концентрацію SO_2 розбавити до максимально допустимої концентрації.

Після регенерації тепла та очищення газів діоксид сірки в газі з етапів виплавки перетворюється на триоксид сірки (SO_3). Установки з виробництва сірчаної кислоти в європейській мідній промисловості мають коефіцієнт перетворення від 99,5% до більш ніж 99,9% (за винятком операції запуску тощо) [90, Traulsen, H. 1998]. Дуже невелика кількість SO_3 не абсорбується та викидається разом із залишковим SO_2 [121, Rentz, O. et al. 1999]. Під час операцій запуску та зупинки можливі випадки виділення слабких газів. Ці випадки повинні визначатися для кожної окремої установки, багато компаній забезпечили значні вдосконалення обладнання для контролю технологічних процесів, щоб зменшити ці викиди. Висота труби, яка використовується для газів кислотного заводу, зазвичай враховує ці фактори, щоб зменшити місцевий вплив.

Діоксид сірки також може бути присутнім у газах, що утворюються на етапах виплавки вторинного металу та конвертації, а також вогняного рафінування через вміст сірки у паливі або сировині. У деяких випадках для видалення SO_2 використовуються скрубери (сухі, напівсухі або мокрі), а в одному випадку гази з електричної печі (і конвертера Cu/Pb) спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти заводу з виплавки первинної міді у разі наявності певної сировини.

Викиди SO_2 після системи боротьби з викидами знаходяться в діапазоні 70–500 мг/Нм^3 у якості середньорічного значення, що вимірюється безперервно. На підприємстві Metallo-Chimique в Берсе (Бельгія), на якому використовується рукавний фільтр з введенням сорбаліту були виміряні викиди SO_2 від плавильного заводу в діапазоні від 0 мг/Нм^3 до 1471 мг/Нм^3 в середньому за годину, а також викиди SO_2 від конвертера в діапазоні від 0 мг /Нм^3 до 2765 мг/Нм^3 у середньому за годину.

3.2.2.3.6 Дифузні викиди

На пірометалургійних заводах дифузні викиди можуть виникати як під час завантаження, так і під час випускання, а також під час транспортування розплавлених або проміжних продуктів з одного процесу на інший. У цьому контексті особливо важливо, щоб переважні температури різних фракцій металів, шлаків або штейну були вище точок випаровування низькокиплячих супутніх металів (наприклад, Zn, Pb і Sn) та їх оксидів, щоб останні накопичувалися у відхідних газах печі, які спрямовуються й обробляються системою очищення димових газів. Наскільки це можливо, дифузні викиди слід уловлювати біля джерела через вторинні витяжки, а вилучені відхідні гази повинні направлятися в систему газоочищення.

На заводах із виплавки вторинної міді з низькою концентрацією пилу у відхідних газах вторинної витяжки іноді доцільно поєднувати цей потік відпрацьованих газів з відхідними газами з печі перед очищенням, оскільки це може покращити фільтраційні характеристики всього потоку відхідних газів. Подальші дифузні викиди можуть утворюватись під час транспортування через повторне зависання пилу та поводження з розплавленими матеріалами, зокрема під час операцій з переміщення або розливання. Крім того, викиди пилу утворюються під час поводження та попередньої обробки вторинної сировини (наприклад, зменшення розміру, подрібнення, гранулювання). У викидах на заводах із виплавки вторинної міді переважають дифузні викиди пилу, які становлять приблизно 70% від загального обсягу викидів [234, UBA (D) 2007].

3.2.2.3.7 Оксиди азоту

Етапи виробництва міді зазвичай ґрунтуються на високих температурах, але також пов'язані з використанням кисню. Це знижує парціальний тиск азоту в полум'ї та знижує утворення оксидів азоту за умови, що азот не присутній у великій кількості в дуже гарячих зонах. Повідомляється, що типові рівні викидів оксидів азоту у виробництві вторинної міді знаходяться в діапазоні від 50 до 500 мг/м^3 залежно від печі та режиму роботи. Для NO_X використання високоефективних процесів (наприклад, Contimelt) вимагає встановлення на місцях балансу між споживанням енергії та досягнутим значенням.

Оксиди азоту від первинних процесів переважно абсорбуються сірчаною кислотою [130, Eurometaux 1998] (див. також Таблицю 2.17).

3.2.2.3.8 Висновки щодо викидів у повітря

Інформацію про викиди підсумовано у Таблиці 3.14, Таблиці 3.15 та Таблиці 3.16.

Таблиця 3.14: Питомі викиди у повітря від деяких процесів виробництва первинного та вторинного металу

Тип процесу	Пил (г/т виробленого металу)	Діоксид сірки (г/т виробленого металу)	Cu (г/т виробленого металу)	Pb (г/т виробленого металу)	As (г/т виробленого металу)
Первинна Cu	130–800	6000–18 000	25–130	6–45	2–27
Вторинна Cu	100–1000	500–3500	8–100	10–60	0,5–5
Виготовлення напівфабрикатів у плавильному цеху	21	НД	4	НД	0,15
Виробництво катанки	10	НД	4	НД	0,05
Примітка: НД = немає даних. *Джерело*: [234, UBA (D) 2007]					

Таблиця 3.15: Досяжні викиди від деяких процесів виплавки вторинного металу та переплавлення/рафінування (з виробництвом напівфабрикатів)

Параметр	CO	Пил	PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_X	SO_2	CO	SO_X	HCl	HF	Pb	Zn	Cu	O_2	Sn	V	As	Hg	Ni	Cd	Температура	Органічний вуглець	ПХДД/ ПХДФ
Одиниці вимірювання	**мг/нм³**													**%**	**мг/нм³**						**°C**	**мг/нм³**	**нг МТЕ**
Шахтна піч	< 0,1	0,5	0,53	0,39	45	0,2	< 0,1	НД	НД	НД	0,012	0,009	0,008	12	НД	НД	0,001	0,006	0,001	0,0001	199	1,2	0,3
Конвертерна піч	НД	0,75	НД	НД	7,3	НД	11,3	4,7	НД	НД	0,097	0,126	0,0334	17,8	НД	НД	0,0012	0,0028	0,0033	0,0006	30	1,4	НД
Анодна піч	НД	2,3	1,5	1,02	179	24,5	НД	24,5	7,17	3,9	0,36	0,636	0,507	17,5	0,337	< 0,0005	НД	0,17	НД	0,0001	98	3,4	НД
Шлакова установка	НД	< 0,3	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Піч Asarco	НД	0,5	0,25	0,25	21	17	НД	17	2,62	НД	НД	НД	0,0098	17,4	НД	НД	НД	НД	НД	НД	112	9,34	0,202
Термічна обробка стружки	НД	5	НД	НД	200	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	20	0,1
Електрична піч	НД	5	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	20	0,1
Обертова барабанна піч	НД	5	НД	НД	300	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	50	0,1
Шахтна піч (Asarco)	НД	0,5–5	НД	НД	21–300	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	9–50	0,2–0,4
Установка для помелу (Завод B)	НД	< 10	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	< 50	НД

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [234, UBA (D) 2007], [249, Austria, Brixlegg 2007]

Таблиця 3.16: Викиди та експлуатаційні дані конвертерів у виробництві вторинної міді

Експлуатаційні параметри	Одиниці вимірювання	Стандартне значення або діапазон	
		Конвертер для брухту	Конвертер для штейну
Вихід конвертерної міді на партію	т	8–25	30–300
Кількість партій на день		4–6	2–3
Тривалість періоду виробництва партії	h	4–6	5–8
Тривалість дуття/партія	h	2–3,5	4–7
Неочищений газ (в тому числі відхідний газ з вторинної витяжки)			
Об'ємний потік відхідного газу	$м^3$/год	80 000–150 000	80 000–150 000
Вміст пилу	мг/$м^3$	10 000–30 000	10 000–30 000
Основні компоненти пилу (залежно від режиму роботи)			
Zn	% мас.	25–70	1–10
Sn	% мас.	1–20	1–5
Pb	% мас.	5–30	30–55
Очищений газ (в тому числі відхідний газ з вторинної витяжки)			
Вміст пилу ([1])	мг/$м^3$	1–5	НД ([2])
SO_2	мг/$м^3$	200–500 ([3])	НД ([2])
NO_X (у перерахунку NO_2)	мг/$м^3$	20–30	НД ([2])
Температура відхідних газів на виході з труби	°C	80–90	НД ([2])
([1]) Компоненти пилу див. у Таблиці 3.10. ([2]) Відхідні гази конвертеру для штейну спрямовуються на контактну установку для виробництва сірчаної кислоти ([3]) Безперервний моніторинг: середньодобове значення < 500 мг/$м^3$; макс. середнє значення за пів години < 1500 мг/$м^3$. Примітка: НД = немає даних. *Джерело:* [206, Traulsen, H. 1999], [234, UBA (D) 2007]			

3.2.2.4 Викиди у воду

У пірометалургійних процесах використовується значна кількість води для охолодження (системи охолодження розглядаються в Главі 2 і в окремому загальній ДДНДТ щодо промислових систем охолодження [342, COM 2001]). З цих джерел у воду можуть потрапляти завислі тверді речовини, металовмісні сполуки та мастила. Усі відпрацьовані води очищаються від розчинених металів та твердих часток. У ряді установок вода для охолодження й очищені стічні води, в тому числі дощові води, повторно використовуються або переробляються в технологічних процесах, але всі стоки з різних джерел повинні очищатися відповідно до вимог [206, Traulsen, H. 1999], [234, UBA (D) 2007]. Потенційні джерела та значущість потенційних викидів у воду показані у Таблиці 3.17 та розглядаються далі у цьому розділі [219, VDI 2007].

Таблиця 3.17: Значущість потенційних викидів у воду у процесі виробництва міді

Джерело викидів	Завислі тверді речовини	Металовмісні сполуки	Мастило
Відкритий дренаж	•••	••	•••
Вода для прямого охолодження	•••	•••	•
Вода для непрямого охолодження	•	•	НЗ
Вода гранулювання	•••	••	НЗ
Вилуговування (у незамкнутому циклі)	•••	•••	•
Травлення	••	•••	•••
Цех електролізу (у незамкнутому циклі)	НЗ	•••	НЗ
Скруберні системи	•••	•••	НЗ
Примітка: ••• Більш значущі — • Менш значущі НЗ = не застосовується. Відкриті цикли вилуговування та відкриті цикли в цехах електролізу не використовуються у країнах ЄС-28.			

Екологічна токсикологія металів у воді розглядається у Додатку 13.2.2, а методологія визначення їх впливу наводиться у звіті MERAG [301, MERAG 2007].

3.2.2.4.1 Завислі тверді частки та металовмісні сполуки

Вони можуть виділятися на кількох етапах процесу, найбільш значними з яких є стічні води та промивні води після процесу травлення. Технології боротьби з викидами, що утворюються в результаті обробки та зберігання, описані у Главі 2, і ці технології необхідно застосовувати для запобігання або мінімізації цих викидів. Поверхнева вода може утворитися або в результаті дощу, або внаслідок змочування матеріалу, що зберігається, для запобігання утворенню пилу.

Потенційними джерелами завислих речовин та металовмісних сполук є системи охолодження, гранулювання та вилуговування. Загалом ці системи є або герметичними, і вода в них рециркулюється, або безконтактним.

Промивна вода, відпрацьований електроліт та технологічні стічні води також утворюються в цехах електролізу та лініях травлення, а також у скруберах. Ці стічні води містять значну кількість металовмісних сполук у розчині та обробляються разом з рідиною, що випускається з герметичних систем охолодження та гранулювання, перед скиданням у воду [27, M. Barry et al. 1993]. Може статися витік у системі, і необхідні заходи для моніторингу трубопроводів і резервуарів для зберігання, особливо для трубопроводів за межами заводу та в місцях, де немає системи збору. Процеси очищення стічних вод описані у Главі 2, а використовувані методи залежать від присутніх забруднювальних речовин, призначення очищеної води та якості місцевого довкілля.

Кількість води, що скидається, також є важливою проблемою, оскільки на деяких установках використовуються великі системи рециркуляції води. Один мідеплавильний завод повідомив, що об'єм скидання становить 3000 $м^3$/день, у той час, як подібні заводи, які не використовують рециркуляцію у тому ж обсязі, скидають понад 100 000 $м^3$/день. Таким чином слід використовувати характеристики викиду маси забруднювальних речовин. [234, UBA (D) 2007].

Інформацію про викиди стічних вод узагальнено у Таблиці 3.18, Таблиці 3.19, Таблиці 3.20 та Таблиці 3.21.

Таблиця 3.18: Річні концентрації основних компонентів у неочищених стічних водах з заводу з виплавки первинної міді

Джерело	**Основні компоненти перед очищенням (мг/л)**					
	Cu	**Pb**	**As**	**Ni**	**Cd**	**Zn**
Технологічна вода	2000	500	10 000	1000	500	1000
Вода від осадження ([1])	15–30	< 5	< 2	< 2	< 0,5	1–10
Вода прямого охолодження	< 3	< 0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,5
([1]) Розраховано на основі аналізу осаду і на основі значень викидів, доступних уповноваженому органу. *Джерело:* [234, UBA (D) 2007]						

Таблиця 3.19: Приклад вмісту металу в різних стічних водах після очищення

	Потік	Основні компоненти (мг/л)					
	($м^3$/рік)	Cu	Pb	As	Ni	Cd	Zn
Технологічна вода	180 000	0,01–0,2	0,001–0,04	0,01–0,1	0,004–0,15	0,0001–0,1	0,01–0,2
Поверхневий стік	700 000	0,01–0,4	0,005–0,2	0,003–0,07	0,002–0,4	0,0002–0,1	0,03–0,4
Вода прямого охолодження	11 300 000	0,01–0,25	0,001–0,1	0,001–0,1	0,002–0,06	0,0001–0,003	0,02–0,5
Вода для охолодження (всього)	65 000 000	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Примітка: таблиця стосується комбінованого комплексу виплавки/рафінування первинної/вторинної міді, розташованого на річці поблизу моря, що виробляє 370 000 тонн мідних катодів на рік. Концентрації металів (мг/л) наведені у вигляді середньорічних значень. НЗ = Не зазначено *Джерело*: [121, Rentz, O. et al. 1999]							

У прикладі, наведеному вище у Таблиці 3.19, утворюється 20–50 кг осаду на $м^3$ стічних вод, здебільшого залежно від вмісту миш'яку в сировині, який варіюється від 5% до 20%, та від вмісту заліза, який варіюється від 25% до 45%.

Таблиця 3.20: Загальний рівень забруднювальних речовин у стічних водах, що скидаються з двох комплексних заводів з виробництва первинної міді

Основні компоненти Загальний рівень забруднювальних речовин (г/т)	Cu	Pb	As	Ni	Cd	Zn
Завод A, що виробляє мідні катоди, згаданий вище у Таблиці 3.19	1–2,3	0,03–0,3	0,05–0,23	0,1–0,2	0,02–0,05	0,16–0,8
Завод B, що очищає всі стічні води та поверхневі води з традиційно забруднених територій	5–10	0,3–1,0	2,5–5,0	5–10	0,1–0,3	2–5
Джерело: [238, ECI 2012]						

Таблиця 3.21: Річні обсяги забруднювальних речовин, що скидаються у воду з заводу з виробництва мідних напівфабрикатів

Речовина	Значення (кг/рік)
Cu	11
Ni	3
Zn	25
Pb	1
Cr	1
As	0,01
Cd	0,01
Hg	0,01
Sn	1
Примітка: Скидання стічних вод: 35 000 $м^3$/рік *Джерело:* [121, Rentz, O. et al. 1999]	

Осад утворюється під час усіх технологічних процесів і зазвичай направляється на контрольовану утилізацію. У деяких випадках його повертають на плавильний завод для вилучення металевої фракції.

3.2.2.4.2 Мастило

Мастило може бути присутнє на вторинній сировині та може вимиватися із зон зберігання. Технології, що використовуються для зберігання, описані у Розділі 2.12.4.1. Воски та мастила використовуються в процесах нанесення покриттів та волочіння, пов'язаних з виробництвом катанки та інших форм, та їх присутність враховується для запобігання забрудненню води.

3.2.2.5 Технологічні залишки

Деякі проміжні продукти, що утворюються під час виробництва міді, класифікуються як шкідливі відходи відповідно до Директиви 2008/98/ЄС. Однак більшість цих матеріалів містять мідь та інші кольорові метали, які можуть бути відновлені, і тому самі використовуються у якості сировини. Залежно від їх характеристик і використання деякі залишки міді можуть вважатися побічними продуктами, наприклад кінцевий шлак, відповідно до REACH C1. Димовий пил з усіх джерел також може бути повторно використаний у процесі виплавки, і для запобігання утворенню пилу під час обробки його обробляють обережно, зазвичай у спеціально розроблених системах, або попередньо обробляють відповідно до вимог подальшої обробки [219, VDI 2007]. Деякі футерівки печей також можуть бути повторно використані у якості маси для випускних отворів або в технологічному процесі та можуть бути включені в шлак. У інших випадках футерівка утилізується. Джерела деяких залишків та їхнє можливе використання наведено в Таблиці 3.22, Таблиці 3.23 та Таблиці 3.24.

Таблиця 3.22: Залишки від виробництва міді

Технологічне джерело	Залишки	Кінцеве використання
Системи боротьби з викидами	Пил з фільтра	Сировина для виробництва Cu (повертається на плавильний завод) Гіпс на продаж Джерело кальцію для плавильного заводу
	Сполуки ртуті	Pb, Zn та інші метали Хімічна промисловість
	Відпрацьовані каталізатори та кислота	Нейтралізація Інші сфери використання, наприклад, розкладання під час вилуговування
	Осади сірчаної кислоти	Для SO_2
	Слабка кислота	
Плавильний завод	Шлак	До шлакової печі або інша сепарація Внутрішнє перероблення
	Футерівка печі	Відновлення або утилізація
Конвертер	Шлак	На плавильний завод — внутрішнє перероблення
Шлакова піч	Шлак	Абразивний, будівельний матеріал
Рафінувальна (анодна) піч	Шлак	На плавильний завод — внутрішнє перероблення
Цех електролізу	Злитий електроліт	Солі Ni або метал, відновлення Cu, відновлення кислоти
	Відпрацьовані аноди	Інші види внутрішнього перероблення: конвертер (охолодження) або анодна піч
	Анодний шлам	Вилучення дорогоцінних металів
Плавлення/виплавка	Знімання та шлак	Сировина для вилучення металу
Флотація шлаку	Шлак	Заповнювач у виробництві цементу
Очищення відпрацьованих вод	Чистий гіпс	Повторне використання на плавильному заводі у якості джерела кальцію
Технологічний процес взагалі	Мастила	Регенерація мастила
Гідрометалургія	Відпрацьований електроліт	Вилуговування
Виробництво напівфабрикатів	Кислотні травильні та промивні розчини	Утилізація у якості відходів, якщо спостерігається низький вміст кольорових металів або, продаж для вилучення металу
Виробництво катанки	Кислотні травильні розчини (якщо застосовується)	Відновлення в окремій електролітичній камері
	Окалина	Вилучення Cu
Джерело: [130, Eurometaux 1998]		

Таблиця 3.23: Залишки, що утворюються в результаті технологічних процесів виплавки первинної та вторинної міді у Германії

Етап виробництва	Залишки	Кількість (тонн/рік)	Варіанти використання або обробки
Завод первинної виплавки та електролізу (460 000 т анодів/рік)			
Піч зваженої плавки	Пил	100 000	Внутрішнє використання у печі зваженої плавки
	Шлак	700 000	Подальша обробка в електричній печі
Електрична піч (очищення шлаку)	Пил	400	Зовнішнє використання для виробництва Zn/Pb
	Шлак	700 000	Зовнішнє використання у якості будівельного матеріалу
Мідеплавильний конвертер	Пил	4000	Внутрішнє перероблення у печі зваженої плавки або електричній печі (завод з виробництва вторинної міді)
	Шлак	160 000	Внутрішнє використання у печі зваженої плавки
Анодна піч	Пил	200	Внутрішнє використання у печі зваженої плавки
	Шлак	20 000	Внутрішнє використання у мідеплавильному конвертері
Електроліз	Анодний шлам (мокрий)	3000	Вилучення дорогоцінних металів та Se, Te, Pb
Установка з виробництва сірчаної кислоти	Сірчана кислота	1 000 000	Побічні продукти на продаж
	Кінцевий розчин	70 000	Внутрішнє використання на хімічному заводі для виробництва сульфату нікелю, As_2O_3
Завод вторинної виплавки та електролізу			
Очищення відхідних газів електричної печі	Пил	10 000	Побічні продукти на продаж для вилучення Zn
	Шлак	60 000	Зовнішнє використання у якості будівельного матеріалу
Конвертер	Пил	400	Внутрішнє використання в електричній печі
	Шлак	15 000	Внутрішнє використання в електричній печі
Процес Contimelt	Пил	1000	Внутрішнє використання у печі зваженої плавки/електричній печі
	Шлак	2000	Внутрішнє використання у мідеплавильному конвертері
Конвертер для брухту/завод ОСС	Пил	1000	Подальша обробка на заводі ОСС
	Шлак	2000	Внутрішнє використання в електричній печі
Установках з очищення технологічних стічних вод	Осад	2000	Утилізація шкідливих відходів
Технологічний процес взагалі	Побутові відходи	500	
Завод вторинної виплавки та електролізу			
Система KRS, очищення відпрацьованих газів	Шлак силікату заліза	120–200	Будівельний матеріал на майданчик для утилізації
	Оксид з системи KRS	20–40	Продаж
Піч з виплавки змішаного олова	Змішане олово	50	Продаж
Електроліз	Анодний шлам	13	Продаж
	Сульфат нікелю	20	Продаж
Очищення відпрацьованих вод	Осад	НД	Утилізація шкідливих відходів
Усі етапи	Анодні залишки	НД	Внутрішня рециркуляція

Примітка: НД = немає даних. ОСС = олов'яно-свинцевий сплав (TLA = Tin-lead alloy)
Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Таблиця 3.24: Залишки, що утворюються в результаті деяких процесів переплавлення/рафінування (з виробництвом напівфабрикатів)

Етап виробництва	Залишки	Кількість (кг/т мідної продукції)	Варіанти використання або обробки
Переплавлення/рафінування (з виробництвом напівфабрикатів)			
Шахтна піч	Дрос	НД	НД
	Димовий пил	0,7–1	На виробництво вторинної міді
	Вогнетривка футерівка	0,5–1,5	Контрольована утилізація
	Осад	2–4	Контрольована утилізація
	Брухт від виробництва	39	Внутрішня рециркуляція
Індукційна піч	Дрос	8–15	Внутрішня рециркуляція
	Димовий пил	4–7	На виробництво вторинної міді
	Вогнетривка футерівка	2	Вилучення металів
	Мідна форма	НД	НД
	Графітова форма	< 0,01	Вилучення графіту
Примітка: НД = немає даних. *Джерело:* [206, Traulsen, H. 1999]			

Відходи, призначені для утилізації, зведені до мінімуму і здебільшого складаються з кислотних шламів з установок з виробництва сірчаної кислоти, які обробляються і направляються на утилізацію, або футерівки печей, деякі з яких не можуть бути відновлені в процесі. У деяких випадках утворюються хвости обробки плавильних чи конвертерних шлаків шляхом флотації. Ці хвости утилізуються на самому об'єкті або на об'єкті гірничодобувної промисловості, якщо він знаходиться поблизу. Іншими відходами є або побутові стічні води, або відходи від знесення.

У Таблиці 3.25 та Таблиці 3.26 показано можливі галузі використання технологічних залишків. Багато залишків використовується у якості сировини для виробництва інших металів або переробляються в процесі виробництва міді [206, Traulsen, H. 1999].

Таблиця 3.25: Можливі галузі використання та приклади кількості відходів, що утворюються на комплексній установці з виробництва первинної та вторинної міді

Технологічна установка	Залишки	Сума (тонн/рік)	Варіанти використання/обробки
Завод з виробництва первинної міді: Річне виробництво катодів: первинна мідь 220 000 т/рік			
Піч зваженої плавки	Пил	100 000	Внутрішнє використання у печі зваженої плавки
	Шлак	400 000	Подальша обробка в електричній печі
Електрична піч	Пил	400	Зовнішнє використання для виробництва Zn/Pb
	Шлак	400 000	Зовнішнє використання у якості будівельного матеріалу
Мідеплавильний конвертер	Пил	4000	Внутрішнє перероблення у печі зваженої плавки або електричній печі (завод з виробництва вторинної міді)
	Шлак	150 000	Внутрішнє використання у печі зваженої плавки
Анодна піч	Пил	200	Внутрішнє використання у печі зваженої плавки
	Шлак	20 000	Внутрішнє використання у мідеплавильному конвертері
Установка з виробництва сірчаної кислоти	Сірчана кислота	656 000	Побічні продукти на продаж
Завод з виробництва вторинної міді: Річне виробництво катодів: вторинна мідь 150 000 т/рік			
Електрична піч	Пил	10 000	Побічні продукти на продаж для вилучення Zn
	Шлак	40 000	Зовнішнє використання у якості будівельного матеріалу
Конвертер	Пил	400	Внутрішнє використання в електричній печі
	Шлак	10 000	Внутрішнє використання в електричній печі
Процес Contimelt	Пил	1000	Внутрішнє використання у печі зваженої плавки/електричній печі
	Шлак	2000	Внутрішнє використання у мідеплавильному конвертері
Конвертер для брухту/завод ОСС	Пил	1000	Подальша обробка на заводі ОСС
	Шлак	2000	Внутрішнє використання в електричній печі
Інші			
Електроліз	Анодний шлам (вага у вологому стані)	3000	Внутрішнє використання на хімічному заводі для вилучення дорогоцінних металів та Se, Te, Pb
	Кінцевий розчин	35 000 $м^3$	Внутрішнє використання на хімічному заводі для виробництва сульфату нікелю, As_2O_3, H_2SO_4
Установках з очищення технологічних стічних вод	Осад (вага у вологому стані)	1500	Утилізація шкідливих відходів
Технологічний процес взагалі	Побутові відходи	400	НД
Примітка: НД = немає даних. ОСС = олов'яно-свинцевий сплав (TLA = Tin-lead alloy) *Джерело:* [121, Rentz, O. et al. 1999]			

Таблиця 3.26: Можливі галузі використання та приклади кількості відходів, що утворюються на установці з виробництва вторинної міді

Технологічна установка	Залишки	Сума (тонн/рік)	Варіанти використання/обробки
Доменна піч	Шлак	30 000–35 000	Продається у якості будівельного матеріалу
	Оксид з камери допалювання, котла або холодильника	700–800	Внутрішнє використання у доменній печі
	Оксид з фільтра	1000–1300	Зовнішнє використання для відновлення Zn, Pb тощо.
Конвертери	Шлак	17 000–19 000	Внутрішнє використання у доменній печі
	Оксид з камери допалювання	250–300	Внутрішнє використання у доменній печі
	Оксид з холодильника	100	Внутрішнє використання у доменній печі
	Залишки	300	Внутрішнє використання у доменній печі
	Оксид з фільтра	3500–3700	Зовнішнє використання для відновлення Zn, Pb тощо.
Анодна піч	Залишки анодної міді	7000–8000	Внутрішнє використання у доменній печі
	Оксид з фільтра	150	Внутрішнє використання у доменній печі
	Залишки печі	200	Внутрішнє використання у доменній печі
Електроліз	Анодний шлам	360	Зовнішнє використання
	Сульфат нікелю	700	Зовнішнє використання
Технологічний процес взагалі	Побутові відходи	НД	НД
Примітка: Річний обсяг виробництва 60 000 т катоду/рік. НД = немає даних. *Джерело:* [121, Rentz, O. et al. 1999]			

Шлаки містять різну кількість міді, і велика їх кількість повторно використовуються або обробляються для вилучення вмісту металу. Обробку шлаку часто проводять у термічному процесі для отримання інертного шлаку. Склад деяких шлаків від процесу виплавки міді перед їх очищенням показаний у Таблиці 3.27.

Таблиця 3.27: Склад деяких шлаків від процесу виплавки міді перед їх очищенням

Компонент	Піч зваженої плавки	Конвертер Пірса Сміта	Комбінований шлак після очищення в електричній печі
	(% мас.)		
Мідь	1–2,5	3–5	0,3–0,8
Залізо (всього)	38–45	40–45	40–43
Кремнезем	30–33	25	28–32
Магнетит	4–18	25	< 2
Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]			

Багато шлаків, отриманих в результаті процесів обробки шлаків, містять дуже низькі рівні вилужних металів і є стабільними. Вони часто продаються у якості продуктів для виробництва абразивів та будівельної промисловості, оскільки мають чудові механічні властивості, які іноді перевершують властивості конкурентних природних мінералів [206, Traulsen, H. 1999]. Мастила з різних джерел у технологічному процесі можуть бути відновлені.

3.2.2.6 Експлуатаційні дані деяких процесів виробництва міді

Експлуатаційні дані деяких процесів виробництва міді надані з Таблиці 3.28 до Таблиці 3.37

Таблиця 3.28: Експлуатаційні дані установки електролітичного рафінування міді

Експлуатаційні параметри	Одиниці вимірювання	Стандартне значення або діапазон
Загальне енергоспоживання	кВт-год/т мідних катодів	360–380
Густина струму	$А/м^2$	320–350
Вихід анодного шламу	кг/т мідних катодів	5–12
Температура електроліту	°C	60–68
Вихід	%	> 95
Анодний скрап	%	10–12
Склад електроліту		
H_2SO_4	г/л	150–200
Cu	г/л	40–50
Ni	г/л	16–22
As	г/л	5–12
Примітка: Система з постійною катодною пластиною. *Джерело:* [234, UBA (D) 2007]		

Таблиця 3.29: Експлуатаційні дані електричної печі

Експлуатаційні параметри	Одиниці вимірювання	Стандартне значення або діапазон
Номінальна електрична потужність	МВт-год	13,5
Споживання коксу	кг/т шихти	25–60
Потужність плавки	т/год	10–25
Неочищений газ (з печі)		
Об'ємний потік відхідного газу	$м^3$/год	15 000
Вміст пилу	$мг/м^3$	Приблизно 30 000
Основні компоненти пилу (середні значення)		
Cu	% мас.	0,3–6
Pb	% мас.	15–50
Zn	% мас.	10–50
Sn	% мас.	1–4
Відхідні гази з вмістом SO_2 > 500 $мг/м^3$ після процесу пиловловлення піддають мокрому очищенню і направляють у контактний процес, на установку з виробництва сірчаної кислоти.		
Неочищений газ (вторинні витяжки)		
Об'ємний потік відхідного газу	$м^3$/год	150 000
Вміст пилу	$мг/м^3$	< 5000
Основні компоненти пилу (середні значення)		
Cu	% мас.	Приблизно 8
Pb	% мас.	Приблизно 27
Zn	% мас.	Приблизно 8
As	% мас.	Приблизно 1
Cd	% мас.	Приблизно 1
Очищений газ		
Вміст пилу	$мг/м^3$	1–5
Вміст SO_2	$мг/м^3$	< 500 (1)
Температура відхідного газу після проходження через фільтр	°C	< 85
(1) Безперервний моніторинг: середньодобове значення < 500 $мг/м^3$; макс. середнє значення за пів години < 1500 $мг/м^3$. *Джерело*: [234, UBA (D) 2007]		

Таблиця 3.30: Експлуатаційні дані печі KRS

Експлуатаційні параметри		Одиниці вимірювання	Стандартне значення або діапазон
Кількість матеріалу, що пропускається, в тому числі заліза		т/год	25–50
Споживання палива (мазут)		кг/т шихти	50–70
Споживання відновника (наприклад, коксу)		кг/т шихти	Приблизно 10
Вихід	Шлак силікату заліза	кг/т шихти	300–500
	Конвертерний шлак	кг/т шихти	150–200
	Конвертерна мідь	кг/т шихти	200–300
	Оксид з системи KRS (пил з фільтра)	кг/т шихти	50–100
Об'ємний потік відхідного газу (печі, включно зі вторинними витяжками)		$м^3$/год	300 000
Вміст пилу у неочищеному газі		мг/$м^3$	5000–10 000
Питома інтенсивність регенерації тепла		т пари ГДж/т шихти	0,6 (1,7)–0,7 (2,0)
Основні компоненти пилу з фільтра (залежно від режиму роботи)			
Cu		% мас.	3–6
Pb		% мас.	15–20
Zn		% мас.	35–50
Sn		% мас.	2–4
Очищений газ			
Вміст пилу		мг/$м^3$	1–5
SO_2		мг/$м^3$	50–500 ([1])
NO_X (у перерахунку NO_2)		мг/$м^3$	10–100
Температура відхідних газів на виході з труби		°C	80–90
([1]) Безперервний моніторинг: середньодобове значення < 500 мг/$м^3$; макс. середнє значення за пів години < 1500 мг/$м^3$. *Джерело:* [234, UBA (D) 2007]			

Таблиця 3.31: Експлуатаційні дані анодної відбивної печі

Експлуатаційні параметри		Одиниці вимірювання	Стандартне значення або діапазон
Вихід анодної міді на партію		т	300–600
Кількість партій на день			Приблизно 1
Тривалість періоду виробництва партії		h	22–27
Споживання палива (мазут)		кг/т Cu	60–80
Споживання відновника	Газ для дражніння	$м^3$/т Cu	Приблизно 10
	Деревина для дражніння	кг/т Cu	Приблизно 20
Неочищений газ (в тому числі відхідний газ з вторинної витяжки)			
Об'ємний потік відхідного газу		$м^3$/год	100 000–150 000
Вміст пилу		мг/$м^3$	Приблизно 1000
Питома інтенсивність регенерації тепла		т пари ГДж/т шихти	0,5 (1,4)
Основні компоненти пилу			
CaO (з кондиціонування відхідного газу)		% мас.	30–50
Cu		% мас.	15–25
Zn		% мас.	5–10
Sn		% мас.	1 - 3
Pb		% мас.	5 - 15
As		% мас.	0,5–5 ([1])
Очищений газ (в тому числі відхідний газ з вторинної витяжки)			
Вміст пилу		мг/$м^3$	1–5
SO_2		мг/$м^3$	150–500 ([2])
NO_X (у перерахунку NO_2)		мг/$м^3$	100–350
Температура відхідних газів на виході з труби		°C	Приблизно 100
([1]) Залежно від вихідного матеріалу. ([2]) Безперервний моніторинг: середньодобове значення < 500 мг/$м^3$; макс. середнє значення за пів години < 1500 мг/$м^3$. *Джерело:* [234, UBA (D) 2007]			

Таблиця 3.32: Експлуатаційні дані обертової барабанної печі

Дані заводу ([1])	Одиниці вимірювання	Діапазон або стандартне значення
Шихтовий матеріал		Катоди, вайербарси, брухт, чорнова мідь (у невеликих кількостях)
Потужність	т	35
Температура плавлення	°C	1100
Плавильна потужність	т/год	4
Тип нагрівання		Нагрівається природним газом у якості палива
Питоме споживання енергії ([2])	МДж/т	Приблизно 700 (60–70 м^3 природного газу)
Температура відпрацьованого газу (очищений газ у трубі)	°C	80
Об'ємний потік відпрацьованого газу	м^3/год	20 000
Використовуваний метод очищення відпрацьованого газу		Охолоджувачі, тканинні фільтри
Загальний вміст пилу у неочищеному газі	г/Нм^3	До 3
Дані про викиди з зареєстрованих джерел (очищений газ, середні значення за пів години)		
Всього пилу	мг/нм^3	3
Компоненти пилу		
Нікель	мг/нм^3	0,1
Кадмій	мг/нм^3	0,04
Свинець	мг/нм^3	0,02
Мідь	мг/нм^3	4
Миш'як	мг/нм^3	0,007
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	мг/нм^3	50

([1]) Наведені дані щодо заводу та викидів є прикладами, які представляють результати окремих вимірювань.
([2]) Включно з часом витримки та повторного налагодження.
Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Таблиця 3.33: Експлуатаційні дані шахтної печі установки безперервного лиття

Дані заводу ([1])	Одиниці вимірювання	Діапазон або стандартне значення
Шихтовий матеріал		Катоди, оборотний брухт (внутрішній та зовнішній брухт)
Потужність (теоретична)	т	50
Температура плавлення	°C	1100
Плавильна потужність	т/год	25
Тип нагрівання		Нагрівання паливом (природним газом)
Питоме споживання енергії ([2])	МДж/т	1300–1500
Температура відпрацьованого газу (очищеного газу)	°C	100
Об'ємний потік відпрацьованого газу	м^3/год	40 000
Використовуваний метод очищення відпрацьованого газу		Термічне допалювання, кондиціонування шляхом вдування вапна та за допомогою тканинних фільтрів
Загальний вміст пилу у неочищеному газі	г/м^3	До 1,5
Дані про викиди з зареєстрованих джерел (очищений газ, середні значення за пів години)		
Всього пилу ([3])	мг/нм^3	1
Компоненти пилу		
Нікель	мг/м^3	0,1
Кадмій	мг/м	0,05
Свинець	мг/нм^3	0,5
Кобальт	мг/нм^3	< 0,1
Мідь	мг/нм^3	0,5
Миш'як	мг/нм^3	0,05–015
CO	мг/нм^3	9000 ([4])
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	мг/нм^3	50

([1]) Наведені дані щодо заводу та викидів є прикладами, які представляють результати окремих вимірювань.
([2]) Включно з часом витримки та повторного налагодження.
([3]) Також з використанням матеріалів з органічними домішками.
([4]) Катоди були такими, що відновлюють розплав.
Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Таблиця 3.34: Експлуатаційні дані шахтної печі ливарно-прокатної установки з виробництва дроту

Дані заводу ([1])	Одиниці вимірювання	Діапазон або стандартне значення
Шихтовий матеріал		Електролітична мідь (мідні катоди та власний брухт)
Плавильна потужність	т/год	50–60
Тип нагрівання		Нагрівання паливом (природним газом)
Питоме споживання енергії	МДж/т	1000–1050
Температура відпрацьованого газу (очищеного газу)	°C	120–160
Об'ємний потік відпрацьованого газу	$м^3$/год	50 000–80 000
Дані про викиди з зареєстрованих джерел (очищений газ, середні значення за пів години)		
Всього пилу	$мг/нм^3$	< 4
NO_X	$мг/нм^3$	60–110
SO_2	$мг/нм^3$	15–30
HCl	$мг/нм^3$	< 20
CO ([2])	$мг/нм^3$	3500–9000 ([3])
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	$мг/нм^3$	10–21
([1]) Наведені дані щодо заводу та викидів є прикладами, які представляють результати окремих вимірювань. ([2]) Без допалювання. ([3]) Катоди були такими, що відновлюються під час розплавлення. *Джерело*: [234, UBA (D) 2007]		

Таблиця 3.35: Експлуатаційні дані тигельних індукційних печей для виробництва мідних сплавів

Дані заводу ([1])	Одиниці вимірювання	Діапазон або стандартне значення
Шихтовий матеріал		Шматковий шихтовий матеріал, стружка
Потужність (теоретична)	т	6–60
Використовувана потужність	т	3–50
Температура плавлення	°C	1050–1300
Плавильна потужність	т/год	2,4–25
Тип нагрівання		Електричне
Питоме споживання енергії ([2])	МДж/т	900–1600
Температура відпрацьованого газу (очищений газ у трубі)	°C	60–120
Об'ємний потік відпрацьованого газу	$м^3$/год	17 000–70 000
Використовуваний метод очищення відпрацьованого газу		Циклон з розташованим після нього тканинним фільтром
Загальний вміст пилу у неочищеному газі	$г/м^3$	3 ([3])
Дані про викиди з зареєстрованих джерел (очищений газ, середні значення за пів години) ([3])		
Всього пилу	$мг/м^3$	< 5
Компоненти пилу		
Хром	$мкг/м^3$	< 10
Нікель	$мкг/м^3$	< 10
Кадмій	$мкг/м^3$	< 5
Свинець	$мкг/м^3$	< 20
Мідь	$мкг/м^3$	< 50
Марганець	$мкг/м^3$	< 20
Олово	$мкг/м^3$	< 20
Цинк	$мкг/м^3$	< 100
Миш'як (газоподібна фаза)	$мкг/м^3$	< 20
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	$мг/м^3$	< 10–50
([1]) Наведені дані щодо заводу та викидів є прикладами, які представляють результати окремих вимірювань. ([2]) Включно з часом витримки та повторного налагодження. ([3]) Під час виробництва латуні. *Джерело*: [234, UBA (D) 2007]		

Таблиця 3.36: Експлуатаційні дані канальних індукційних печей для виробництва мідних сплавів

Дані заводу ([1])	Одиниці вимірювання	Діапазон або стандартне значення
Шихтовий матеріал		Шматковий шихтовий матеріал, стружка
Потужність (теоретична)	т	7–25
Використовувана потужність	т	7–20
Температура плавлення	°C	1050–1300
Плавильна потужність	т/год	2,5–8,8
Тип нагрівання		Електричне
Питоме споживання енергії ([2])	МДж/т	1290
Температура відпрацьованого газу (очищеного газу)	°C	50–90
Об'ємний потік відпрацьованого газу	$м^3$/год	10 000–20 000
Використовуваний метод очищення відпрацьованого газу		Циклон з тканинним фільтром
Загальний вміст пилу у неочищеному газі	г/$м^3$	3 ([3])
Дані про викиди з зареєстрованих джерел (очищений газ, середні значення за пів години) ([3])		
Всього пилу	мг/$м^3$	< 1
Компоненти пилу		
Хром	мкг/$м^3$	< 1
Нікель	мкг/$м^3$	< 1
Кадмій	мкг/$м^3$	< 0,1
Свинець	мкг/$м^3$	< 5
Мідь	мкг/$м^3$	< 10
Марганець	мкг/$м^3$	< 1
Олово	мкг/$м^3$	< 1
Миш'як (тверда фаза)	мкг/$м^3$	< 0,1
Миш'як (газоподібна фаза)	мкг/$м^3$	< 2
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	мг/$м^3$	< 10

([1]) Наведені дані щодо заводу та викидів є прикладами, які представляють результати окремих вимірювань.
([2]) Включно з часом витримки та повторного налагодження.
([3]) Під час виробництва низьколегованих марок міді.
Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Таблиця 3.37: Експлуатаційні дані для процесу виробництва вторинної міді (переплавлення)

Вхідний потік	Кількість	Вихідний потік	Кількість
Метал	110 000 т/рік	Прокатна продукція	125 600 т/рік
Лігатура	4000 т/рік	Екструдовані вироби та продукти волочіння	134 000 т/рік
Брухт	308 300 т/рік	Труби	69 000 т/рік
Природний газ	538 кВт-год/т продукції	Вироби з лиття	10,24 кг/т продукції
Бутан	34 кВт-год/т продукції	Перероблення відходів	69,83 кг/т продукції
NH_X	12 220 $м^3$/т продукції	Утилізація відходів	1306 т/рік
Азот N_2	15 834 $м^3$/т продукції	Комунально-побутові стічні води	0,14 $м^3$/т продукції
Водень H_2	1289 $м^3$/т продукції	Очищені відпрацьовані води	0,71 $м^3$/т продукції
Струм	1117 кВт-год/т продукції	Вода для охолодження	26 699 $м^3$/т продукції
Гідроенергія	21 кВт-год/т продукції	Випаровування	0,80 $м^3$/т продукції
Підземні води	28 229 $м^3$/т продукції	Надлишок рідини у градирні	0,021 $м^3$/т продукції
Питна вода	0,145 $м^3$/т продукції	Всього вуглецю	25 416 кг/рік
Матеріал для покриття	4,1 кг/т продукції	Оксид азоту у вигляді NO_2	63 072 кг/рік
Деревне вугілля	0,85 кг/т продукції	Пил	952 кг/рік
Технічний газ ([1])	17,8 $м^3$/т продукції	Викиди CO_2	0,12 т/т продукції
Тверді хімічні речовини	0,85 кг/т продукції		
Рідкі хімічні речовини ([2])	4,96 кг/т продукції		
Обробка рідин та жирів ([3])	1,73 кг/т продукції		
Бутан ([4])	2,72 кг/т продукції		
Бензин	0,04 л/т продукції		
Дизель	2,42 л/т продукції		

([1]) Інертний газ для відпалювання.
([2]) Переважно для травлення та вилуговування.
([3]) Мастило, змащувально-охолоджувальна рідина, знежирювальний засіб.
([4]) Технологічний газ як альтернатива природному газу.
Джерело: [234, UBA (D) 2007]

3.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ

У розділах цього документа під назвою «Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ» викладено технології, які зазвичай мають потенціал для досягнення високого рівня захисту довкілля в галузях, що охоплюються цим документом. Передумови способу опису технологій надано у Розділі 2.12 та Таблиці 2.10.

У цьому розділі наведено ряд технологій запобігання або зменшення викидів та залишків, а також технологій зниження загального споживання енергії. Усі вони представлені на ринку. Приклади наведено для демонстрації технологій, що демонструють хороші екологічні показники. Технології, наведені у якості прикладів, ґрунтуються на інформації, наданій галуззю, країнами-членами ЄС, а також на оцінці Європейським бюро з комплексного запобігання та контролю забруднення. Загальні технології, описані у Главі 2 стосовно загальних технологічних процесів, значною мірою застосовні до процесів у цьому секторі та впливають на те, як контролюються та керуються основні та супутні процеси.

3.3.1 Процес приймання, зберігання та поводження з матеріалом

3.3.1.1 Технології зменшення дифузних викидів від приймання, зберігання та поводження з первинними та вторинними матеріалами

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від приймання, зберігання та поводження з первинною та вторинною сировиною, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006]

Опис
Технології, які слід розглянути:

- непроникна поверхня/підлога із системою збору дренажної води для відкритих складів;
- витяжні системи за якими знаходяться рукавні фільтри (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Первинною сировиною є руди, концентрати, кокс, пісок та інші флюси, зазвичай пилоподібні за своєю природою. Також використовується широкий спектр вторинної сировини, яка містять ряд металів та металовмісних сполук, таких як металобрухт, знімання/дрос, шлаки, штейн та пил з фільтрів. Розмір цих матеріалів може варіюватися від дрібного пилу до великих компонентів, і вони можуть бути забруднені мастилами, кислотами та іншими органічними речовинами. Під час роботи з матеріалами, що утворюють пил, використовується закрите обладнання/будівлі та/або вентильовані витяжки, щоб звести до мінімуму дифузні викиди (наприклад, зі стаціонарних пунктів розвантаження та пунктів конвеєрної передачі). Рукавний фільтр зазвичай використовується для видалення пилу і металів з димових газів, що утворюються.

Відкриті склади використовуються для об'ємного шматкового матеріалу, але зазвичай розташовуються на твердій непроникній поверхні, такій як бетон, із системою збору дренажної води для запобігання забрудненню ґрунту/ґрунтових вод під час зберігання та поводження.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу.
- Повторне використання пилу у технологічному процесі, де це можливо.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємстві Aurubis, Пирдоп, концентрати зберігаються на складах у двох критих будівлях із бункерами для усереднення та ямами для усереднення. Доставлення та розвантаження залізничних вагонів та вантажівок відбувається на закритій території.

На підприємстві Aurubis, Гамбург, мідні концентрати транспортуються в закритих конвеєрах з порту до складських приміщень. Концентрати зберігаються у складських приміщеннях. Система «flex-flap» використовується для запобігання дифузним викидам під час розвантаження концентрату з корабля. Пил, що утворюється, збирається на крані та видаляється в касетних фільтрах. Пил зберігають у закритих приміщеннях, силосах або герметичній упаковці. Перед тривалим зберіганням у закритих відсіках його гранулюють та іноді покривають вапняним молоком. Наприкінці 2011 року було побудовано нову зону зберігання (площею 5000 м^2) для сипких матеріалів, що містять свинець, з вбудованими системами дроблення, просіювання і закритими конвеєрними стрічками. Вона має витяжну систему для дробарки, сітку та стрічки, а також систему знепилення у рукавному фільтрі потужністю 70 000 нм^3/год. Об'ємні матеріали зберігаються на відкритому повітрі з системами розпилення води для пригнічення пилу.

На підприємстві Aurubis, Люнен та Олен, матеріали зі шкідливими водорозчинними або диспергованими компонентами зберігаються або у критих зонах зберігання, або у герметичній упаковці зовні, у відкритих зонах зберігання. Використовуються вітрозахисні стіни та зрошувальні установки. Для об’ємних матеріалів, таких як брухт і чорнова мідь, зазвичай використовують відкрите зберігання. У разі потреби використовуються зрошувальні установки, щоб уникнути викидів пилу. Площа критих зон зберігання у закритих площах заводу Aurubis, Люнен, складає близько 16 000 м^2. Для зменшення дифузних викидів з решти відкритих зон зберігання використовуються вітрозахисні стіни та зрошувальні установки.

На підприємстві Atlantic Copper закрите приміщення для розвантаження концентратів і станція миття вантажівок дозволяють мінімізувати викиди твердих часток. Концентрати транспортуються з порту на завод у критих вантажівках. Для транспортування матеріалу використовують повністю закриті конвеєрні стрічки. У системах вентиляції використовують рукавні фільтри.

На підприємстві Boliden, Гар'явалта, концентрат вивантажується за допомогою грейферів прямо з корабля у портовий транзитний термінал. Залізничні вагони завантажуються на терміналі фронтальними навантажувачами. Транспортування з порту на завод здійснюється у залізничних вагонах, закритих гідравлічними кришками. Концентрати вивантажуються та зберігаються у закритому сховищі.

На підприємстві Umicore, Хобокен, комплексному плавильному заводі з широким спектром вхідної сировини, ефективне запобігання утворенню пилу у джерелі під час роботи з первинними та вторинними продуктами на відкритому повітрі забезпечується шляхом інтенсивного зрошування туманоутворювальними установками. Часте зрошування складів за допомогою туманоутворювальних установок підтримує вологість поверхні. Матеріали зберігаються у відсіках із підпірними стінками з трьох сторін, на герметичних бетонних підлогах, з'єднаних з установкою з очищення відпрацьованих вод за допомогою каналізаційної системи. Дуже пильні матеріали зберігаються всередині закритих будівель і обробляються у закритих системах. Вантажівки, що залишають завод, очищаються на установці з миття коліс, а вода очищається на установці з очищення відпрацьованих вод на об'єкті.

На підприємстві KGHM концентрати транспортуються в залізничних вагонах, що саморозвантажуються. Зі спеціальної станції розвантаження, обладнаної системою видалення пилу, концентрат транспортується за допомогою стрічкових конвеєрів на криту станцію усереднення, яка також виконує функцію складу для концентрату й установки для усереднення.

У Глогуві 1 повітря з розвантажувальних споруд фільтрується у рукавному фільтрі потужністю 190 000 Нм^3/год. Періодичні вимірювання концентрації пилу проводяться чотири рази на рік. Досягається рівень концентрації пилу в діапазоні 2–5 мг/Нм^3. Місткість критих сховищ становить близько 35 000 тонн.

У Легниці повітря від розвантажувальних споруд фільтрується у рукавному фільтрі потужністю 52 000 Нм^3/год. Періодичні вимірювання концентрації пилу проводяться чотири рази на рік. Досягається рівень концентрації пилу в діапазоні 0,3–5 мг/Нм^3. Місткість критих сховищ становить близько 16 000 тонн.

У Глогуві 1 та Легниці коксовий дріб'язок транспортується залізничним транспортом, вивантажується та зберігається в коксовому бункері. Чорний луг, що використовується у якості в'яжучої речовини у процесі брикетування концентрату, надходить у залізничні вагони-цистерни та перекачується в ємності для зберігання.

У Глогуві 2 повітря з розвантажувальних споруд фільтрується у рукавному фільтрі потужністю 80 000 $Нм^3$/год. Періодичні вимірювання концентрації пилу проводяться чотири рази на рік. Досягається рівень концентрації пилу в діапазоні 1–5 мг/$Нм^3$. На початку 2012 року введено в експлуатацію нову установку для усереднення з місткістю зберігання 60 000 тонн. Допоміжні матеріали, такі як коксовий дріб'язок, вапняк та пісок, обробляються так само як і концентрат, але на окремій лінії. Зона зберігання допоміжних матеріалів обладнана системою видалення пилу. Повітря фільтрується у рукавних фільтрах потужністю 3000 $Нм^3$/год. Досягається рівень концентрації пилу в діапазоні 1–5 мг/$Нм^3$.

У Metallo-Chimique, Бресе, пилоподібні матеріали зберігаються у закритому приміщенні. Система всмоктування повітря знаходиться на даху. Повітря фільтрується рукавним фільтром (120 000 $Нм^3$/год). Можуть підтримуватись рівні викидів пилу < 0,5 мг/$Нм^3$. Це значення ґрунтується на двох 4-годинних вимірюваннях (точковий відбір проб) у 2011 році. Інші матеріали зберігаються зовні на герметичних бетонних підлогах, з'єднаних з установкою з очищення відпрацьованих вод за допомогою каналізаційної системи. Матеріал підтримується у вологому стані водою (зрошування, водомети).

На підприємстві Montanwerke Brixlegg сировинні матеріали доставляється автомобільним або залізничним транспортом. Пилоподібні матеріали зберігаються у ящиках. Інші сировинні матеріали зберігаються у відкритій зоні зберігання з брукованою підлогою.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії для роботи витяжних та фільтрувальних систем, наприклад, вентиляторів та рукавних фільтрів.
- Обробка димового пилу для видалення домішок має проводитися всередині.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Використання рукавних фільтрів є загальнозастосовним методом.

Економічні аспекти
Metallo-Chimique (у 2007–2008 рр.) інвестувала близько 6,5 млн євро у будівництво критої зони зберігання для пилоподібних матеріалів. Площа зони для зберігання становить 8000 $м^2$ та 180 000 $м^3$, максимальна місткість становить 20 000 тонн. Максимальна пропускна спроможність залу складає 50 000 т/рік.

Будівництво критого сховища (площею 5000 $м^2$) з інтегрованим обладнанням для дроблення, просіювання та транспортування, з'єднаним з рукавним фільтром (70 000 $Нм^3$/год) на підприємстві Aurubis у Гамбурзі призвело до капітальних витрат у розмірі 7,5 млн євро.

Будівництво у Люнені критого складу для вихідних матеріалів, що утворюють пил, з площею поверхні 10 600 $м^2$ та об'ємом 210 000 $м^3$ призвело до капітальних витрат у розмірі 7,5 млн євро (в тому числі на спеціальну наземну споруду з непроникним для рідини бетоном, водорозпилювальні форсунки та установки для миття коліс для вантажівок, що виїжджають).

Будівництво нової критої установки для усереднення місткістю зберігання 60 000 тонн у KGHM, Глогув 2, склало 10 мільйонів євро.

Стимул до впровадження
Зменшення дифузних викидів металовмісного пилу.

Приклади заводів
Umicore, Хобокен (Бельгія), Aurubis (Бельгія) та (Німеччина), Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія), Atlantic Copper (Іспанія), Boliden, Гар'явалта (Фінляндія), KGHM Глогув 1, Глогув 2 і Легниця (Польща).

Довідкова література
[383, Copper subgroup 2012]

3.3.1.2 Технології зменшення дифузних викидів під час транспортування дрібнодисперсних та пилоподібних матеріалів

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів під час транспортування дрібнодисперсних та пилоподібних матеріалів, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006]

Опис
Технологія, яку необхідно враховувати — це витяжні системи з подальшим надходженням у рукавні фільтри (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Рукавний фільтр, див. Розділ 2.12.5.1.4.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу.
- Уловлений пил повторно використовується в процесі виплавки.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Безперервний моніторинг запиленості за допомогою імпінжерних, оптичних або трибоелектричних пристроїв проводиться для виявлення несправності фільтрувального мішка. Перепад тиску можна контролювати для керування механізмом очищення.

На підприємстві Atlantic Copper, Уельва, для транспортування матеріалів використовується закриті стрічкові конвеєри. У системах вентиляції використовують рукавні фільтри. Висушена суміш концентратів та флюсів за допомогою двох пневматичних систем транспортується в бункер місткістю 450 тонн. Повітря від пневматичного транспортування проходить очищення у рукавному фільтрі (швидкість потоку 1500 $Нм^3$/год). Досягається рівень концентрації пилу < 7 мг/$Нм^3$.

На підприємстві Aurubis у Гамбурзі суміш концентрату та інші вихідні матеріали транспортуються закритою системою стрічкових конвеєрів зі складської будівлі на станцію бункерів-дозаторів. Суміш вихідних матеріалів транспортується в сушарки за допомогою закритої системи стрічкових конвеєрів. Сухий вихідний матеріал, що виходить із сушарок, транспортується пневматичною системою транспортування у щільній фазі. Відпрацьоване повітря від процесу транспортування знепилюється у рукавному фільтрі. Періодичні вимірювання концентрації пилу проводяться чотири рази на рік. Повідомлені рівні концентрації пилу складають < 5 мг/$Нм^3$.

На підприємстві Aurubis, Пирдоп, сухий вихідний матеріал, що виходить із сушарок, транспортується пневматичним конвеєром у бункер для сухої шихти. Відпрацьоване повітря від процесу транспортування знепилюється у рукавному фільтрі. Періодичні вимірювання пилу проводяться один раз на пів року.

На підприємстві Boliden, Гар'явалта, суміш концентрату передається закритими стрічковими конвеєрами із зони усереднення та зберігання в сушарки. Висушена суміш вихідного матеріалу транспортується за допомогою пневматичних конвеєрів в систему подання що працює за принципом втрати ваги, розташовану над піччю зваженої плавки. Твердий матеріал відокремлюється від транспортувального повітря в рукавному фільтрі (швидкість потоку 800–6400 $Нм^3$/год). Концентрація пилу вимірюється періодично. Досягаються рівні концентрації <5 мг/$Нм^3$.

На підприємстві KGHM, Глогув 1 та Легниця, усереднений матеріал подається закритими стрічковими конвеєрами в бункер для зберігання, бункери-дозатори та шнекові мішалки перед надходженням у сушарки. Чорний луг додається до шнекових мішалок у якості в'яжучої речовини в процесі брикетування. У Глогуві 1 є п'ять ліній брикетування, а у Легниці — три, кожна потужністю 60 т/год. У місцях вивантаження концентрату, розташування машин для брикетування та лініях транспортування встановлені рукавні фільтри. Періодичні вимірювання концентрації пилу проводяться чотири рази на рік.

У Глогуві 1 лінії транспортування мають наступні характеристики:

- Система вентиляції зон жолобу транспортування концентрату оснащена чотирма рукавними фільтрами (10 000 $Нм^3$/год кожен). Досягається рівень концентрації пилу в

діапазоні 3–10 мг/Нм^3.
- Система вентиляції станції конвеєрного транспортування брикетів, оснащена рукавним фільтром (25 000 Нм^3/год). Досягається рівень концентрації пилу в діапазоні 3–5 мг/Нм^3.
- Система вентиляції проміжних бункерів для зберігання брикетів (дві в експлуатації), що складається з трьох рукавних фільтрів (25 000 Нм^3/год кожен) для повітря з верхньої частини бункерів і трьох рукавних фільтрів (27 000 Нм^3/год кожен) для повітря від вібраторів у їх нижній частині. Досягається рівень концентрації пилу в діапазоні 3–5 мг/Нм^3.

У Легниці лінії транспортування мають наступні характеристики:

- Система вентиляції системи конвеєрного транспортування концентрату, оснащена чотирма рукавними фільтрами (10 000 Нм^3/год, концентрація пилу 0,2–5 мг/Нм^3).
- Система вентиляції проміжних бункерів для зберігання брикетів, оснащена рукавним фільтром (9000 Нм^3/год, концентрація пилу 0,3–5 мг/Нм^3).
- Система вентиляції системи конвеєрного транспортування брикетованого концентрату та допоміжних матеріалів, оснащена рукавним фільтром (23 500 Нм^3/год, концентрація пилу 0,3–5 мг/Нм^3).
- Система вентиляції системи конвеєрного транспортування брикетованого концентрату та допоміжних матеріалів (до кожної печі), оснащена трьома рукавними фільтрами (20 000 Нм^3/год кожний, концентрація пилу 2–10 мг/Нм^3).

Рукавні фільтри у Глогуві 1 та Легниці належать до касетного типу з очищенням пульсацією.

У Глогуві 2 усереднений матеріал передається закритим стрічковим конвеєром у сушарку, звідки він транспортується пневматичним способом у завантажувальні бункери.

У Metallo-Chimique, Берсе, пневматичне транспортування дрібних та пилоподібних матеріалів через труби з подвійними стінками використовується для подання у металоплавильну піч. Дрібні та пилоподібні матеріали є вихідними матеріалами, які висушуються і тимчасово зберігаються в силосі перед відправленням у металоплавильну піч.

На підприємстві Umicore, Хобокен, пилоподібні матеріали зберігаються в контейнерах у закритих приміщеннях. Їх спорожняють у закритій системі, а потім транспортують закритою конвеєрною системою у мішалку, де вони змішуються або з дуже вологими матеріалами, або з водою, перш ніж відправитися на зберігання зовні. Закрита система знаходиться під негативним тиском, а повітря, що виходить із системи, очищається у рукавному фільтрі.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії для роботи витяжних та фільтрувальних систем, наприклад, вентиляторів та рукавних фільтрів.
- Обробка димового пилу для видалення домішок має проводитися всередині.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія сировини.

Приклади заводів
Atlantic Copper, Уельва (Іспанія), Aurubis, Гамбург (Німеччина), Aurubis, Пирдоп (Болгарія), Boliden, Гар'явалта (Фінляндія), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 і Легниця (Польща), Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія) та Umicore (Бельгія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.2 Процеси попередньої обробки матеріалу

3.3.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів під час попередньої обробки первинних та вторинних матеріалів, такої як усереднення, сушіння, змішування, гомогенізація, просіювання та гранулювання

Для виробництва міді використовуються руди, концентрати та різна вторинна сировина, від дрібного пилу і до великих окремих одиниць відходів. Вміст міді варіюється для кожного типу матеріалу, як і вміст інших металів та забруднювальних речовин.

До основних технологій попередньої обробки належать усереднення, сушіння (інформацію про сушіння концентрату див. у Розділі 3.3.2.3), брикетування/гранулювання/агломерація, зменшення розміру та розділення.

Усереднення виконується для змішування руд або концентратів різної якості з флюсами або для змішування різної вторинної сировини для отримання стабільного та однорідного вихідного матеріалу. Усереднення відбувається з використанням установок для усереднення або бункерів-дозаторів з використанням дозувальних систем, що працюють за принципом втрати ваги, або конвеєрних ваг.

Сушіння використовується, якщо для процесу виплавки необхідний сухий вихідний матеріал або зниження вологості вихідного матеріалу. Це досягається шляхом застосування обертових сушарок з використанням гарячого газу (з прямим нагріванням пальником) або сушарок з паровим змійовиком (з непрямим нагріванням з використанням пари або гарячого повітря в змійовиках теплообмінника). Сушарки з паровим змійовиком можуть використовувати тепло, що відходить від інших етапів процесу за умови, що це дозволяє тепловий баланс. Для спеціальних матеріалів, таких як димовий пил, залишки, осад та інші, можна використовувати конвеєри з гарячим повітрям або вакуумні сушарки.

Залежно від процесу концентрати та інші дрібні матеріали можуть бути гранульовані або спресовані у брикети. З цією метою використовуються покриття та в'яжучі речовини, щоб зменшити утворення пилу на наступних етапах технологічного процесу. Брухт ущільнюються шляхом пресування або пакетування перед обробкою.

Дроблення, зменшення розміру та просіювання використовуються для зменшення розміру вторинної сировини, щоб вони були придатними для продажу або подальшої обробки.

Опис

Технології, які слід розглянути:

- закриті конвеєри та витяжка або система пневматичного транспортування (див. Розділ 2.12.4.1);
- закрите приміщення (див. Розділ 2.12.4.1) для проведення робіт із пилоподібними матеріалами (наприклад, змішування);
- системи пригнічення пилу, такі як розпилювачі води або системи туманоутворення;
- системи видалення пилу та газу, підключені до фільтрувального обладнання, такі як рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- водомети для збереження матеріалу вологим для здійснення змішування зовні;
- збирання та очищення рідких відходів перед скиданням;
- технології розділення брухту для збільшення виходу відновленого металу.

Технічний опис

Технології, що використовуються для попередньої обробки, залежать від розміру та характеру матеріалу, а також від ступеня будь-якого присутнього забруднення.

Коли необхідно усереднити пилоподібні матеріали, усереднення відбувається у закритих приміщеннях з використанням закритих конвеєрів та пневматичних систем транспортування. Також можуть застосовуватися витяжні системи та подальше знепилення. Уловлений пил може бути повернений у технологічний процес. Системи пригнічення пилу, такі як розпилювачі води або системи туманоутворення, можуть застосовуватися для створення водяного дрібнодисперсного туману. Концентрати за своєю природою містять достатню кількість води для запобігання утворенню пилу.

Висушений матеріал зазвичай дуже запилений, тому застосовується пневматичне транспортування з витяжкою та рукавними фільтрами для очищення запилених газів. Уловлений пил повертається в процес.
Зони брикетування та гранулювання ізольовані та закриті. Використовуються закриті конвеєри. Застосовуються системи вентиляції з подальшим знепиленням у рукавному фільтрі. Операції з ущільнення брухту відбуваються у закритому приміщенні або на відкритому майданчику, обладнаному системами пригнічення пилу. Можуть знадобитися заходи для зниження рівня шуму, наприклад, встановлення шумознижувального бар'єру.

Операції дроблення, помелу, подрібнення та просіювання потенційно є джерелами викидів пилу, тому використовуються системи видалення та боротьби з викидами, а уловлений пил повертається у технологічний процес. Можуть застосовуватися системи пригнічення пилу, такі як розпилювачі води або системи туманоутворення.

Технології розділення використовуються для вторинної сировини у спеціальному процесі, якщо це необхідно, та підходить для процесу відновлення. Технології ручного та механічного розділення використовуються для попередньої обробки потоків, наприклад, для видалення батарей, ртутних контактів та ізоляції кабелів з електронного обладнання. Електронні компоненти можуть бути подрібнені у подрібнювачах або млинах, щоб відокремити друковані плати та інші металеві компоненти від неметалевих, щоб їх можна було розділити. У цьому випадку різниця в густині та розмірах різних фракцій використовується для розділення металевих та неметалевих сполук за допомогою водного шару. Повітряне розділення також використовується для відокремлення металів від менш щільних матеріалів з електронного брухту. Магнітне розділення використовується для видалення шматків заліза зазвичай за допомогою надстрічкових магнітів над конвеєрами. Оптичне розділення або розділення вихровим струмом за допомогою електромагнітних полів можна використовувати для відокремлення алюмінію від іншого матеріалу. Індукційне розділення може застосовуватись для розділення пластмас.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання та зменшення викидів пилу, металів та інших сполук.
- Збереження сировини, оскільки пил з фільтра повторно використовується у технологічному процесі.
- Зменшення викидів у воду.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На заводі Atlantic Copper в Уельві (Іспанія) приготування усередненого матеріалу здійснюється у 16 силосах місткістю 200 тонн кожен, два з яких використовуються для флюсів. Конвеєрні стрічки, розташовані всередині закритих галерей, передають концентрати та флюси із критого сховища в силоси; встановлені вентиляційні витяжки на кожному пункті передачі та рукавні фільтри для знепилення газів, що відходять.

На заводі Aurubis у Гамбурзі (Німеччина) мідні концентрати та інші вихідні матеріали для заводу з виплавки первинної міді транспортуються системою стрічкових конвеєрів (300 т/год) зі складських приміщень на станцію бункерів-дозаторів з шістьма бункерами, кожен з місткістю 240 тонн для концентрату та одним бункером місткістю 220 тонн для кремнеземного флюсу. Станція з бункерами дозволяє регулювати компоненти суміші вихідного матеріалу за допомогою кільцевої камери відбору бункера з регульованою швидкістю. Суміш вихідних матеріалів транспортується в сушарки за допомогою закритої системи стрічкових конвеєрів. У бункері приймання концентрату та дозувальному бункері використовується система вентиляції зі знепиленням у рукавному фільтрі.

Крита зона зберігання, призначена для сипких вторинних матеріалів з вбудованими системами дроблення, просіювання і закритими конвеєрними стрічками. Дрібні вихідні матеріали або матеріали осадного типу для заводу з виплавки вторинної міді гранулюються та висушуються до менш ніж 2% гарячим повітрям у конвеєрній або вакуумній сушарці. Зона гранулювання ізольована та закрита. Використовуються закриті конвеєри. Вихлопні гази направляються у рукавний фільтр. Газ після сушіння очищається у рукавному фільтрі. Безперервні вимірювання концентрації пилу показують рівень концентрації 0,5–10 мг/нм^3 (середнє значення за пів години), 0,5–5 мг/нм^3 (середньодобове значення) і середньорічне значення 3,4 мг/нм^3.

На заводі Aurubis у Пирдопі (Болгарія) підготування усередненого матеріалу здійснюється автоматично. Вагові дозатори отримують певну кількість матеріалу з кожного живильного

бункера, який потім вивантажується на стрічковий конвеєр. Суміш, отримана на конвеєрі, просіюється і транспортується в чотири бункери для «мокрого усередненого матеріалу». Усереднення відбувається у закритому приміщенні. Усереднений матеріал транспортується закритими конвеєрами в бункери для шихти.

На заводі Aurubis у Люнені (Німеччина) підготовка електронного брухту розрахована на належне розділення. Електронний брухт подрібнюється, а потім проходить повітряне розділення, просіювання, магнітне розділення для заліза, оптичне розділення для алюмінію та деяких сплавів та індукційне розділення для пластмасового матеріалу. Подрібнення та розділення відбуваються у закритому приміщенні. Сітки, а також пункти передачі з одного конвеєра на інший закриті. Також встановлено зрошувальні установки для підтримання матеріалу у вологому стані. Конвеєри для подрібненого матеріалу вентилюються, а вихлопні гази очищуються в рукавному фільтрі. Повітря з колонки повітряного розділення очищається в циклоні. Пилоподібні матеріали зберігаються та усереднюються у закритому приміщенні. Перед завантаженням у піч KRS здійснюється часткова агломерація матеріалу водою. Використовуються закриті конвеєри.

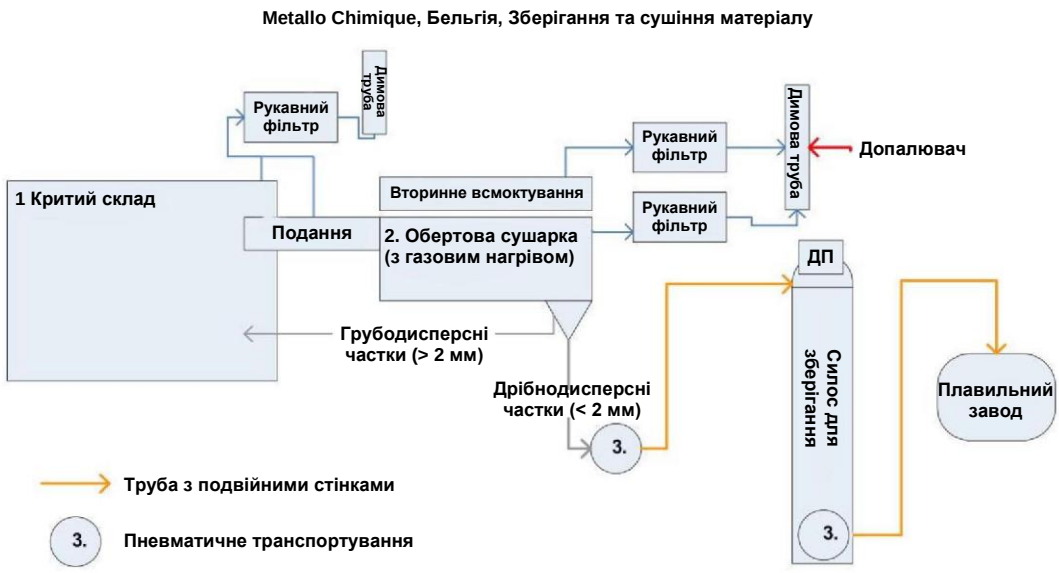
На підприємстві Boliden у Гар'явалті (Фінляндія) суміш вихідного матеріалу із різних концентратів готується на установці гомогенізації та усереднення. Крім того, під час гомогенізації змішуються кремнеземний флюс, різні перероблені осади та інші вторинні матеріали. Процес гомогенізації суміші вихідного матеріалу покращує управління технологічним процесом. Установка для усереднення знаходиться у закритому сховищі. Гомогенізована суміш вихідного матеріалу транспортується за допомогою стрічкових конвеєрів у бункери. Після просіювання суміш вихідного матеріалу надходить на сушильну установку критими стрічковими конвеєрами. Така ж система використовується на підприємстві Boliden у Рьоннскярі (Швеція).

На заводі KGHM, Глогув 1 (Польща), усереднення здійснюється на установці для усереднення. Концентрати та відходи, що підлягають переробленню, розподіляються рівними шарами в одному із трьох прольотів. Спорожнення прольотів здійснюється за допомогою змішувальної машини, яка розрізає шари концентрату і, таким чином, збирає усереднений матеріал, відправляючи його стрічковими конвеєрами в бункер для зберігання. З бункера для зберігання усереднений концентрат розподіляється у бункери-дозатори сушильних ліній. Усереднений матеріал подається до шнекової мішалки, куди додається чорний луг. У Глогуві 1 є 5 ліній брикетування, кожна потужністю 60 т/год. У місцях вивантаження концентрату, розташування машин для брикетування та лініях транспортування встановлені рукавні фільтри (описуються у Розділі 3.3.1.2). Відфільтроване вентиляційне повітря із зон брикетування містить пил на рівні 0,3–5 мг/Нм^3.

На заводі KGHM, Глогув 2 (Польща), три рукавні фільтри знепилюють вентиляційне повітря зі станції вивантаження концентрату. Мідний концентрат та інші вихідні матеріали для заводу з виплавки первинної міді транспортуються системою стрічкових конвеєрів від станції розвантаження до кінцевої станції з 15 бункерами для концентрату та 6 бункерами для інших матеріалів. Стрічки з регульованою швидкістю, що отримують концентрат з бункерів, дозволяють підтримувати потрібну суміш.

На заводі KGHM, Легниця (Польща), усереднення концентратів здійснюється автоматично. Матеріали з кожного бункера вивантажуються на конвеєрну стрічку за допомогою системи дозування, що дозволяє отримати бажану суміш. Потім матеріал подають до шнекової мішалки, куди додають чорний луг.

На заводі Metallo-Chimique у Бельгії для сушіння вторинної сировини встановлена обертова сушарка що працює на природному газі (див. Рисунок 3.12 і Таблицю 3.38).



Джерело: [7, Metallo-Chimique 2012]

Рисунок 3.12: Metallo Chimique — Зберігання та сушіння матеріалу

Рукавний фільтр працює під час роботи сушарки.

Таблиця 3.38: Інформація про функціонування сушарок Metallo-Chimique

Тип печі	Потужність	Нагрівання	Очищення відхідних газів	Викиди
Обертова сушарка	15 т/год (2 тонни/год; вміст води: до 12%, після < 1%))	Спалювання природного газу	Первинний рукавний фільтр + Вторинний рукавний фільтр + Допалювач	Пил 1–3 мг/Нм^3
Джерело: [7, Metallo-Chimique 2012]				

Деякі види брухту пресуються у брикети за допомогою гідравлічних пакувального преса; інші розрізаються на зручні шматки за допомогою ножиць для скрапу. За необхідності шлак розбивається на дрібніші фрагменти.

На заводі Umicore у Хобокені (Бельгія) електронний брухт подрібнюється для відбору проб та завантаження в піч. Операції подрібнення та конвеєрні стрічки знаходяться під негативним тиском; відпрацьоване повітря очищується в абсолютному фільтрі (рукавному фільтрі). Абсолютний фільтр є багатосекційним фільтром з послідовно розташованими елементами. Швидкість потоку через фільтр не дуже висока, а викиди класифікуються як незначні та, відповідно, не вимірюються. Подрібнений матеріал зрошується водою під час розвантаження конвеєрної стрічки. Вихідний матеріал для печі усереднюють у шарах на відкритому повітрі, попередньо зволожуючи чутливі до пилу матеріали. Усереднення здійснюється фронтальними навантажувачами.

Вплив на різні компоненти довкілля

Система пригнічення пилу

- Збільшення енергоспоживання під час виплавки через підвищений вміст води у сировині.
- Збільшення споживання води.
- Необхідне очищення стічних вод.

Системи видалення пилу та газу, підключені до фільтрувального обладнання
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо видалений пил не використовується повторно.

Допалювач із системою швидкого охолодження та фільтрування пилу
- Збільшення споживання енергії та викидів NO_X.

Збирання та очищення рідких відходів перед скиданням.
- Збільшення споживання енергії та використання добавок для очищення відпрацьованих вод.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
- Для матеріалів, що утворюють пил, застосовується закрите приміщення, закритий конвеєр, система пневматичного транспортування та витяжна система, підключена до фільтрувального обладнання.
- Системи пригнічення пилу застосовуються лише тоді, коли плавильний завод та подальша система боротьби з викидами можуть обробляти вологу сировину.
- Рукавні фільтри можна використовувати лише в тому випадку, якщо температура газів вища за точку роси.

Економічні аспекти
У 2007–2008 роках компанія Metallo-Chimique замінила наявний рукавний фільтр для відхідних газів із сушарки на новий рукавний фільтр (19 500 $Нм^3$/год). Це призвело до інвестицій у розмірі 665 000 євро (на рукавний фільтр з допалювачем в димовій трубі та на саму димову трубу). Вторинний фільтр (20 500 $Нм^3$/год) був встановлений у 1994–1995 роках, інвестиції склали 400 000 євро.

Будівництво критого сховища (площею 5000 $м^2$) з інтегрованим обладнанням для дроблення, просіювання та транспортування, з'єднаним з рукавним фільтром (70 000 $Нм^3$/год) на підприємстві Aurubis у Гамбурзі призвело до капітальних витрат у розмірі 7,5 млн євро.

Будівництво критого складу для вихідних матеріалів, що утворюють пил, у Люнені площею поверхні 10 600 $м^2$ та об'ємом 210 000 $м^3$ призвело до капітальних витрат у розмірі 7,5 млн євро (в тому числі на спеціальну наземну споруду з непроникним для рідини бетоном, та застосування водорозпилювальних форсунок та миття коліс вантажівок, що виїжджають).

Будівництво шумознижувального бар'єру в Олені вимагало інвестицій у розмірі 560 000 євро (частина бар'єру вздовж Ватерторенштраат: довжина: 100 метрів, висота: 4 метри; довжина: 132,3 метра, висота: 11 метрів; і частина під прямим кутом до Ватерторенштраат: довжина: 38,31 метра, висота: 11 метрів).

Стимул до впровадження
- Запобігання та зменшення дифузних викидів та відновлення сировини.
- Оптимізація процесу виплавки.
- Вимоги екологічних норм та норм у галузі охорони здоров'я.

Приклади заводів
Atlantic Copper, Уельва (Іспанія), Aurubis, Гамбург (Німеччина), Aurubis, Пирдоп (Болгарія), Boliden, Гар'явалта (Фінляндія), Boliden, Рьоннскяр (Швеція), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 і Легниця (Польща), Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія) та Elmet SA. Беранго (Іспанія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.2.2 Технології видалення мастила зі стружки перед етапом виплавки у виробництві вторинної міді

На підприємствах, де стружка від механічних операцій використовується як вторинна сировина, застосовуються операції знемаслювання для видалення мастила та масляної емульсії зі стружки перед плавленням. Застосування операцій знемаслювання та використовувана техніка залежать від ступеня забруднення (наприклад, якщо виробник стружки вже видалив допоміжний матеріал — мастило або мастильну емульсію — для перероблення, нема потреби проводити операцію знемаслювання перед процесом плавлення).

Опис
Технології, які слід розглянути:

- центрифугування із вилученням мастила;
- піролітичне очищення з використанням обертової сушарки;
- промивання мийними засобами з подальшим центрифугуванням та сушінням за температури 130–140°C.

Технічний опис
Центрифугування із вилученням мастила;
Сильно забруднену стружку можна центрифугувати, щоб видалити більшу частину мастила. Відокремлене мастило
необхідно відділити від води для повторного використання.

Піролітичне очищення з використанням обертової сушарки
Використовується непряме нагрівання стружки. Температура контролюється на рівні 500°C, щоб відбувався піроліз. Піролізні гази із сушарки спалюються за температури 850°C у допалювачі для досягнення повного згорання, потім швидко охолоджуються, щоб уникнути синтезу de novo ПХДД/Ф, і очищаються у мокрому скрубері або рукавному фільтрі.

Промивання мийними засобами з подальшим центрифугуванням та сушінням
Щоб видалити мастило, стружку можна промити водою з мийним засобом. Потім стружку сушать спочатку шляхом центрифугування, а потім у сушарці за температури 130–140°C.

Досягнуті екологічні переваги
- Видалення мастила та органічних сполук зі стружки перед етапом плавлення.
- Зменшення викидів від процесу виплавки (особливо органічних сполук).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Пил у відхідних газах видаляється за допомогою рукавного фільтра, і на підставі періодичних вимірювань повідомляється про викиди від 0,01 мг/Нм^3 до 8,6 мг/Нм^3.

Кількість органічних сполук (таких, як ЛОС) зменшується за допомогою допалювача, і на основі періодичних вимірювань повідомляється про викиди від 1 мг/Нм^3 до 5 мг/Нм^3.

Повідомляється про викиди ПХДД/Ф від 0,027 нг/Нм^3 до 0,455 нг/Нм^3 на основі періодичних вимірювань.

У Таблиці 3.39 надані дані про викиди під час піролітичного очищення на чотирьох заводах в Італії у 2010 році.

Таблиця 3.39: Викиди від чотирьох сушарок для стружки у 2010 році

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Одиниці вимірювання	Значення			Періодичність моніторингу	Середнє значення
				Мін.	У середньому	Макс.		
A	Допалювання + рукавний фільтр	Пил	мг/нм^3	0,144	1,09	2,1	Безперервний	За місяць
		ПХДД/Ф	нг/Нм^3	0,144	0,261	0,455	Періодичний (3 рази на рік)	За період відбору проб
		CO	мг/нм^3	0,1	0,36	0,9	Безперервний	За місяць
		NO_2	мг/нм^3	3	15,9	28,8	Періодичний (двічі на рік)	За період відбору проб
B	Допалювання + рукавний фільтр	Пил	мг/нм^3	НЗ	8,62	НЗ	Періодичний (раз на рік)	НЗ
		NO_2	мг/нм^3	НЗ	12,33	НЗ		
		ЛОС	мг/нм^3	НЗ	2,9	НЗ		
C	Допалювання + рукавний фільтр	Пил	мг/нм^3	0,01	0,22	0,61	Періодичний (3 рази на рік)	За період відбору проб
		ПХДД/Ф	нг/Нм^3	0,1889	0,239	0,291	Періодичний (двічі на рік)	
		CO	мг/нм^3	1	1,3	2	Періодичний (3 рази на рік)	
		NO_2	мг/нм^3	6	11,3	16		
		ЛОС	мг/нм^3	1	2	3		
D	Допалювання + рукавний фільтр	Пил	мг/нм^3	НЗ	0,58	НЗ	Періодичний (раз на рік)	За період відбору проб
		ПХДД/Ф	нг/Нм^3	НЗ	0,0272	НЗ		
		NO_2	мг/нм^3	НЗ	36	НЗ		
		ЛОС	мг/нм^3	НЗ	5	НЗ		

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [384, Italy 2013]

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Збільшення викидів CO_2 та NO_X.
- Збільшення кількості стічних вод.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Широко застосовується, за винятком випадків, коли піч і система боротьби з викидами спеціально розраховані на вміст органічної речовини.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів ЛОС від плавильного заводу.

Приклади заводів
Чотири заводи в Італії.

Довідкова література
[384, Italy 2013] [383, Copper subgroup 2012]

3.3.2.3 Технології зниження викидів, що утворюються під час сушіння концентрату

Концентрати сушать для зниження вмісту вологи із 7–8% до приблизно 0,2% перед процесом виплавки. Для плавки у шахтних печах концентрат сушать до 3,5–4% та брикетують.

Для сушіння мідних концентратів використовують два типи сушарок.

- Обертові сушарки з використанням гарячого газу, що нагріваються відхідними газами від спалювання природного газу або іншими видами палива.
- Також можна використовувати технологічний газ із печей, таких як анодна піч.
- Парові сушарки зі змійовиком, тобто сушарки, що переважно використовують пару з котла-утилізатора.

Опис сушарки див. у розділі 2.5.1.2.

Через те, що висушений концентрат зазвичай дуже пильний, для уловлювання та зменшення викидів запилених газів використовуються системи видалення та боротьби з викидами.

Опис
Технології, які слід розглянути:

- рукавний фільтр;
- електростатичний фільтр;
- скрубер.

Технічний опис
Залежно від типу сушарки відхідні гази можуть містити SO_2 через окиснення матеріалу. Це стосується тільки сушарок з прямим нагріванням, тому що під час використання сушарок з паровим змійовиком непрямого нагріву температура досить низька, щоб уникнути займання концентрату, і, таким чином, SO_2 не утворюється.

Обертова сушарка являє собою барабан, що обертається. Гарячий газ, отриманий у результаті згорання природного газу, контактує з вологим концентратом, і вода, що міститься в ньому, переноситься в газ. Газ, що виходить із сушарок, очищається від пилу в рукавному фільтрі, електростатичному фільтрі або скрубері. Скрубер використовується для зниження викидів SO_2. Щоб уникнути займання концентрату, можна використовувати N_2 або інший інертний газ.

Парові сушарки нагріваються непрямим шляхом за допомогою парових змійовиків. Продуктивність залежить від тиску пари та часу перебування; потужність можна збільшити шляхом збільшення тиску. Для збору води з концентрату вводиться невелика кількість повітря-носія. Сушарки з паровим змійовиком можуть використовувати тепло, що відходить від інших етапів процесу за умови, що це дозволяє тепловий баланс. Повітря очищається від пилу у рукавному фільтрі.

Висушені руди та концентрати можуть бути пірофорними, це зазвичай враховується під час проєктування системи боротьби з викидами. Для придушення займання можна використовувати інертний газ (азот) або низький рівень залишкового кисню в газоподібних продуктах згорання.

Досягнуті екологічні переваги
Рукавний фільтр та електростатичний пиловловлювач
- Зменшення викидів пилу та металів.
- Відновлення сировини, оскільки уловлений пил повторно використовується у технологічному процесі.

Скрубер
- Зменшення викидів SO_2.
- Зменшення викидів пилу під час використання скрубера Вентурі.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Під час сушіння концентратів утворюється значна кількість дуже дрібних часток. Через присутність аерозольних часток та коливань температури в трубах може відбуватися конденсація та осадження пилу. Ці відкладення видаляються димовими газами або стисненим повітрям.

У Таблиці 3.40 нижче показано продуктивність та інформацію про функціонування від деяких виробників первинної міді. Дані показують тривалу нормальну експлуатацію в різних умовах, таких як мінливість вихідного матеріалу, різні навантаження та режими роботи, стирання обладнання та зношування фільтрувальних елементів.

Таблиця 3.40: Дані про ефективність та функціонування для сушіння концентрату (частина 1)

Завод	**Atlantic Copper**		**Aurubis, Гамбург**		**Aurubis, Пирдоп**	
Тип сушарки	Обертова сушарка	Парова сушарка	Обертова сушарка	2 парові сушарки	Парова сушарка	Парова сушарка
Потужність сушарки	Завантаження 100 т/год	Завантаження 70 т/год	Завантаження 100 т/год	Завантаження 50/100 т/год	Завантаження 110 т/год	
Нагрівання сушарки	Спалювання природного газу. Змішування газоподібних продуктів згоряння з азотом (частково з підіймальної системи)	Тиск пари, 4,5–18 бар	Спалювання природного газу. Змішування газоподібних продуктів згорання з газом пароперегрівача та азотом	Тиск пари, зазвичай 11 бар	Тиск пари, зазвичай 11 бар	Тиск пари, зазвичай 11 бар
Очищення відхідних газів	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр	Електростатичний фільтр та скрубер для SO_2, мокрий електростатичний фільтр	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр
Параметр	**Рівні викидів (мг/Нм^3)**					
Періодичність моніторингу	4 рази на рік		Раз на місяць (7-годинний період відбору проб)		Раз на 6 місяців	Раз на 6 місяців
Пил	12 (*)		1,1–4,6		16 (*)	17 (*)
Періодичність моніторингу	Безперервний		Безперервний		Немає даних	Немає даних
SO_2	5–644 середньодобове значення; 145 в середньому за рік		< 50–950 в середньому за пів години; < 50–300 середньодобове значення; 50–150 в середньому за рік		Не виміряно	Не виміряно
Періодичність моніторингу	Немає даних		4 рази на рік (3*30 хв)		Немає даних	Немає даних
Cu	Не виміряно		0,2–0,8		Не виміряно	Не виміряно
Pb			< 0,01–0,5			
As			< 0,01–0,05			
Cd			< 0,01–0,02			

Таблиця 3.41: Дані про ефективність та функціонування для сушіння концентрату (частина 2)

Компанія	Boliden, Гар'явалта	Boliden, Рьоннскяр	KGHM, Глогув 1	KGHM, Глогув 2	KGHM Легниця
Тип сушарки	Парова сушарка	Парова сушарка	4 обертові сушарки (2–3 в експлуатації)	Обертова сушарка	Обертова сушарка (2 в експлуатації)
Потужність сушарки	Завантаження 125 т/год	Два завантаження 58 т/год	Одне завантаження 75 т/год; три завантаження 55 т/год	Завантаження 110 т/год (буде збільшено до 132 т/год)	Завантаження 50 т/год
Нагрівання сушарки	Пара 0,18 т/т концентрату	Пара	Спалювання природного газу	Спалювання природного газу	Спалювання природного газу
Очищення відхідних газів	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр	Скрубер Вентурі (2 шт.)	Електростатичний фільтр	Рукавний фільтр
Параметр	**Рівні викидів (мг/Нм^3)**				
Періодичність моніторингу	Безперервний	4 рази на рік	Раз на місяць	Раз на місяць	4 рази на рік
Пил (мінімум — максимум) (в середньому)	0,2–6,1 середньодобове значення; 1,8 в середньому за рік	0,17–2,69 1,03	Не характерно	5–25 5,38	1,54–10 3,7
Періодичність моніторингу	Немає даних	Немає даних	Раз на місяць	Раз на місяць	4 рази на рік
SO_2	Не виміряно	Не виміряно	SO_2 < 15	SO_2 < 25	2–420 80
Періодичність моніторингу	Немає даних	Двічі на рік	Раз на місяць	Раз на місяць	4 рази на рік
Cu	Не виміряно	0,06–0,17	Не характерно	0,17–6,88	< 0,01–1,36
Pb		< 0,01–0,022		0,01–2,5	< 0,01–0,62
As		< 0,01–0,036		0,001–1,2	< 0,01–0,111
Cd		< 0,001–0,0006		< 0,005	Не повідомлено

Примітка: Викиди металів значною мірою залежать від складу сировини, що використовується, типу технологічного процесу та ефективності системи фільтрування пилу.
(*) Середнє значення проб, отриманих за один рік.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012] [385, Germany 2012]

На підприємстві Aurubis у Гамбурзі, згідно з даними, наданими німецькими уповноваженими органами, викиди пилу за нормальних умов експлуатації становлять менше ніж 5 мг/Нм^3, а викиди (у 2011 р.) SO_2 були нижче 225 мг/Нм^3 у 95% середніх значень за пів години, що відстежувалися, та нижче 300 мг/Нм^3 у 99% середньодобових значень, що відстежувалися у 2011 році.

Рукавний фільтр у порівнянні з електростатичним фільтром та скрубером Вентурі краще знижує викиди пилу; крім того, поверхню мішка також можна використовувати для зниження рівня SO_2 під час вдування вапна. Ефективність видалення дрібнодисперсного пилу, що досягається за допомогою скрубера Вентурі, дуже мала для боротьби з викидами із сушарки.

Застосовується якісний моніторинг запиленості за допомогою імпінжерних, оптичних або трибоелектричних пристроїв і проводиться для виявлення несправності фільтрувального мішка. Перепад тиску можна контролювати для керування механізмом очищення.

У деяких випадках сухий концентрат має температуру займання від 300°C до 400°C. Вміст кисню в газах у сушарці для сушіння гарячим повітрям низька, а температура експлуатації підтримується на максимально допустимому рівні, здебільшого шляхом змішування з холодним повітрям. Так само сушарки з паровим змійовиком можуть підтримувати низьку

температуру в концентраті та низьку швидкість повітряного потоку, що дозволяє досягти того ж ефекту. Азот також можна використовувати для запобігання самозайманню. Виявлення тепла можна використовувати для виявлення зон перегрівання та запуску швидкого охолодження азотом [103, COM 1998].

Вплив на різні компоненти довкілля

Рукавний фільтр та електростатичний пиловловлювач

- Збільшення енергоспоживання.

Скрубер

- Збільшення споживання енергії (вище, ніж для рукавного фільтра).
- Необхідність хімічних речовин.
- Споживання води та утворення стічних вод, що потребують очищення перед скиданням або повторним використанням.
- Утворення відходів. Гіпс, отриманий під час використання скрубера для SO_2, повинен бути перенаправлений в обертову сушарку як частина подачі флюсу в піч, що вимагає додаткової енергії та витрат на обробку.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Ці технології зазвичай застосовуються до нових та наявних заводів з урахуванням типу сушарки. У разі високого вмісту органічного вуглецю в концентратах (наприклад, близько 10% мас.) рукавні фільтри не можуть бути застосовані через забруднення мішків. Надійність подання пари зазвичай пов'язана з використанням парової сушарки.

Скрубер для SO_2 застосовується тільки для сушарок із прямим нагріванням. Очищення від SO_2 не потрібне для сушарок з непрямим нагріванням.

Застосування мокрого скрубера може бути обмежено у наступних випадках:

- дуже високі швидкості потоку відхідних газів через вплив на різні компоненти довкілля (значні об'єми відходів та відпрацьованих вод);
- у посушливих районах через потребу у великій кількості води, та в очищенні відпрацьованих вод, і через пов'язаний з цим вплив на різні компоненти довкілля.

Економічні аспекти

Заміна гарячого електростатичного фільтра на рукавний фільтр передбачала інвестиції у розмірі 1,3–5 млн євро (потік 100 000 $Нм^3$/год). Цей широкий діапазон показує не тільки заміну техніки у кінці виробничого циклу, але й витрати на пов'язану з цим модернізацію заводу.

Стимул до впровадження

- Вимоги екологічних норм.
- Відновлення сировини.

Приклади заводів

Atlantic Copper, Уельва (Іспанія), Aurubis, Гамбург (Німеччина), Aurubis, Пирдоп (Болгарія), Boliden, Гар'явалта (Фінляндія), Boliden, Рьоннскяр (Швеція), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 та Легниця (Польща).

Довідкова література

[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.2.4 Технології зниження викидів первинних відхідних газів від випалювання мідного концентрату

Дрібнозерниста сировина, що складається з концентратів та переробленого осаду з технологічного процесу, випалюється в печі для випалювання у псевдозрідженому шарі. Потік повітря регулюється до тих пір, поки не буде досягнуто бажаного рівня випалювання матеріалів. Під час випалювання висушених розплавів миш'як випаровується, а сірка та органічні речовини, якщо вони присутні, частково окиснюються. Випалювання здійснюється за температури 600–700ºC і є автогенним, тому не потребує зовнішньої енергії. Більша частина випаленої сировини направляється за відхідними газами з верхньої частини печі. Піч для випалювання у псевдозрідженому шарі переважно використовується для мідних концентратів з не надто дрібним розміром зерен, щоб уникнути перевантаження системи очищення відхідних газів. Вона є ефективною для відділення миш'яку та ртуті у мідних концентратах. Печі для випалювання у псевдозрідженому шарі все частіше використовуються для обробки мідних концентратів з високим вмістом миш'яку, оскільки спостерігається тенденція до вищого вмісту миш'яку у кількох великих мідних шахтах на більшій глибині.

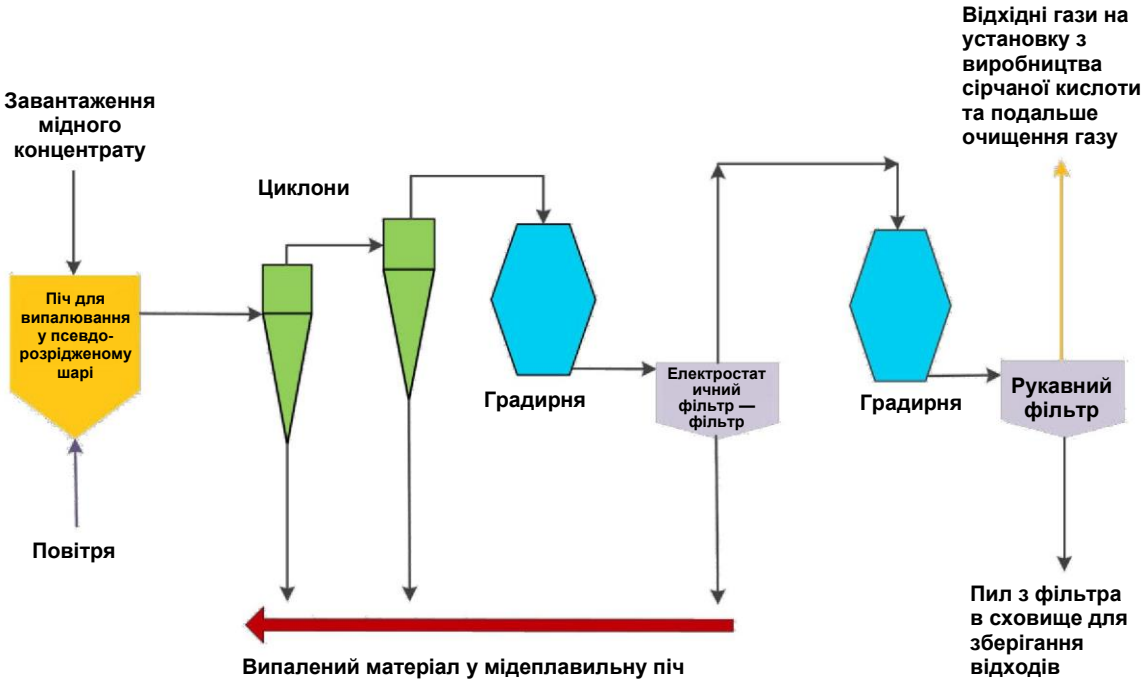
Опис
Технологія, яку необхідно розглянути, полягає у використанні циклону, градирні та сухого електростатичного фільтра, за якими застосовується колона-кондиціонер та рукавний фільтр.

Технічний опис
Відхідні гази проходять через циклонну установку, де осаджується більша частина пилу та транспортується закритими конвеєрами у металоплавильну піч. Після циклонів відхідний газ направляється в градирню, де температура газу знижується приблизно з 550°C до приблизно 310°C, що відповідає робочому діапазону сухого електростатичного фільтра. Після охолодження газ обробляється в сухому електростатичному фільтрі, де видаляється металовмісний пил. Цей пил транспортується в металоплавильну піч. Миш'як та ртуть утворюються у вигляді пари за цієї температури та проходять через фільтр.

Потім відхідні гази додатково охолоджуються в колоні-кондиціонері (другій градирні) за допомогою водорозпилювальних форсунок, що знижує температуру відхідних газів приблизно до 120°C. Потім миш'як та ртуть конденсуються у тверду фазу. Більша частина випаленого миш'якового пилу та ртуті відокремлюється в тканинному рукавному фільтрі. Відокремлений пил, відомий як пил від печі для випалювання, уловлюється та транспортується у закритій системі у бетонний силос для зберігання відходів.

Відпрацьовані гази, що містять близько 10% SO_2, далі обробляються в циклі очищення у вологій фазі. Усі вихідні потоки від очищення у мокрій фазі обробляються на центральній установці з очищення відпрацьованих вод. Технологічний газ, що містить SO_2, потім направляється в змішувальну колону центрального газового скрубера, але як альтернатива, можна направити безпосередньо на установку з виробництва сірчаної кислоти. Перед установкою із виробництва сірчаної кислоти сірка (близько 10% об. SO_2) та гази, що містять важкі метали, також промиваються та очищаються від ртуті. Ртуть можна видалити за допомогою ряду технологій, наприклад, з допомогою селену, поглинання адсорбентом, фільтрування активованим вугіллям $HgCl_2$. Об'єми газу варіюються від 30 000 м^3/год до 170 000 м^3/год. Концентрації ртуті (сумарні) до фільтрування варіюються від 10 мк/м^3 до 9900 мк/м^3, а після фільтрування — від 3 мк/м^3 до 50 мкг/м^3. Це вказує на ефективність видалення 70–99,7% залежно від застосовуваних технологій видалення ртуті.

Технологічна схема печі для випалювання у псевдозрідженому шарі та системи очищення газу показана на Рисунку 3.13.



Джерело: [238, ECI 2012]

Рисунок 3.13: Технологічна схема печі для випалювання у псевдозрідженому шарі та системи очищення газу

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу та металів.
- Відновлення сировини.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У 1980 році на плавильному заводі Boliden, Рьоннскяр (SE), була встановлена піч для випалювання у псевдозрідженому шарі для випалювання мідних концентратів, що містять високі концентрації миш'яку. Установка повністю закрита та інтегрована. Вона експлуатується та постійно контролюється операторами з кімнати віддаленого управління.

Подання становить 40–45 т/год, а повітря (псевдорозрідження) 25 000–30 000 $Нм^3$/год. Градирня споживає 5–10 $м^3$/год води. На цьому етапі не відбувається каналізованих викидів, оскільки відхідні гази направляються на установку з виробництва сірчаної кислоти, де проводиться подальше очищення газу.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Споживання води.
- Утворення шкідливих відходів (пил від печі для випалювання), які підлягають захороненню.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна. На наявних заводах рукавний фільтр можна поєднати із вже наявними системами очищення відхідних газів для відновлення металів і вилучення сірки.

Економічні аспекти
Згідно з оцінкою інвестицій Outotec, Швеція, вартість наявного заводу з інфраструктурою становить 200 мільйонів євро. У оцінку вартості входять піч, градирні, циклони та фільтри.

Стимул до впровадження
- Відновлення сировини.
- Зменшення кількості пилу від печі для випалювання.

- Вимоги екологічних норм.
- Зменшення кількості миш'яку на наступних етапах технологічного процесу, таких як виплавка та конвертування. Це є ефективним заходом для підтримання належного робочого середовища та якості продукції.

Приклади заводів
Boliden, Рьоннскяр (Швеція).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.3 Виробництво первинної та вторинної міді

3.3.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів під час завантаження печей/конвертерів у виробництві первинної та вторинної міді

Опис
Технології, які слід розглянути:

- брикетування та гранулювання сировини;
- закриті системи завантаження, такі як односопловий пальник, подвійний конус, герметизація вікна, закриті конвеєри/завантажувальні механізми, пневматичне вдування у ванну;
- процедури завантаження, такі як завантаження печі під зниженим тиском, завантаження конвертерів під час продування, модифікація систем завантаження для досягнення невеликих, рівномірних добавок сировини або безперервного плавного подання матеріалів;
- корпус печі, покриття та витяжні ковпаки з ефективним димовидаленням та подальшим очищенням відхідних газів.

Технічний опис
Технології, що застосовуються для запобігання та зменшення викидів, що утворюються під час завантаження, залежать від типу печі та типу сировини, такого як пилоподібний матеріал, сипкий твердий вихідний матеріал або розплавлений вихідний матеріал.

Брикетування та гранулювання сировини
- Дрібнодисперсні та пилоподібні вихідні матеріали спресовуються в брикети або гранулюються. Ця операція насамперед виконується для задоволення вимог печі, але вона також ефективна для зменшення дифузних викидів.

Закриті системи завантаження
- Застосовуються закриті конвеєри або ізольовані завантажувальні механізми.
- Можна використовувати системи вентиляції для конвеєрів, пунктів передачі, бункерів та завантажувальних механізмів.
- Герметична система завантаження печі зваженої плавки з односопловим пальником концентрату.
- Завантаження шахтної печі через систему подвійного конуса. Секції завантаження обладнані системами вентиляції, що уловлюють дифузні викиди та очищають їх у рукавних фільтрах. Знепилене повітря можна використовувати у якості повітря дуття в печі або додаткового повітря для згорання на місцевій електростанції.
- Завантаження електропечі за допомогою закритої ліфтової системи завантаження.
- Завантаження доменної шахтної печі твердим матеріалом за допомогою системи герметизації дверцят скіпу.
- Дрібнодисперсний матеріал можна вводити пневматичним способом у плавильну ванну печі.

Процедури завантаження
- Завантаження печі/конвертера під зниженим тиском для зменшення ефекту витоку.

- Модифікація систем завантаження для досягнення невеликих, рівномірних добавок сировини або безперервного плавного подання матеріалів для уникнення поривів. У цій технології подання в піч є постійним, а параметри викидів не коливаються. У деяких випадках періодичне подання викликає викиди технологічних газів з печі. Тому в цих випадках перевага надається безперервному поданню.

Корпус печі, покриття та витяжні ковпаки з ефективним димовидаленням та подальшим очищенням відхідних газів.

- Піч та зони завантаження знаходяться під покриттям/витяжним ковпаком (наприклад, обертовий конвертер з верхнім дуттям, електрична піч).
- Завантажувальні отвори обладнані первинними та/або вторинними ковпаками-уловлювачами та системами спрямованого уловлювання диму (конвертери Пірса Сміта та обертові анодні печі). Використовуються ковпаки з механічним приводом для оптимальної ефективності уловлювання. Автоматичне керування запобігає витоку в періоди, коли конвертер відхиляється.
- Завантаження флюсу та брухту через ковпак під час продування конвертерів, щоб уникнути відхилення від ковпака або повернення до нього, а також для зниження викидів.
- Витяжний ковпак, вбудований у кран, може використовуватися як дуже ефективний пристрій для зниження викидів під час завантаження та випускання матеріалу з вторинної конвертерної печі (обертові конвертери з верхнім дуттям).
- Системи завантаження забезпечені системою видалення та подальшого очищення відхідних газів. Вентиляційне повітря може очищатися разом з основним потоком відхідних газів з печі або окремо, щоб потім бути повернутим у піч у якості повітря дуття (або направленим на електростанцію у якості додаткового повітря для згорання), або може бути очищене в центральній системі очищення вторинного газу (див. Розділи 3.3.3.2, 3.3.3.3, 3.3.3.5, 3.3.3.6, 3.3.4.1, 3.3.4.2 та 3.3.5.1).

Барабанні конвертери з верхнім дуттям або електричні печі та зони завантаження знаходяться під ковпаком або розміщуються у закритому приміщенні із системою вентиляції.

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення викидів пилу, металів та інших сполук.
- Збереження сировини, коли пил з фільтра повторно використовується у технологічному процесі.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Система подання концентрату у печі зваженої плавки застосовується на заводах у Гамбурзі, Пирдопі, Уельві та Глогуві 2. Висушена суміш вихідного матеріалу збирається в бункері для шихти та за допомогою системи завантаження, що працює за принципом втрати ваги, подається в центральний герметичний пальник концентратів, розташований у склепінні реакційної шахти. Пальник концентрату (односопловий пальник) з аерожолобом змішує вихідний матеріал з повітрям, збагаченим киснем. У Гамбурзі електрична піч завантажується через закриту ліфтову систему завантаження. Верхня частина печі розташована під покриттям. Дрібні вихідні матеріали або матеріали осадного типу гранулюються.

Завантаження печі KRS (Люнен) здійснюється в герметичній системі. Системи завантаження закриті та оснащені системою уловлювання відхідних газів. Операції із завантаження та розвантаження барабанного конвертера з верхнім дуттям виконуються за допомогою крана, який має вбудований ковпак для уловлювання супутніх димів. Витяжний ковпак з'єднаний з відхідними газоочисним і фільтрувальним обладнанням за допомогою стрічкової системи.

Чорновий та мідний брухт (Aurubis, Олен) завантажуються скіповим підіймачем у шахту доменної печі для плавлення та завантажуються в піч через замкнуту систему.

На підприємстві KGHM, Глогув 1 та Легниця, система завантаження шахтних печей передбачає три шихтових бункери для брикетів, коксу та конвертерного шлаку для кожної з трьох печей. Фактичне завантаження зважених порцій кожного матеріалу здійснюється автоматично з верхньої частини печі через систему подвійного конуса. Секція

завантаження шахти (брикетованого концентрату та допоміжних матеріалів) обладнана системою вентиляції.

У Глогуві 1 пил уловлюється рукавними фільтрами (3 x 21 000 $Нм^3$/год) та повертається у технологічний процес. Періодичні вимірювання концентрації пилу проводяться чотири рази на рік. Досягається рівень концентрації пилу в діапазоні 3–5 $мг/Нм^3$. Знепилений газ повертається в шахтну піч як частина повітря, що вдувається в піч для підтримки процесу виплавки.

У Легниці пил із системи вентиляції уловлюється трьома рукавними фільтрами. Періодичні вимірювання концентрації пилу проводяться чотири рази на рік. Досягається рівень концентрації пилу в діапазоні 2–10 $мг/Нм^3$. Знепилений газ використовується у якості додаткового повітря на електростанції.

У Глогуві 2 відсутні дифузні викиди із зони завантаження, оскільки завантаження є пневматичним і використовує систему втрати ваги. Повітря, що використовується для пневматичного транспортування, знепилюється в сухому електростатичному фільтрі у разі використання повітря, що виходить із сушарки концентрату.

У Metallo-Chimique, Бельгія, всі печі у ливарному цеху повністю ізольовані для уловлювання викидів пилу під час процедур завантаження. Дрібнодисперсний матеріал транспортується пневматичним способом і вводиться у плавильну ванну печей через труби з подвійними стінками. Також використовуються ізольовані вібраційні завантажувальні механізми. Печі оснащені системами видалення та очищення газів для зниження викидів пилу та адсорбції діоксинів та інших летких органічних сполук.

В Elmet, Іспанія, плавильний завод повністю ізольований для уловлювання викидів пилу під час завантаження.

На підприємстві Montanwerke Brixlegg завантажувальні та випускні секції шахтної печі, печі витримки, конвертера та анодної печі оснащені системами вентиляції для уловлювання та очищення димових газів рукавними фільтрами.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії, для вентиляції та експлуатації очисного обладнання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Широко застосовується залежно від типу печі, типу процесу (періодична чи безперервна робота) та наявності місця.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення дифузних викидів.
- Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Atlantic Copper, Уельва (Іспанія), Aurubis, Гамбург та Люнен (Німеччина), Aurubis, Олен (Бельгія), Boliden, Рьоннскяр (Швеція), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 та Легниця (Польща) та Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.3.2 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря з металоплавильних печей у виробництві первинної міді

Мідні концентрати виплавляють у печі за високих температур (> 1100°C) для отримання розплаву, який можна розділити на мідний штейн або чорнову мідь і мідний шлак.

Для штейна застосовуються такі процеси виплавки:

- виплавка зі збагаченням киснем (наприклад, зважена плавка);
- періодична плавка висушених або частково випалених концентратів в електричній печі;

- виплавка в доменній (шахтній) печі концентратів з низьким вмістом заліза та сірки та високим вмістом вуглецю;
- періодична плавка з використанням фурми (наприклад, в обертових стаціонарних печах з верхнім дуттям або стаціонарних печах з фурмою для продування методом занурення зверху);
- безперервна плавка (наприклад, каскадні реактори, реактори зваженої плавки).

Мідні концентрати з низьким вмістом заліза та сірки можна виплавляти у чорнову мідь безпосередньо у печі для виплавки чорнової руди (наприклад, у зваженої плавки) без необхідності в етапі конвертування. З цих технологій лише технологія зваженої плавки використовується у промислових масштабах у Польщі, Австралії та Замбії. При способі прямої виплавки чорнової міді чорнова мідь виробляється за один етап виплавки, що дозволяє уникнути транспортування розплавленого штейну в ковшах, а також перетворення штейну. Це виключає викиди SO_2 під час переміщення з ковша та на етапі конвертування.

Інші технології, такі як безперервна плавка Mitsubishi, безперервне зважене конвертування, технологія з фурмою для продування методом занурення зверху [305, Ausmelt 2009] та безперервна плавка Noranda, застосовуються, але за межами країн ЄС-28. При поєднанні зваженої плавки та зваженої конвертації (подвійної зваженої плавки) розплавлений штейн не переміщається в ковшах з печі для виплавки первинної міді до конвертера; замість цього штейн гранулюється та подрібнюється, а потім безперервно подається в конвертер зваженої плавки. Таким чином, виключаються викиди SO_2 від пересування ковша. Як і у випадку зваженої плавки, потік газу, що містить SO_2, з конвертера зваженої плавки є безперервним і не змінюється суттєво. Невеликий об'єм газу та високий вміст діоксиду сірки в газі полегшують процес очищення газу та уловлювання сірки в кислотній установці, що підвищує ефективність вилучення сірки.

Опис

Технології, які необхідно враховувати:

- Герметичні/ізольовані печі, збагачення киснем та робота під негативним тиском.
- Корпуси, покриття, криті жолоби та ковпаки-уловлювачі з ефективною системою видалення та посиленою системою всмоктування.
- Котел-утилізатор та гарячий електростатичний фільтр з подальшим надходженням на установку з виробництва сірчаної кислоти (див. Розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2) або установка з виробництва рідкого SO_2 (див. Розділ 2.12.5.4.3). Ці методи усунення забруднення довкілля розглядаються для очищення первинних відхідних газів печей зваженої плавки та електричних печей.
- Відстійна камера, циклон і скрубер Вентурі, за якими застосовується електростанція з подальшою системою зниження викидів SO_2. Ці методи усунення забруднення довкілля розглядаються для очищення первинних відхідних газів шахтних печей.
- Рукавний фільтр (з вдуванням сухого вапна або без нього) або система мокрого скрубера, напівсухого скрубера та рукавного фільтра для очищення вторинних відхідних газів.

Технічний опис

Герметичні/ізольовані печі, збагачення киснем та робота під негативним тиском

Печі належним чином герметизуються під час процесів виплавки, щоб утримувати гази та запобігати викидам, наприклад, піч зваженої плавки, електрична піч. Герметизація печі залежить від достатньої швидкості видалення газу для запобігання підвищенню тиску в печі. Робота виконується під негативним тиском для запобігання виходу диму (~ 50 Па).

Збагачення киснем використовується для автотермічного окиснення шихти, у тому числі сульфідних концентратів, і дозволяє отримувати технологічні гази з адекватною або високою концентрацією діоксиду сірки, що дозволяє підвищити ефективність процесів перетворення та відновлення на установці з виробництва сірчаної кислоти. Відповідно це дозволяє мінімізувати об'ємі відхідних газів і зменшити розміри систем обробки та зниження викидів газу, в тому числі установки з виробництва сірчаної кислоти.

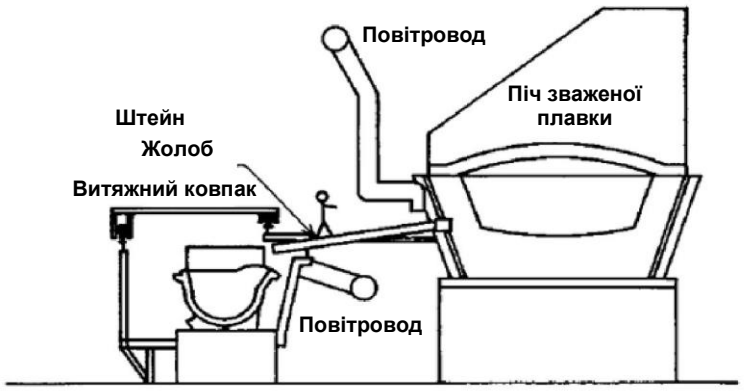
Корпуси, покриття, криті жолоби та ковпаки-уловлювачі з ефективною системою видалення та посиленою системою всмоктування.

Склепіння реакційної шахти, відстійник і аптейк печі зваженої плавки можуть вентилюватися, а відхідні гази — вловлюватися. Крім того, над шлаковими та штейновими

льотками розташовані ковпаки-вловлювачі. Системи вентиляції встановлюються для уловлювання дифузних газів, що утворюються під час випускання. Гази з вентиляції можуть частково повертатися для використання в процесі зваженої плавки.
Для видалення штейну та шлаку з печі використовуються закриті жолоби. Під час випускання ковші поміщаються всередину корпусу/тунелю, який закривається зсувними дверима/бар'єром для запобігання витоку газу в приміщення. Витяжні ковпаки встановлюються над зоною завантаження ковша (див. Рисунок 3.14). Витяжні ковпаки та покриття утримуються під негативним тиском для запобігання витоку та забезпечення оптимальної ефективності уловлювання.

На деяких плавильних заводах для уловлювання залишкових дифузних викидів також застосовується видалення з дахів будівель. Вентилятори з регульованою швидкістю використовуються для забезпечення швидкості видалення, придатної для мінливих умов.

Системи використовуються для автоматичного керування вентиляторами, клапанами та заслінками, щоб забезпечити оптимальну ефективність уловлювання та запобігти дифузним викидам. Проводиться регулярний огляд та профілактичне обслуговування печей, повітроводів, вентиляторів та фільтрувальних систем для забезпечення герметичності та запобігання неорганізованим викидам.



Джерело: [383, Copper subgroup 2012]

Рисунок 3.14: Місцевий витяжний ковпак для випускання штейну на плавильному заводі Toyo

Котел-утилізатор та гарячий електростатичний фільтр з подальшим надходженням на установку з виробництва сірчаної кислоти (див. Розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2) або установку з виробництва рідкого SO_2 (див. Розділ 2.12.5.4.3).
Первинні відхідні гази з печей виплавки концентрату, таких як піч зваженої плавки та електрична піч, охолоджуються в котлі-утилізаторі й далі проходять через гарячий електростатичний фільтр для видалення пилу. У котлі-утилізаторі відбувається грубе знепилення. Електростатичний фільтр використовується для зниження рівня концентрації пилу перед подальшим знепиленням у секції промивання та охолодження вологих газів. На більшості плавильних заводів гази поєднуються з газами з конвертерів. Відхідні гази, що містять SO_2, що виходять з етапів газоочищення, обробляються здебільшого на установці з виробництва сірчаної кислоти (див. Розділ 2.12.5.4.1) або на установці з виробництва рідкого SO_2 (див. Розділ 2.12.5.4.3). Очищення газу (видалення пилу та, залежно від оброблюваної сировини та технічних вимог до кислоти, що виробляється, видалення ртуті) перед контактним процесом має важливе значення для захисту каталізатора та отримання товарної кислоти.

Відстійна камера, циклон і скрубер Вентурі, за якими застосовується електростанція.
Первинні відпрацьовані гази з шахтної/доменної печі очищаються у відстійній камері, циклоні та скрубері Вентурі та (оскільки вони містять CO) допалюються на електростанції як додаткове паливо. Димові гази електростанції десульфуризуються. Десульфуризація відбувається у напівсухому скрубері або в процесі абсорбції/десорбції на поліефірній основі (див. Розділ 3.3.3.9). Технологічні гази з печей містять певну кількість пилу (близько 6–7% мас. матеріалу, що подається у піч зваженої плавки), що повертається до матеріалу,

який завантажується у піч, у замкнутому циклі.

Рукавний фільтр (з вдуванням сухого вапна або без нього) або система мокрого скрубера, напівсухого скрубера та рукавного фільтра
Вторинні відхідні гази очищаються в системі очищення газу (мокрий скрубер і/або рукавний фільтр). Секція завантаження шахтної печі (брикетованого концентрату та допоміжних матеріалів) обладнана системою вентиляції, а вихлопні гази очищаються в рукавних фільтрах (див. Розділ 3.3.3.1) і (залежно від плавильного заводу) повертаються в шахтну піч як частина повітря дуття або направляються у якості повітря для згорання на місцеву електростанцію.

Дими, що уловлюються з вентиляції печі та вентиляції льотки, корпусів жолобів та ковшів, очищаються у рукавному фільтрі з вдуванням сухого вапна або мокрому скрубері та рукавному фільтрі залежно від вмісту SO_2. У деяких випадках знепилені вентиляційні гази частково повертаються в технологічний процес або використовуються як повітря для згорання на місцевих електростанціях після десульфуризації димових газів.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання та зменшення викидів пилу та діоксиду сірки.
- Ефективне уловлювання димів у джерелі та зменшення дифузних викидів.
- Зменшення кількості використовуваного палива через збагачення киснем.
- Відновлення сірки та пилу з систем видалення пилу.
- Утворення пари з котла-утилізатора.
- Регенерація енергії, що міститься у відхідних газах шахтної печі.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
SO_2 відновлюється у вигляді сірчаної кислоти на кислотних установках. Димовий пил, уловлений системами видалення пилу, повертається в металоплавильну піч. Пара, що отримується з котла-утилізатора, використовується для сушіння мідних концентратів, інших виробничих потреб (наприклад, на заводі з рафінування міді) або для виробництва електроенергії. Гази з шахтної печі (що містять ~ 10% CO) передаються на місцеву електростанцію для спалювання з метою видалення CO та регенерації енергії.

Однією з переваг зваженої плавки первинної міді є зниження споживання стандартних видів палива та їх викидів шляхом оптимального використання теплотворної здатності концентратів.

Основні дані про функціонування та ефективність щодо печей для виплавки первинної міді наведені у Таблиці 3.42.

Первинні відхідні гази печі зваженої плавки та печі прямої зваженої плавки чорнової міді, що містять 20–45% SO_2 та мають температуру близько 1350–1400°C, охолоджуються в котлі-утилізаторі до температури нижче 400°C. Гази з котла проходять через електростатичні фільтри для видалення пилу. Під час зваженої плавки у мідний штейн гази далі змішуються з газами з конвертерів й обробляються на установці з виробництва сірчаної кислоти або на установці з виробництва рідкого SO_2 (Гамбург, Пирдоп, Уельва, Гар'явалта, Рьоннскяр). Під час прямої зваженої плавки чорнової міді гази обробляються на установці з виробництва сірчаної кислоти після регенерації тепла та очищення газу (Глогув 2). Повідомляється, що рівні концентрації пилу після електростатичного фільтра знаходяться в діапазоні 50–150 нг/Нм^3, перед проходженням секції промивання кислотної установки. Пара, отримана з котла-утилізатора, використовується для сушіння мідних концентратів, для виробничих потреб у цеху електролізу та плавильному заводі або для опалення (Пирдоп, Гамбург, Боліден, Уельва, Глогув 2). Пара, що утворюється під тиском 45 барів, також використовується для виробництва електроенергії, наприклад, в Уельві (приблизно 28,8 МВт теплової енергії) та Глогуві 2.

Всі плавильні заводи використовують збагачення киснем, зазвичай у діапазоні 40–60% O_2 для печі зваженої плавки та близько 25% для шахтної печі.
В Atlantic Copper встановлені системи вентиляції для уловлювання дифузних викидів, що утворюються під час випускання. Вентиляційні гази та гази від випускання частково направляються до вентилятора технологічного повітря для використання у процесі зваженої плавки. Вентиляційні гази та гази від випускання з печі зваженої плавки, що залишилися, очищаються у рукавному фільтрі з вдуванням вапна.

На підприємстві Aurubis, Гамбург, склепіння реакційної шахти, відстійник і шахта аптейку печі зваженої плавки вентилюються, а відхідні гази поєднуються з вентиляційними газами,

що уловлюються в льотках, корпусах жолобів і корпусах для розміщення ковшів під час випускання. Гази очищаються в загальній системі очищення вторинного газу рукавним фільтром з вдуванням сухого вапна (див. Розділ 3.3.3.6).

У Пирдопі льотки обладнані ковпаками-уловлювачами, жолоби закриті, а ківш поміщений у корпус з витяжним ковпаком. Дифузні викиди, що утворюються під час випускання, уловлюються та обробляються для видалення SO_2 та пилу в загальній системі очищення вторинного газу (мокрий скрубер та рукавний фільтр) (див. Розділ 3.3.3.6). Вентиляційний газ із льотки прямує на вхід вентиляторів технологічного повітря для рециркуляції газу назад у пальник печі зваженої плавки замість використання зовнішнього навколишнього повітря. Витяжна система у склепінні вловлює залишкові неорганізовані викиди та спрямовує їх у систему очищення газу.

На підприємстві Boliden, Гар'явалта льотки та системи розвантаження печі важеної плавки обладнані витяжними ковпаками та вентиляцією. Вентиляційні гази із зони зваженої плавки (110 000 $Нм^3$/год) очищаються в централізованих рукавних фільтрах і потім викидаються через димову трубу. Досягнуті рівні становлять < 5 мг/$Нм^3$ для пилу та < 500 мг/$Нм^3$ для SO_2, обидва значення середньодобові.

У Boliden, Рьоннскяр, відхідні гази з витяжного ковпака електричної печі (250 000 $Нм^3$/год) очищаються в рукавному фільтрі. Концентрація пилу та SO_2вимірюється безперервно. Досягнуті рівні складають < 5,46 мг/$Нм^3$ для пилу та < 562 мг/$Нм^3$ для SO_2, обидва значення середньодобові.

У Глогуві 1 відхідні гази шахтної печі з температурою 300–650°C очищаються в багатоетапній системі (відстійна камера, циклони та скрубери Вентурі). Відносно висока концентрація чадного газу (близько 10%) робить відхідні гази горючими, тому їх передають на місцеву електростанцію у якості додаткового палива. Димові гази електростанції десульфуризуються на установці напівсухої десульфуризації з ефективністю близько 82%. Діоксид сірки абсорбується з газу в суспензію $Ca(OH)_2$. Вся вода випаровується з суспензії, а сухий продукт збирається у рукавних фільтрах. Очищений газ містить < 20 мг/$Нм^3$ пилу та < 950 мг/$Нм^3$ SO_2. Пил, вловлений рукавними фільтрами, частково повертається в печі для покращення процесів виплавки, а частково направляється на захоронення. Випускні секції шахтних печей (дві в експлуатації) обладнані системами вентиляції, що всмоктують дифузні викиди, які потім очищаються у рукавних фільтрах (60 000 $нм^3$/год) та використовуються у якості додаткового повітря на електростанції. Таким чином, будь-який залишок SO_2, який може з'явитися в цьому потоці, остаточно десульфуризується.

У Легниці відхідні гази шахтної печі з температурою 300–650°C очищаються в багатоетапній системі (відстійна камера, циклони та скрубери Вентурі). Відносно висока концентрація чадного газу (близько 10%) робить відхідні гази горючими, тому їх передають на місцеву електростанцію у якості додаткового палива. Димові гази електростанції знепилюються в електростатичних фільтрах, а потім десульфуризуються на установці абсорбції/десорбції на поліефірній основі разом із залишковими газами установки з виробництва сірчаної кислоти (див. Розділ 3.3.3.9). Секція завантаження шахти (для брикетованого концентрату та допоміжних матеріалів див. Розділ 3.3.3.1) та випускні секції шахтної печі обладнані системами вентиляції, в яких пил уловлюється рукавним фільтром. Знепилений газ використовується у якості додаткового повітря на електростанції.

У Глогуві 2 відхідні гази печі зваженої плавки направляються в котел-утилізатор для регенерації тепла та деякої кількості грубодисперсного пилу. Потім гази знепилюються в електростатичному фільтрі та направляються на установку з виробництва сірчаної кислоти подвійного перетворення (яка має скрубер з радіальним потоком і мокрий електростатичний фільтр для попереднього очищення). Концентрат подається пневматичним способом до системи подання печі зваженої плавки. Її відхідні гази направляються в котел-утилізатор. У випускній секції печі зваженої плавки є система вентиляції. Гази (близько 100 000 $Нм^3$/год) знепилюються у рукавному фільтрі, який обдувається вапном для уловлювання SO_2. Цей метод застосовується під час випуску шлаку. Під час випускання чорнової міді використовується додаткова система мокрого знепилення — скрубер Вентурі з циркуляційним розчином соди. Періодичні вимірювання концентрації пилу та SO_2 проводяться чотири рази на рік. Шлак із печі зваженої плавки переробляється в електричній печі, де утворюється сплав Cu-Pb-Fe для подальшого конвертування (див. опис у Розділі 3.3.3.4.2). Кінцевий шлак гранулюється.

Таблиця 3.42: Дані про ефективність та функціонування для печей з виплавки первинної міді (частина 1)

Завод	Atlantic Copper	Aurubis, Гамбург	Aurubis, Пирдоп	Boliden, Гар'явалта
Тип печі	Піч зваженої плавки, односопловий пальник, Збагачення киснем 40–60%	Піч зваженої плавки, односопловий пальник, Збагачення киснем 55–60%	Піч зваженої плавки, односопловий пальник, Збагачення киснем 45–60%	Піч зваженої плавки, односопловий пальник, Збагачення киснем 65–85%
Потужність	4000 т/день	4000 т/день	4000 т/день	2180 т/день
Уловлювання первинного газу	Пара з котла-утилізатора та електростатичного фільтра 52 т/год	Пара з котла-утилізатора та електростатичного фільтра 49 т/год Пил з електростатичного пиловловлювача < 100 мг/Нм^3	Пара з котла-утилізатора та електростатичного фільтра 54 т/год Пил з електростатичного пиловловлювача < 150 мг/Нм^3	Пара з котла-утилізатора та електростатичного фільтра 40 т/год
Очищення первинного газу	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції
Параметр	**Рівні викидів первинного газу (мг/Нм^3)**			
SO_2	Див. Розділ 2.7.2			
Джерела уловлювання вторинного газу	Вентиляція печі зваженої плавки, льотки, жолоби	Вентиляція печі зваженої плавки, льотки, жолоби	Вентиляція печі зваженої плавки, льотки, жолоби	Вентиляція зони зваженої плавки
Очищення вторинного газу	Рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна	Рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна	Сухий скрубер, мокрий скрубер та рукавний фільтр	Рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна
Макс. швидкість потоку (Нм^3/год)	99 000	Не повідомлено	Не повідомлено	Не повідомлено
Параметр	**Рівні викидів вторинного газу (мг/Нм^3)**			
Періодичність моніторингу	5 разів на рік	Безперервний	Безперервний	Безперервний
Пил	Не характерно	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
Періодичність моніторингу	Безперервний	Безперервний	Безперервний	Безперервний
SO_2	Не характерно	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
Періодичність моніторингу	Немає даних	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
Cu	Не виміряно	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див. Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
Pb				
As				
Cd				

Примітка: Викиди металів значною мірою залежать від складу сировини, що використовується, типу технологічного процесу та ефективності системи фільтрування пилу.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 3.43: Дані про ефективність та функціонування для печей з виплавки первинної міді (частина 2)

Завод	Boliden, Рьоннскяр	KGHM Глогув 2	KGHM Легниця
Тип печі	Піч зваженої плавки, односопловий пальник, Збагачення киснем ~ 55%	Піч для прямої зваженої плавки чорнової міді	3 шахтні печі, 2 в експлуатації, Відхідні гази 300–650°C, Повітряне дуття 17 000–32 000 $Нм^3$/год, Збагачення киснем ~ 23,5%
Потужність	Не повідомлено	125 т/год	20–35 т/год
Уловлювання первинного газу	Пара з котла-утилізатора та електростатичного фільтра 20 т/год	Пара з котла-утилізатора та електростатичного фільтра 64 т/год	Відстійна камера, циклони, скрубері Вентурі, Електростанція
Очищення первинного газу	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції та установка з виробництва рідкого SO_2	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції (в тому числі скрубер з радіальним потоком та мокрий електростатичний пиловловлювач для попередньої обробки)	Спалювання на місцевій електростанції у якості додаткового палива, димові гази з якого десульфуризуються на заводі Solinox
Параметр	**Рівні викидів первинного газу (мг/$Нм^3$)**		
Періодичність моніторингу	Немає даних	Немає даних	Немає даних
Пил	Немає даних	Немає даних	Немає даних
Періодичність моніторингу	Див. Розділ 2.7.2	Безперервний	Не характерно
SO_2	Див. Розділ 2.7.2	140–800 (середньодобове значення) 270 (середньорічне значення)	Не характерно
Джерела уловлювання вторинного газу	Вентиляційні гази з електричної печи, печі зваженої плавки та сушарок	Вентиляція зони випускання міді та шлаку з печі зваженої плавки	Вентиляція зони завантаження матеріалу, випускання розплаву та місцевості поряд із зоною завантаження шахтних печей
Очищення вторинного газу	Рукавний фільтр	Напівсуха десульфуризація та рукавний фільтр	Рукавні фільтри та викиди через димові труби.
Макс. швидкість потоку ($Нм^3$/год)	331 000	132 000	20 000 максимум
Параметр	**Рівні викидів вторинного газу (мг/$Нм^3$)**		
Періодичність моніторингу	Раз на тиждень	4 рази на рік (1 година)	4 рази на рік (1 година)
Пил	0,133–5,46 0,812 (в середньому за рік)	1–5 2 (середньорічне значення)	2–10
SO_2	Не характерно	0–100 23 (середньорічне значення)	0,5–78
Періодичність моніторингу	12 разів на рік	4 рази на рік	Не повідомлено
Cu	< 0,01–0,627	0,04–0,65	Не повідомлено
Pb	< 0,01–0,119	0,1–1,1	
As	< 0,01–0,174	0,12–0,8	
Cd	< 0,01–0,005	0,005–0,05	

Примітка: Викиди металів значною мірою залежать від складу сировини, що використовується, типу технологічного процесу та ефективності системи фільтрування пилу.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення споживання енергії, для вентиляції та експлуатації очисного обладнання.
- Системи мокрого очищення газу (скрубери) можуть утворювати відходи та стічні води, які потребують очищення перед скиданням, а також тверді відходи, які підлягають утилізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології застосовні до нових та наявних заводів з виробництва первинної міді.

Котел-утилізатор та гарячий електростатичний фільтр
Ця технологія застосовується до первинних відхідних газів печі зваженої плавки та електричної печі та пов'язана з подальшою обробкою на установці з виробництва сірчаної кислоти.

Відстійна камера, циклон, скрубер Вентурі та електростанція
Ця технологія застосовується до шахтних печей, що працюють з концентратом з низьким вмістом сірки та заліза та високим вмістом органічного вуглецю.

Рукавний фільтр
Ця технологія застосовується до вторинних викидів.

Мокрий скрубер
Застосовується для зниження вмісту SO_2 у вловлених вторинних відхідних газах. Застосування мокрого скрубера може бути обмежено у наступних випадках:

- дуже високі швидкості потоку відхідних газів через вплив на різні компоненти довкілля (значні об'єми відходів та відпрацьованих вод);
- у посушливих районах через потребу у великій кількості води, та в очищенні відпрацьованих вод, і через пов'язаний з цим вплив на різні компоненти довкілля.

Напівсухий скрубер
Ця технологія застосовується для зниження вмісту SO_2 у вловлених вторинних відхідних газах у
комбінації з рукавним фільтром.

Економічні аспекти
Повідомлялося про інвестиції у розмірі близько 10 мільйонів євро в наявну систему уловлювання та очищення неорганізованих викидів газу на заводі з виплавки первинної міді в компанії Aurubis, Гамбург (в тому числі на рукавний фільтр, трубопроводи, витяжні ковпаки, вентилятори та управління технологічним процесом).

Компанія Aurubis у Пирдопі повідомила про інвестиційні витрати у розмірі близько 1 700 000 євро на вдосконалення системи уловлювання неорганізованих викидів на плавильному заводі. Це передбачало модернізацію витяжних ковпаків у зоні печі зваженої плавки, закриття тунелів ковша металевими бар'єрами під час процесу випускання, а також встановлення триетапної системи вторинних витяжних ковпаків конвертера.

Стимул до впровадження
- Запобігання та зменшення викидів.
- Економія сировини.

Приклади заводів
Atlantic Copper, Уельва (Іспанія), Aurubis, Гамбург (Німеччина), Aurubis, Пирдоп (Болгарія), Boliden, Гар'явалта (Фінляндія), Boliden, Рьоннскяр (Швеція), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 та Легниця (Польща).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.3.3 Технології запобігання та зменшення викидів з конвертерних печей у виробництві первинної міді

Штейн з металоплавильної печі конвертуються у чорнову мідь шляхом вдування збагаченого киснем повітря в конвертери Пірса-Сміта або Hoboken (єдині два типи конвертерів, що використовуються в країнах ЄС-28). У конвертер завантажують рідкий штейн через ковші. Штейн разом із допоміжними матеріалами (брухтом та флюсом) завантажується через горловину конвертера. Шлаки та чорнова мідь, що утворюються в результаті конвертування штейну, поступово зливають назад у ковші, коли вони виходять з конвертера. Конвертер також використовується для обробки сплаву Cu-Pb-Fe, отриманого в електричній печі, що очищує від міді шлак з печі зваженої плавки. Чорнова мідь, отримана в конвертерах, потім обробляється в анодних печах.

Опис
Технології, які слід розглянути:

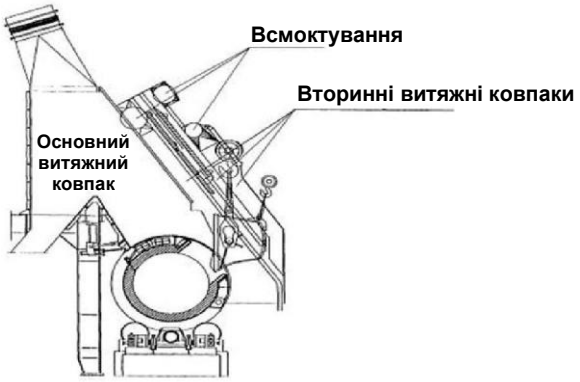
- Збагачення киснем та робота під негативним тиском.
- Ковпаки-уловлювачі та додавання матеріалів (брухту та флюсу) через ковпак для конвертерів Пірса-Сміта.
- Використання закритих кришок для конвертерів Hoboken.
- Використання зваженого конвертування.
- Посилені системи всмоктування для забезпечення уловлювання диму та ефективного видалення.
- Електростатичний фільтр з подальшим надходженням на установку з виробництва сірчаної кислоти (див. Розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2) або установку з виробництва рідкого SO_2 (див. Розділ 2.12.5.4.3). Ці методи усунення забруднення довкілля розглядаються для очищення первинних відхідних газів.
- Рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна або використання мокрого або напівсухого скрубера для очищення вторинних відхідних газів.

Технічний опис
Конвертерні печі утворюють викиди пилу, металів і SO_2 у повітря. Транспортування ковшем також є потенційним джерелом дифузних викидів, які можуть містити пил та діоксид сірки. Технології, що застосовуються для запобігання дифузним викидам і уловлювання технологічних газів, що викидаються, залежать від використовуваного конвертера.

У конвертерах Пірса-Сміта гази, що утворюються, виходять через горловину конвертера й уловлюються через ковпаки-уловлювачі (див. Рисунок 3.15). У конвертерах Hoboken гази не проходять через горловину, а всмоктуються окремо через газовідвід. У конвертерах обох типів гази потім охолоджуються, знепилюються та направляються в систему відновлення сірки для перетворення у сірчану кислоту або рідкий SO_2.

Робота під негативним тиском, ковпаки-уловлювачі для конвертерів Пірса-Сміта та закриті кришки для конвертерів Hoboken
Конвертери працюють під негативним тиском. Первинні відхідні гази конвертерів Пірса-Сміта збираються через первинний ковпак над устям конвертера. Матеріали (брухт та флюс) можуть бути додані через ковпак конвертера Пірса-Сміта для запобігання викидам. Вторинні гази вловлюються в місці їх утворення за допомогою ковпаків-уловлювачів. Конвертери Пірса-Сміта оснащені системою до трьох витяжних ковпаків, крім основного ковпака. Ці витяжні ковпаки можуть бути підключені або до заводу з виробництва сірчаної кислоти (витяжний ковпак 1), або до вторинної системи очищення (витяжний ковпак 2 та 3). Під час операцій заповнення та розливання окремі витяжні ковпаки приводяться у положення, що забезпечують оптимальну ефективність уловлювання. Автоматичне керування запобігає витоку в періоди, коли конвертер відхиляється.

Вихідний газ конвертерів Hoboken всмоктується через газовідвід у кінці конвертера. Сифон мінімізує витік газу на всіх етапах роботи. Горловини конвертерів Hoboken обладнані спеціальними кришками для запобігання викидам у процесі конвертування. Під час завантаження та спорожнення в конвертерах Hoboken підтримується негативний тиск.



Джерело: [198, Velten 1999],

Рисунок 3.15: Вторинна витяжна система для конвертера

Системи управління для забезпечення уловлювання диму та ефективного видалення.
Повітропроводи та вентилятори використовуються для транспортування уловлених газів у процеси видалення або очищення. Ефективність уловлювання залежить від ефективності витяжних ковпаків, цілісності повітроводів та від використання надійної системи контролю тиску/потоку. Вентилятори з регульованою швидкістю використовуються для забезпечення швидкості вилучення, придатної для умов, що змінюються, таких як об'єм газу, за мінімального споживання енергії. Інтелектуальні системи використовуються для автоматичного керування вентиляторами, клапанами та заслінками, щоб забезпечити оптимальну ефективність уловлювання на етапах процесу, на яких утворюється дим. Проводиться регулярний огляд та профілактичне обслуговування печей, повітроводів, вентиляторів та фільтрувальних систем для забезпечення герметичності та запобігання дифузним викидам.

Електростатичний фільтр з подальшим надходженням на установку з виробництва сірчаної кислоти (див. Розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2) або установку з виробництва рідкого SO_2 (див. Розділ 2.12.5.4.3).
Уловлені первинні відхідні гази (первинними витяжними ковпаками в конвертерах Пірса-Сміта або в газовідводі в конвертерах Hoboken) містять високі рівні SO_2 з вмістом від 5% до 15%. Зазвичай вони охолоджуються, очищаються в системах видалення пилу та направляються в систему відновлення сірки, установку з виробництва сірчаної кислоти або установку з виробництва рідкого SO_2.

Відхідні гази конвертера охолоджують або в камерах випарного охолодження, або в котлах-утилізаторах, або в холодильниках, що використовують зовнішнє повітря. Гази знепилюються в електростатичних фільтрах і можуть змішуватися з іншими технологічними газами від операцій виплавки, наприклад, печі зваженої плавки, перед поданням у секцію охолодження та очищення газу установки для виробництва кислоти з подвійного контактування/подвійної абсорбції.

В одній установці відхідні гази конвертера обробляються на одноступеневій кислотній установці з перетворенням (ефективність 97%), але відхідні гази обробляються на установці десульфуризації (поліефірна основа) на основі процесів адсорбції/десорбції (див. Розділ 3.3.3.9).
Рукавний фільтр з вдуванням сухого вапна або система мокрого скрубера, напівсухого скрубера та рукавного фільтра
Вторинний газ, що уловлюється вторинними витяжними ковпаками під час завантаження та розвантаження конвертера або збирається витяжною системою склепіння, обробляється в системі очищення газу. Очищення газу є специфічним для вторинних газів із конвертерних зон, або встановлюється загальна (централізована) система для очищення газів з різних джерел на заводах із виплавки первинного металу.

На деяких установках система очищення вторинного газу складається з рукавного фільтра з вдуванням сухого вапна. На одній установці вторинні гази очищаються в центральній системі очищення газу та пилу, що складається з мокрого скрубера, сухого скрубера та рукавного фільтра (див. Розділ 3.3.3.6).

Тумановловлювання у мокрому скрубері та циклоні використовується на одному заводі в ЄС-28 для обробки первинних відхідних газів від конвертування сплаву Cu-Pb-Fe. Ці відхідні гази не містять достатньої кількості SO_2 для відновлення сірки на установці з виробництва сірчаної кислоти, вони десульфуризуються в мокрому скрубері з содою

Встановлено системи моніторингу для виявлення витоків та несправності в очисному обладнанні. Технічне обслуговування ковпака уловлювача, повітроводів, фільтрувальних систем та вентилятора необхідне для забезпечення того, щоб швидкість уловлювання або видалення залишалася на проєктному рівні.

Використання зваженого конвертування
За межами ЄС-28 використовується процес безперервного конвертування штейну Kennecott-Outotec. У цьому процесі жолоби чорнової міді печей зваженого конвертування криті, а випускні отвори оснащені витяжними ковпаками для уловлювання вторинних газів. Вторинні гази зваженого конвертування очищаються у рукавному фільтрі, спільному для вентиляційних газів зваженої плавки. Відхідні гази конвертера зваженої плавки виходять через шахту аптейку й охолоджуються в котлі-утилізаторі. Тиск і температура всередині котла регулюються таким чином, щоб запобігти конденсації сірчаної кислоти та надмірній корозії. Для сульфатації оксидного димового пилу з печі у вхід радіаційної секції вдувається повітря. Частина сульфатованого пилу осідає в котлі-утилізаторі, решта вловлюється електростатичним фільтром. Шар пилу, що накопичується на осаджувальних електродах, повертається у піч. Потім газ спрямовується в секцію очищення газу установки з виробництва сірчаної кислоти.

Досягнуті екологічні переваги
- Для конвертера Пірса-Сміта триетапна система вторинних витяжних ковпаків конвертера дозволяє вловлювати гази, що утворюються в різних режимах роботи конвертера, на місці їх утворення та скорочувати дифузні викиди.
- Для конвертера Пірса-Сміта розділення викидів на два різні потоки з високим та низьким вмістом сірки дозволяє підвищити ефективність вилучення сірки та зниження викидів SO_2.
- Збагачення киснем дозволяє регенерувати тепло для плавлення мідного брухту.
- Конвертер Hoboken запобігає утворенню викидів під час роботи із закритими кришками.
- Для конвертера зваженої плавки зменшення дифузних викидів та більш стабільний вміст SO_2 у димових газах.
- Утворення пари з котла-утилізатора.
- Зменшення викидів пилу та діоксиду сірки.
- Відновлення сірки.
- Повернення пилу у процес.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Вимірювання на одному заводі з виплавки первинної міді до та після встановлення систем запобігання та боротьби з дифузними викидами показали, що дифузні викиди становлять до 80% від загального обсягу викидів у цьому секторі у порівнянні з недифузними викидами.

Концентрація SO_2 у газах варіюється в залежності від технологічного циклу. Під час початкового продування міді концентрації SO_2 можуть перевищувати 10%. Однак в інші періоди продування, а також під час завантаження або спорожнення конвертеру концентрації SO_2 набагато нижчі, часто навіть нульові.

Atlantic Copper, Уельва працює з чотирма конвертерами Пірса Сміта (три гарячі конвертери, два з яких працюють одночасно) із середньою швидкістю продування 37 000 $Нм^3$/год. У конвертері відхідні гази охолоджуються в камерах випарного охолодження, по одній на кожен конвертер. За допомогою двох незалежних ліній очищення гази знепилюються в гарячих електростатичних фільтрах, а потім змішуються з газами з печі зваженої плавки перед відправленням до секції охолодження та очищення газу установки з виробництва сірчаної кислоти. Конвертери мають систему управління для мінімізації дифузних викидів газу, коли вони входять або виходять з витяжного ковпака. Брухт та флюс завантажуються через ковпак у конвертер під час продування. Вторинні гази, що уловлюються вторинними витяжними ковпаками конвертерів, обробляються в системі очищення газ, що складається з рукавного фільтра з вдуванням сухого вапна для зниження вмісту SO_2. Пил частково переробляється у вихідний матеріал для печі зваженої плавки.

На підприємствах Aurubis у Гамбурзі та Пирдопі встановлено три конвертери Пірса-Сміта; два конвертери працюють паралельно (швидкість продування 750 $Нм^3$/хв). Брухт та флюс завантажуються через ковпак у конвертер під час продування. Таким чином, вдається уникнути відхилення конвертерів від труби, що знижує можливість виділення газу. Технологічні гази, що містять SO_2, уловлюються в первинних витяжних ковпаках з водяним охолодженням, знепилюються в електростатичному фільтрі, а потім транспортуються на кислотну установку для подальшої обробки.

У Гамбурзі та Пирдопі уловлювання вторинних газів під час завантаження конвертера, знімання шлаку або розливання металу забезпечується системою вторинних витяжних ковпаків на кожному конвертері. Уловлені гази частково передаються на кислотну установку, а решта обробляється та знепилюється у загальній системі обробки та очищення вторинних газів. До її складу входять мокрий скрубер і рукавний фільтр в Пирдопі, а також рукавний фільтр з вдуванням сухого вапна в Гамбурзі. У Гамбурзі під час розливання шлаку ківш і жолоб закриваються пересувними ковпаками, а гази вловлюються та знепилюються в центральній системі обробки вторинних газів. У Пирдопі передбачена часткова витяжна система у склепінні для уловлювання залишкових дифузних викидів та направлення їх у систему очищення газу.

На підприємстві Boliden, Рьоннскяр, працює три конвертери Пірса-Сміта (два гарячі конвертери, працюють по одному за раз). Відхідні гази конвертера проходять через котел-утилізатор для регенерації енергії. Газ, що виходить з котла, проходить через випарний холодильник для регулювання температури, а потім знепилюється в гарячому електростатичному фільтрі перед надходженням у змішувальну колону перед установкою з виробництва сірчаної кислоти/рідкого SO_2. Вентиляція прольоту в конвертері уловлює дифузні викиди газу, які можуть утворюватися під час операцій конвертера, таких як завантаження штейну та брухту, завантаження інших матеріалів, знімання шлаку та відхилення конвертера від ковпака або повернення до нього (потік 800 000 $м^3$/год). Ці вентиляційні гази з системи вентиляції даху конвертерного цеху (три конвертери Пірса-Сміта) та газ, що випускається з печі зваженої плавки, фільтруються в рукавному фільтрі.

На підприємстві Boliden, Гар'явалта, два з трьох гарячих конвертерів можуть продуватися одночасно, поки на четвертому проводиться заміна футерування. Випарне охолодження використовується для вирівнювання піків температури перед котлом-утилізатором. Для знепилення використовується гарячий електростатичний фільтр. Вторинні витяжні ковпаки та вентиляційні отвори на даху використовуються для уловлювання відхідних газів, що виділяються під час завантаження/знімання шлаку/розливання чорнової міді, а також для уловлювання дифузних викидів, що утворюються під час транспортування штейну. Уловлені гази прямують через рукавний фільтр у димову трубу. Дах прольоту закритий. Вентиляційний трубопровід обладнаний системою вдування сухого вапна для уловлювання частини дифузних викидів SO_2.

На заводі у Глогуві 1 працюють п'ять конвертерів Hoboken; зазвичай три гарячі, два під дуттям. Відхідні гази конвертера (потік 110 000 $Нм^3$/год) проходять через відстійну камеру, холодильники, що використовують зовнішнє повітря, та електростатичні фільтри та використовуються на установці з виробництва сірчаної кислоти подвійного перетворення, яка передбачає скрубер з радіальним потоком та мокрий електростатичний фільтр для попереднього очищення.

У Легниці відхідні гази конвертерів Hoboken (потік 50 000–80 000 $Нм^3$/год, температура 300–350°C, концентрація SO_2 5–12% об.) проходять через відстійну камеру, холодильники, що використовують зовнішнє повітря, та електростатичні фільтри та використовуються на установці з виробництва сірчаної кислоти однократного контактування, яка передбачає мокрий скрубер (DynaWave®) і мокрі електростатичні фільтри для попереднього очищення. Відхідні гази з потоком 70 000 $нм^3$/год та вмістом приблизно 6–8 г/$Нм^3$ SO_2 передаються на установку абсорбції/десорбції на поліефірній основі для остаточної десульфуризації до 500 мг/$м^3$ SO_2.

Горловини конвертерів Hoboken у Глогуві 1, Глогуві 2 та Легниці оснащені спеціальними кришками для запобігання викидам під час роботи. Під час завантаження та спорожнення в конвертерах підтримується негативний тиск.

У Глогуві 2 конвертери Hoboken обробляють сплав Cu-Pb-Fe, отриманий в електричній печі, який використовується для очищення шлаку печі зваженої плавки. Крім того, в

конвертери надходять тверді металеві просипи і розплавлений шлак з обертових анодних печей. Відхідні конвертерні гази обробляються в спеціальній системі мокрого очищення, що складається зі скрубера Вентурі та циклонного тумановловлювача. Циркуляційний рідкий агент являє собою розчин соди, який також забезпечує десульфуризацію відхідних газів.

На мідеплавильному заводі Kennecott Utah Copper (Магна, штат Юта, США) з 1997 р. для конвертування штейну у чорнову мідь використовується піч зваженого конвертування. З печі зваженої плавки мідний штейн випускається, гранулюється водою та зберігається у зоні змішаного зберігання. Перед надходженням у піч зваженого конвертування штейн подається на вертикальний вальцьовий млин, де одночасно відбувається його помел та сушіння. У печі зваженого конвертування штейн перетворюється на чорнову мідь і шлак. Шлак випускають, гранулюють водою та повертають у піч зваженої плавки. Чорнова мідь (яка містить 0,1–0,5% сірки) прямує в анодну піч [52, Newman, C.J. et al. 1998]

Основні дані про функціонування та ефективність первинних конвертерів наведені у Таблиці 3.44 нижче.

Таблиця 3.44: Дані про функціонування та ефективність первинних конвертерів

Компанія	**Atlantic Copper**	**Aurubis, Гамбург**	**Aurubis, Пирдоп**	**Boliden, Гар'явалта**
Дані щодо конвертера	4 конвертери Пірса-Сміта (3 гарячих) Швидкість продування 37 000 $Нм^3$/год	3 конвертери Пірса-Сміта (2 гарячих) Швидкість продування 750 $Нм^3$/хв 24% O_2	3 конвертери Пірса-Сміта (2 гарячих) Швидкість продування 3 000 $Нм^3$/год 24% O_2	4 конвертери Пірса-Сміта (3 гарячих, 2 працює) Швидкість продування 450 $Нм^3$/хв 25–27% O_2
Уловлювання первинного газу	Випарні холодильники та електростатичний фільтр	Електростатичний фільтр	Випарні холодильники та електростатичний фільтр	Пара з котла-утилізатора та електростатичного фільтра 15 т/год
Очищення первинного газу	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції
Параметр	**Рівні викидів первинного газу (мг/$Нм^3$)**			
SO_2	Див. Розділ 2.7.2	Див. Розділ 2.7.2	Див. Розділ 2.7.2	Див. Розділ 2.7.2
Джерела уловлювання вторинного газу	Вторинні витяжні ковпаки конвертера	Вторинні витяжні ковпаки конвертера Частина централізованої системи (див. Розділ 3.3.3.6)	Вторинні витяжні ковпаки конвертера Частина централізованої системи (див. Розділ 3.3.3.6)	Конвертерна зона уловлювання дифузних викидів — конвертерний проліт та вентиляційні ковпаки конвертера Частина централізованої системи (див. Розділ 3.3.3.6)
Очищення вторинного газу	Рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна	Рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна	Сухий скрубер, мокрий скрубер та рукавний фільтр	Рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна
Макс. швидкість потоку ($Нм^3$/год) (середнє значення)	350 000	Не повідомлено	Не повідомлено	Не повідомлено
Параметр	**Рівні викидів вторинного газу (мг/$Нм^3$)**			
Періодичність моніторингу	Безперервний	Безперервний	Безперервний	Безперервний
Пил	3,2–6,6 4,7	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
Періодичність моніторингу	Безперервний	Безперервний	Безперервний	Безперервний
SO_2	105–732 (середньодобове значення) 399 (в середньому за рік)	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
Періодичність моніторингу	Немає даних	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
Cu	Не виміряно	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
Pb				
As				
Cd				

Компанія	Boliden, Рьоннскяр	KGHM Глогув 1	KGHM Глогув 2	KGHM Легниця
Дані щодо конвертера	3 конвертери Пірса-Сміта (2 гарячих) Швидкість продування 750 $Нм^3$/хв 21–26% O_2	5 конвертерів Hoboken (3 гарячих, 2 працює) Швидкість продування 35 000 $Нм^3$/год	3 конвертери Hoboken (конвертування сплаву Cu-Pb, отриманого в електричній печі)	4 конвертери Hoboken (3 гарячих, 2 працює) Швидкість продування 12 000 $Нм^3$/год 23,5% O_2
Уловлювання первинного газу	Котел-утилізатор, випарний охолоджувач та електростатичний фільтр	Холодильники, що використовують зовнішнє повітря, електростатичні фільтри	Немає даних	Холодильники, що використовують зовнішнє повітря, електростатичні фільтри
Очищення первинного газу	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції та установка з виробництва рідкого SO_2	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції (в тому числі скрубер з радіальним потоком та мокрий електростатичний пиловловлювач для попередньої обробки)	Скрубер Вентурі з содовим розчином, циклонний тумановловлювач	Кислотна установка однократного контактування та завод Solinox (в тому числі скрубер Вентурі та мокрий електростатичний фільтр для попереднього очищення), а потім завод Solinox для остаточної десульфуризації
Макс. швидкість потоку ($Нм^3$/год)	Не повідомлено	128 000	77 000	240 000
Параметр	**Рівні викидів первинного газу (мг/$Нм^3$)**			
Періодичність моніторингу	Немає даних	Немає даних	12 разів на рік (1 година)	Немає даних
Пил	Не застосовується	Не застосовується	3–15 4,6 (в середньому за рік)	Не застосовується
Періодичність моніторингу	Немає даних	Немає даних	12 разів на рік (1 година)	Немає даних
Cu	Не застосовується	Не застосовується	0,01–1,7	Не застосовується
Pb			0,25–2,0	
As			0,02–3,8	
Cd			0,0004–0,03	
Періодичність моніторингу	Див. Розділ 2.7.2	Безперервний	Безперервний	26 разів на рік (1 година)
SO_2	Див. Розділ 2.7.2	5–800 (середньодобове значення) 140 (середньорічне значення)	0–200 (середньодобове значення) 81 (середньорічне значення)	40–500 300 (середньорічне значення)
Джерела уловлювання вторинного газу	Вентиляція даху конвертерного цеху (3 конвертери Пірса-Сміта) + газ, що випускається з печі зваженої плавки	Спеціальні кришки для запобігання викидам під час роботи Негативний тиск підтримується у конвертерах під час завантаження та спорожнення	Спеціальні кришки для запобігання викидам під час роботи Негативний тиск підтримується у конвертерах під час завантаження та спорожнення	Спеціальні кришки для запобігання викидам під час роботи Негативний тиск підтримується у конвертерах під час завантаження та спорожнення
Очищення вторинного газу	Рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна	У конвертері Hoboken виключені дифузні викиди, нема потреби в системі вентиляції	У конвертері Hoboken виключені дифузні викиди, нема потреби в системі вентиляції	У конвертері Hoboken виключені дифузні викиди, нема потреби в системі вентиляції
Макс. швидкість потоку ($Нм^3$/год)	846 000	Немає даних	Немає даних	Немає даних

Параметр	Рівні викидів вторинного газу (мг/Нм^3)			
Періодичність моніторингу	Двічі на місяць	Немає даних	Немає даних	Немає даних
Пил	0,018–1,17 0,41 (в середньому за рік)	Не застосовується	Не застосовується	Не застосовується
Періодичність моніторингу	Безперервний	Немає даних	Немає даних	Немає даних
SO_2	250 (в середньому за рік)	Не застосовується	Не застосовується	Не застосовується
Періодичність моніторингу	Двічі на місяць	Немає даних	Немає даних	Немає даних
Cu	< 0,01–0,082	Не застосовується	Не застосовується	Не застосовується
Pb	< 0,01–0,143			
As	< 0,01–0,041			
Cd	< 0,01–0,015			
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]				

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення споживання енергії, для вентиляції та експлуатації очисного обладнання.
- Очищення великих обсягів повітря та високе споживання енергії особливо пов'язані з витяжними системами даху.
- Системи мокрого очищення газу (скрубери) можуть утворювати відходи та стічні води, які потребують очищення перед скиданням, а також тверді відходи, які підлягають утилізації.
- Піч зваженого конвертування вимагає гранульованого та меленого штейну, а мідний брухт необхідно розплавляти в анодній печі.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Загальнозастосовна. Покриття та закриті кришки застосовуються до конвертерів Hoboken. Система первинних і вторинних витяжних ковпаків застосовуються до конвертерів Пірса-Сміта.

Печі зваженого конвертування застосовні лише до нових заводів або до капітально модернізованих наявних установок. Застосування мокрого скрубера може бути обмежено у наступних випадках:

- дуже високі швидкості потоку відхідних газів через вплив на різні компоненти довкілля (значні об'єми відходів та відпрацьованих вод);
- у посушливих районах через потребу у великій кількості води, та в очищенні відпрацьованих вод, і через пов'язаний з цим вплив на різні компоненти довкілля.

Економічні аспекти

На одному заводі (Aurubis, Пирдоп) інвестиційні витрати на вдосконалення системи уловлювання дифузних викидів на плавильному заводі склали близько 1 700 000 євро. Це передбачало встановлення триетапної системи вторинних витяжних ковпаків конвертера, модернізацію ковпаків у зоні печі зваженої плавки та закриття тунелів ковша металевими бар'єрами під час процесу випускання.

В іншій компанії (Atlantic Copper) інвестиційні витрати на заміну всіх первинних витяжних ковпаків конвертера та пристроїв для завантаження брухту, а також встановлення вторинних витяжних ковпаків та системи очищення вторинного газу склали 16 мільйонів євро.

Повідомлялося про інвестиційні витрати у розмірі 6 мільйонів євро на наявну систему для вдосконалення системи уловлювання та очищення дифузних викидів газу від конвертерів на заводі з виплавки первинної міді у компанії Aurubis у Гамбурзі (рукавний фільтр, трубопроводи, вентиляція, система вдування вапна, вентилятори та управління технологічним процесом).

Стимул до впровадження
- Обмеження дифузних викидів.
- Вимоги екологічних норм та норм у галузі охорони здоров'я.

Приклади заводів
Atlantic Copper, Уельва (Іспанія), Aurubis, Гамбург (Німеччина), Aurubis, Пирдоп (Болгарія), Boliden, Гар'явалта (Фінляндія), Boliden, Рьоннскяр (Швеція), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 і Легниця (Польща), та Kennecott Utah Copper (США).

Довідкова література
[52, Newman, C.J. et al. 1998], [238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.3.4 Обробка шлаку з високим вмістом міді

Шлак із високим вмістом міді з металоплавильних печей або конвертерів обробляють для вилучення з нього міді. Використовуються два процеси:

- концентратор шлаку,
- обробка шлаку у печі.

3.3.3.4.1 Технології запобігання та зменшення викидів від обробки шлаку з високим вмістом міді шляхом повільного охолодження, дроблення, помелу та флотації (концентратор шлаку)

Шлак із високим вмістом міді від процесу виплавки та/або конвертування може бути оброблений для вилучення міді в концентраторі шлаку. Цей процес очищення шлаку заснований на повільному охолодженні розплавленого шлаку, дробленні та мокрому подрібненні охолодженого шлаку та вилучення міді шляхом флотації для отримання шлакового концентрату. Концентратор шлаку використовується там, де достатньо місця і де кінцевий шлак можна належним чином переробити або утилізувати. Щоб досягти належного вилучення металу, матеріал для флотації шлаку необхідно подрібнити до розміру дрібних зерен. Цей кінцевий шлак можна використовувати для різних промислових цілей, хоча можливості його використання можуть бути обмежені через дрібний розмір часток, тому частина шлаку можливо потрібно буде утилізувати. Шлаковий концентрат подається в піч зваженої плавки разом із первинним концентратом.

Споживання енергії концентратором шлаку нижче, ніж у процесі очищення шлаку в електричній печі. Для роботи газоочисного обладнання не потрібна додаткова енергія. Може бути досягнутий вищий рівень вилучення міді, ніж під час обробки шлаку в печі.

Завод зі концентрування шлаку працює гнучко, адаптуючись до змін у вихідному матеріалі. Реалізовано відокремлення обробки шлаку від основного плавильного процесу.

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Розпилювачі води. Застосовується для пригнічення викиду пилу під час обробки, зберігання та дроблення.
- Дренажна система. Застосовується для вилучення води з усіх операцій, що виконуються під розпиленням води, щоб уникнути забруднення ґрунту та підземних вод.
- Збирання та повторне використання у технологічному процесі води із зони охолодження та процесу флотації, а також із гідротранспорту кінцевого шлаку.
- Спеціальна конструкція басейну для зберігання шлаку для захисту ґрунту та запобігання забруднення підземних вод, а також утримання водного шару для запобігання дифузним викидам пилу. Кінцеві шлаки транспортуються на остаточне зберігання гідротранспортом закритими трубопроводами.

Технічний опис

У процесі концентрування шлак охолоджується розпилювачами повітря та води в ковшах або колодязях. У зонах охолодження встановлені дренажні системи та здійснюється рециркуляція води. У місцях обробки та зберігання встановлюються установки зрошення водою для зменшення викидів пилу.

Здійснюється одноетапне дроблення. На вході в пункти дроблення та передачі після приймальних бункерів також можуть бути встановлені установки зрошення водою. Процес подрібнення є двоетапним процесом, де перший етап являє собою млин самоподрібнення, а другий — кульовий або гальковий млин. Первинний млин може бути у відкритому або замкнутому циклі, залежно від вторинного етапу. У замкнутому циклі класифікатор може бути ситового, спірального чи циклонного типу. Вторинний етап відбувається в замкнутому циклі із циклонами.

Після вторинного подрібнення злив піддається флотації, яка зазвичай передбачає машину для первинної флотації, машину для вторинної флотації та два етапи очищення. Концентрати машини вторинної флотації та хвости першої очисної машини циркулюють назад до машини первинної флотації. Флотація — це фізико-хімічний процес, який здійснюється за природного pH за допомогою збирача-ксантогенату. Процеси подрібнення та флотації виконуються з використанням води, що запобігає викидам у повітря.

Мідний концентрат зневоднюється традиційним способом за допомогою згущувача та вакуумного фільтра. Фільтрувальний осад разом із сумішшю вихідного матеріалу металоплавильної печі надходить на сушіння і повертається в металоплавильну піч.

Вода рециркулюється дренажними насосами та повторно використовується в технологічному процесі.

Кінцеві шлаки транспортуються в ставок гідротранспортом у закритих трубопроводах. Тверді частки осідають у ставку; вода зливається та повертається у процес флотації. Загородка греблі та дно ставка захищені поліетиленом високої густини для запобігання проникненню в ґрунт та підземні води. Для запобігання висиханню твердих часток та викидів пилу на поверхні ставка підтримується шар води. Пилопригнічувачі, такі як вапняне молоко, також можна використовувати у сухих зонах.

Досягнуті екологічні переваги

- Мінімізація викидів у повітря, оскільки очищення шлаку є мокрим процесом.
- Вода використовується повторно.
- Відновлення міді та економія сировини.
- Захист ґрунту та підземних вод.
- Кінцевий шлак можна використовувати для різних промислових цілей, таких як дорожнє будівництво та інші сфери застосування заповнювачів, для виробництва клінкеру або у якості мінеральної добавки до композиційного цементу, або як компонент для виробництва чавуну/сталі.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

На підприємстві Boliden у Гар'явалті шлак із печі зваженої плавки міді та конвертерів обробляється для вилучення міді у концентраторі шлаку. Шлак повільно охолоджується у ковшах розпилювачем води. Після охолодження ковші випорожняють гідравлічним молотом. Потім шлак дробиться конусною дробаркою, перемелюється на шматковому і гальковому млинах і обробляється у концентраторі шлаку. Частки, що містять мідь, відокремлюють у флотаційних камерах з використанням повітря, води, флотаційного мастила та ксантогенатів. Потім шлаковий концентрат згущують, фільтрують і переробляють у суміш вихідного матеріалу печі зваженої плавки міді.

Відвальні хвости концентратора шлаку, переважно силікат заліза, викидаються з флотаційних камер і перекачуються у спеціально підготовлене хвостосховище. Обробка води зони охолодження шлаку є частиною водяного циклу концентратора шлаку. Вода концентратору шлаку переробляється та відводиться у процес очищення води.

На підприємстві Boliden, Рьоннскяр, шлак із печі зваженої плавки міді обробляється для вилучення міді у процесі концентрування шлаку. Шлак охолоджують у ковшах, дроблять

та транспортують критими вантажівками у концентратор шлаку, де вилучають мідь шляхом помелу та флотації. Концентрат переробляють у суміш вихідного матеріалу печі зваженої плавки міді. Відвальні хвости перекачуються до спеціально підготовленого хвостосховища разом із хвостами флотації руди. Вода у концентраторі шлаку переробляється.

На підприємстві Aurubis, Пирдоп, шлаки печі зваженої плавки та конвертера транспортуються до зони охолодження залізничними вагонами. Шлак охолоджується в резервуарах кристалізації шляхом послідовного охолодження повітрям та водою. Обладнання передбачає дренажну систему та насосну станцію. Вся вода для охолодження рециркулюється. Охолоджений шлак виймають і транспортують у приймальний бункер або відкриту зону зберігання. Одноетапне дроблення здійснюється щоковою дробаркою. Подрібнений шлак транспортується гумовим стрічковим конвеєром у два бункери, а потім подається до секції помелу для помелу та сортування. Помел проводиться у два етапи.

Первинний помел відбувається у млинах самоподрібнення. Перший млин самоподрібнення (потужність: 45–50 т/год) працює у замкнутому циклі зі спіральним класифікатором. Злив із класифікатора надходить у відстійник насоса та силових гідроциклонів. Другий млин самоподрібнення (потужність 100–105 т/год) працює у замкнутому циклі з двома гідроциклонами. Вторинний помел відбувається в кульовому млині, що працює в замкнутому циклі з трьома гідроциклонами.

Злив гідроциклону спрямовується на флотацію. Флотація складається з класичного циклу: машина для первинної флотації, машина для вторинної флотації та два етапи переочисної флотації. Хвости першої очисної машини разом з концентратами машини для вторинної флотації перекачуються назад до машини для первинної флотації. Хвости другої очисної машини перекачуються на перший етап очищення.

Суспензія шлакового концентрату перекачується з флотаційних камер у згущувач. Нижній злив згущувача фільтрується дисковим вакуумним фільтром. Шлаковий концентрат, що утворився на фільтрі, повертається у піч зваженої плавки. Злив води зі згущувача перекачується через бак у резервуар технологічної води, замикаючи цикл циркуляційної води флотаційної установки.

На всіх ділянках є відстійники на полу для збирання витоків.

Кінцевий шлак перекачується в ставок хвостосховища двома насосами для суспензії, що працюють послідовно. Шлак відстоюється, вода перекачується у збірний резервуар, звідки повертається в концентратор шлаку для використання як технологічної води.

Ставок хвостосховища обмежений загородкою греблі. Загородка греблі та дно ставка захищені поліетиленом високої густини для уникнення проникнення в ґрунт та підземні води. Поверхню ставка тримають під шаром води, щоб уникнути неорганізованих викидів пилу.

Вплив на різні компоненти довкілля
Водяний зрошувач
Збільшення споживання води.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Концентратор шлаку вимагає:

- споживання реагентів: ксантогенат~ 240 г/т; спінювач ~ 7,5 г/т;
- споживання електроенергії на помел: млин самоподрібнення ~ 18,2 кВт-год/т; кульовий млин ~ 14,3 кВт-год/т.

Будівництво ставка хвостосховища для кінцевого шлаку (об'ємом 1,6 млн $м^3$) передбачало інвестиції у розмірі до 8 млн євро (2002 р., Aurubis, Пірдоп), в тому чилі на насосну станцію, сталевий трубопровід високого тиску та замкнуту систему водопостачання.

Модернізація та збільшення місткості ставка до 3,65 млн $м^3$ загальною площею 220 акрів передбачало інвестицій у розмірі 6,5 млн євро (2008 р., Aurubis, Пирдоп).

Будівництво 45 нових колодязів охолодження та резервуарів кристалізації передбачало інвестицій у розмірі 1,350 млн євро (2007–2009 рр., Aurubis, Пирдоп).

Проєкт з розширення та збільшення потужності флотаційної установки передбачав інвестиції у розмірі до 14 мільйонів євро (2010 р., Aurubis, Пирдоп), у тому числі для другого млина самоподрібнення та додаткових флотаційних камер.

Стимул до впровадження
Мінімізація викидів у повітря і воду.

Приклади заводів
Boliden, Гар'явалта, (Фінляндія), Boliden, Рьоннскяр (Швеція) та Aurubis, Пирдоп (Болгарія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.3.4.2 Технології запобігання та зменшення викидів, що утворюються під час обробки у печі шлаку з високим вмістом міді (електрична піч або випарювання шлаку)

Обробка шлаку в печі використовується для вилучення міді зі шлаку з високим вмістом міді та отримання кінцевого шлаку. Застосовуються різні технологічні процеси.

- Шлак із печі зваженої плавки та конвертера обробляється в дуговій електропечі. Очищення здійснюється відновленням вуглецем, при якому шар штейну/металевого сплаву осаджується та відокремлюється від чистого шлаку Електричні печі можуть працювати у безперервному або періодичному режимах. Кінцевий шлак або гранулюють, або розливають у шлакові чаші, повільно охолоджують повітрям, а потім розбивають на каміння.
- Шлак електричної металоплавильної печі можна обробляти разом з цинковмісним пилом для вилучення металу на установці з ф'юмінгування. Установка з ф'юмінгування складається з ф'юмінг-печі та відстійника з електричним нагрівом. Ф'юмінг-піч працює у періодичному режимі. Розплав передається у відстійник з електричним нагрівом, де штейн та сплав відокремлюються та випускаються. Кінцевий шлак гранулюється. Тепло від охолоджувальної води ф'юмінг-печі регенерується та використовується для централізованого теплопостачання.
- Шлак зі вторинних конвертерів обробляється в обертових конвертерних печах з верхнім дуттям шляхом відновлення із залізним брухтом. Кінцевий шлак гранулюється.

У деяких випадках конвертерний шлак можна повернути в металоплавильну піч, наприклад у шахтну піч. Інші шлаки, що мають високий вміст міді, такі як шлаки рафінування, зазвичай направляють на повторне використання на попередній етап технологічного процесу, в основному на конвертування або, на заводах із виплавки вторинного металу, на етап виплавки.

Отриманий кінцевий шлак має низький вміст металу і може утворюватись з різними розмірами зерен (наприклад від великих шматкових матеріалів, гранул до дрібнозернистого матеріалу), що робить його придатним для використання в широкому спектрі промислових застосувань, наприклад, як допоміжний шар основи або поверхневий шар у дорожньому будівництві, заповнювач для будівництва насипів, закладальний матеріал шахт, у виробництві бетону та в інших сферах застосування заповнювачів, у виробництві клінкеру, або у якості мінеральної добавки до композиційного цементу, або агента абразивноструминної обробки.

Опис

Технології, які необхідно враховувати для запобігання та зменшення викидів, що утворюються під час обробки в печі шлаку з високим вмістом міді, передбачають:

- конструкцію печі, систему боротьби з викидами та негативний тиск у печі;
- використання корпусів, закритих/критих жолобів та вентиляційних ковпаків;
- допалювач;
- мокрий або напівсухий скрубер;
- системи фільтрування пилу, такі як рукавний фільтр та електростатичний фільтр;
- технології пригнічення пилу, такі як розпилення води;
- перероблення та повторне використання води у технологічному процесі.

Технічний опис

Конструкція печі, система боротьби з викидами та негативний тиск у печі

Запобігання викидам досягається завдяки правильній конструкції печі та системи боротьби з викидами. У печі підтримується негативний тиск і забезпечується достатня швидкість видалення газу для запобігання дифузним викидам.

Використання корпусів, покриття, критих жолобів та вентиляційних ковпаків

Закриті жолоби застосовуються для подання розплавленого шлаку з високим вмістом міді в електричну піч. Криті жолоби передають очищений шлак на етап гранулювання або у ківш. Криті жолоби передають штейну/металевий сплав у ківш. Вентиляційні ковпаки розташовані над склепінням печі, льотками, ковшем для шлаку і ковшем для штейну. Системи вентиляції встановлюються для уловлювання дифузних газів із ф'юмінг-печі та відстійника. Витяжні ковпаки та покриття підтримуються під негативним тиском для запобігання витоку та забезпечення оптимальної ефективності уловлювання.

Скрубер, рукавний фільтр та електростатичний фільтр

Відхідні гази електричної печі допалюються, охолоджуються й очищаються у рукавному фільтрі з вдуванням вапна або в скрубері. Гази ф'юмінг-печі охолоджуються в котлі-утилізаторі та випарному холодильнику, а пил відокремлюється в електростатичних фільтрах. Відхідні гази обертової конвертерної печі з верхнім дуттям очищаються у рукавному фільтрі. Відокремлений пил переробляється на об'єкті або за його межами для вилучення металу.

Вторинні гази знепилюються в рукавному фільтрі, де необхідно, з додаванням вапна або без нього. Вторинні гази можна очищати разом з відхідними технологічними газами. Вторинні гази з вентиляції печі, вентиляції льоток, корпусу жолобів та ковшів очищаються у рукавному фільтрі з вдуванням сухого вапна.

Технології пригнічення пилу, перероблення та повторне використання води у технологічному процесі.

Що стосується охолодження, обробки та зберігання кінцевого шлаку, гранулювання шлаку здійснюється шляхом його виливання у воду з використанням струменя води високого тиску або інших систем швидкого охолодження для утворення дрібних часток однакового розміру. Стічні води, що утворюються на етапі гранулювання, повторно використовуються в технологічному процесі у замкнутому циклі. Для запобігання накопиченню завислих твердих часток і металів слід постійно проводити скидання із системи колообігу води. Гранульований матеріал зберігається та обробляється у відкритій зоні. Повільне охолодження шлаку здійснюється у відкритих чашах. Шматковий матеріал зберігається й обробляється у відкритій зоні. Дроблення шлаку може проводитись у відкритій зоні. Дробарку можна обладнати ковпаком, а відпрацьоване повітря можна очищати в рукавному фільтрі. Установки зрошення водою можуть бути встановлені в зонах обробки, дроблення та зберігання кінцевого шлаку.

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення викидів пилу та SO_2.
- Пил від пилоочисного обладнання повторно використовується на об'єкті або направляється на відновлення металів.
- Відновлення міді та економія сировини.
- Кінцевий шлак можна використовувати для різних промислових цілей.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

У компанії Atlantic Copper шлаки печі зваженої плавки та конвертерів обробляються в електричних печах у періодичному процесі. Кінцевий шлак гранулюється водою. Гази з електричної печі очищаються у мокрому скрубері із замкнутим циклом циркуляції рідини (25 000 $Нм^3$/год) для зменшення вмісту SO_2 та пилу. Проводиться періодичний моніторинг не рідше чотирьох разів на рік: три аналізи по 8 годин. Повідомлені рівні SO_2 10–200 $мг/Нм^3$.

Вентиляційні гази електричної печі, льоток, жолобів та з витяжного ковпака над ковшем для шлаку під час випускання очищаються у рукавному фільтрі. Тверді частки, уловлені під час очищення рідини, використовуються для вилучення цинку.

На підприємстві Aurubis, Гамбург, комбінований шлак від процесу виплавки та конвертування очищується від міді в електричній печі для очищення шлаку. Конвертерний шлак також може подаватися у розплавленому вигляді у відстійник печі зваженої плавки, де він попередньо відновлюється перед обробкою в електричній печі. Електрична піч для очищення шлаку працює в безперервному режимі з напівбезперервним подаванням шлаку та випусканням шлаку. Кінцевий шлак або гранулюють, або розливають у шлакові чаші, повільно охолоджують повітрям, а потім розбивають на шматковий матеріал. Відхідні гази допалюються з контрольованим припливом повітря у піч. Шляхом змішування з вентиляційними газами, що відходять з жолобів, температура газу знижується менше ніж до 700°C, потім він охолоджується в холодильнику трубчастого типу і знепилюється в центральному рукавному фільтрі для вторинних газів плавильного заводу. Вентиляційні гази з ковпака над склепінням печі, льоток, жолобів, ковпака над ковшем для шлаку і камерою для штейнового ковша під час процесу випускання також очищаються в центральному рукавному фільтрі для вторинних газів плавильного заводу. Усі гази очищаються в загальній системі очищення вторинного газу рукавним фільтром з вдуванням сухого вапна (див. Розділ 3.3.3.6).

На підприємстві Boliden, Рьоннскяр, шлак з електричної печі виплавки мідного штейну разом з цинковмісним пилом сталеливарної промисловості обробляється для вилучення металу на установці з ф'юмінгування. Ф'юмінг-піч працює у періодичному режимі. Розплав передається у відстійник з електричним нагрівом, де штейн та сплав відокремлюються та випускаються. Шлак гранулюється і продається для різних галузей застосування. Гази ф'юмінг-печі, що містять випарений цинк (і свинець), повторно окиснюються й охолоджуються в котлі-утилізаторі. Після регулювання температури у випарному холодильнику пил оксидів металів відокремлюється в електростатичних фільтрах (два працюють паралельно плюс один — послідовно) перед викидом в атмосферу через димову трубу. Тепло від охолоджувальної води ф'юмінг-печі регенерується та використовується для централізованого теплопостачання. Вторинні гази від процесу ф'юмінгування, у тому числі гази відстійника, уловлюються у системі вентиляції та поєднуються з газами електричної печі; газовий потік очищається в рукавному фільтрі та викидається в атмосферу через димову трубу.

На підприємстві KGHM, Глогув 2, шлак печі зваженої плавки очищається в електричній печі. Піч працює у періодичному режимі. Вона утворює сплав Cu-Pb-Fe та кінцевий шлак, який гранулюється водою. Відхідні гази допалюються й очищаються у двох рукавних фільтрах. Періодичний моніторинг проводиться раз на місяць. Повідомлені рівні 1–5 $мг/Нм^3$ для пилу та < 100 $мг/Нм^3$ для SO_2. Низькі рівні викидів SO_2 пов'язані з низьким вмістом сірки у концентраті, що використовується. Пил використовується для виробництва свинцю в Глогуві 1. У електричну піч завантажується розплавлений шлак із печі зваженої плавки. Шлак подається через криті жолоби. Зона завантаження допоміжних матеріалів (рідкий конвертерний шлак, твердий шлак, кокс, вапняк) обладнаний системою вентиляції з двома рукавними фільтрами. Зони випускання сплаву Cu-Pb-Fe і розплавленого шлаку також обладнані системою вентиляції, з якої вентиляційне повітря додається до основного потоку відхідних газів з електричної печі перед проходженням через рукавні фільтри для спільного знепилення. Крім того, вентиляційне повітря охолоджує відхідні гази перед проходженням через рукавні фільтри.

На підприємствах KGHM у Глогуві 1 та Легниці кінцевий шлак утворюється безпосередньо у шахтних печах. Його періодично випускають і транспортують у ковшових візках на майданчик для зберігання для повільного охолодження та дроблення, щоб використовувати як матеріал для будівництва доріг. Шлак конвертеру Hoboken транспортується в ковшових візках в шлакову траншею, де він охолоджується, дробиться та повертається у процес виплавки у шахтних печах.

У Metallo-Chimique, Бресе, шлак із рафінувальної печі переробляється в шлакових обертових конвертерних печах з верхнім дуттям для вилучення Cu, Sn, Pb і Ni. На першому етапі оксиди міді відновлюють шляхом додавання брухту Cu/Fe до шлакової фази. Отриманий нечистий метал із мідного сплаву випускають та повертають у рафінувальну піч. На наступному етапі оксиди Sn і Pb, що залишилися, відновлюються залізним брухтом з утворенням комплексного багатокомпонентного сплаву, що містить в основному Pb і Sn, а також Cu і Ni. Цей метал далі обробляється у меншій обертовій конвертерній печі з верхнім дуттям. Кінцевий шлак гранулюється у воді. Відхідні гази шлакової печі очищаються у рукавному фільтрі. Періодичний моніторинг проводиться раз на місяць, повідомляється про рівень концентрації пилу < 5 мг/Нм^3.

На підприємстві Montanwerke Brixlegg шлак із шахтної печі гранулюється водою. Конвертерний шлак повертається у шахтну піч.

На підприємстві Aurubis, Люнен, шлак з етапу виплавки печі KRS випускається через шлакову льотку спочатку в піч для зберігання шлаку, а потім гранулюється водою. Конвертерний шлак із високим вмістом металу, що надходить з обертового конвертера з верхнім дуттям (або з печі KRS, якщо обертовий конвертер з верхнім дуттям не експлуатується), обробляється в печі олов'яно-свинцевого сплаву.

Інформація про функціонування підсумована у Таблиці 3.45.

Таблиця 3.45: Дані про функціонування та ефективність печей для очищення шлаку

Компанія	**Aurubis, Гамбург**	**Atlantic Copper**	**Boliden, Рьоннскяр**	**KGHM Глогув 2**	**Metallo-Chimique, Берсе**
Сировинний матеріал	Шлак печі зваженої плавки (в тому числі конвертерний шлак)	Шлак печі зваженої плавки та конвертерний шлак	Шлак з електричної металоплавильної печі	Шлак печі зваженої плавки	Шлак з рафінувальної печі
Тип печі	Електрична піч. 3 електроди	Електрична піч. 3 електроди	Ф'юмінг-піч. Відстійник	Електрична піч. 3 електроди	Обертова конвертерна піч з верхнім дуттям
Очищення первинного газу	Допалювання. Охолодження. Рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна	Відхідні гази електричної печі: охолодження та очищення	Котел-утилізатор; випарний холодильник. Електростатичні фільтри (два працюють паралельно плюс один послідовно)	Допалювання та рукавний фільтр	Холодильник. Рукавний фільтр
Очищення вторинного газу	Очищується разом з первинним відхідним газом. Центральна система очищення вторинного газу Рукавний фільтр з вдуванням сухого вапна (див. Розділ 3.3.3.6)	Льотка для вентиляційних газів електричної печі. Жолоби: рукавний фільтр	Рукавний фільтр Очищується разом з відхідними газами електричної печі	Не застосовується	Рукавний фільтр
Макс. швидкість потоку ($Нм^3$/год)	Частина централізованої системи (див. Розділ 3.3.3.6)	До 180 000	Не повідомлено	252 000	Не повідомлено
Параметр	**Рівні викидів (мг/$Нм^3$)**				
Джерело	Первинний та вторинний відхідний газ	Первинний відхідний газ	Первинний відхідний газ	Первинний відхідний газ	Відновлення Pb/Sn
Періодичність моніторингу	Див. Розділ 3.3.3.6	5 разів на рік	12 разів на рік	12 разів на рік (1 година)	Див. Розділ 3.3.5.3
Пил		Не характерно	< 5	1–5 1 (середньорічне значення)	
Періодичність моніторингу	Див. Розділ 3.3.3.6	15 разів на рік	Безперервний	12 разів на рік (1 година)	Див. Розділ 3.3.5.3
SO_2		10–200 80 (в середньому за рік)	Не характерно	0–100 19,6 (в середньому за рік)	
Періодичність моніторингу	Див. Розділ 3.3.3.6	Немає даних	12 разів на рік	12 разів на рік (1 година)	Див. Розділ 3.3.5.3
Cu		Не виміряно	< 0,01–0,03	0,01–0,4	
Pb			0,01	0,34–3,25	
As			< 0,01–0,1	< 0,01–0,2	
Cd			< 0,01–0,01	< 0,01–0,05	

Примітка: Викиди металів значною мірою залежать від складу сировини, що використовується, типу технологічного процесу та ефективності системи фільтрування пилу.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії, необхідне для вентиляції та експлуатації очисного обладнання.
- Системи мокрого очищення газу (скрубери) можуть утворювати відходи та стічні води, які потребують очищення перед скиданням, а також тверді відходи, які підлягають утилізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології застосовні до нових та наявних заводів. Для наявних установок необхідно враховувати характеристики та потужність відповідного наявного обладнання. Застосування мокрого скрубера може бути обмежено у наступних випадках:

- дуже високі швидкості потоку відхідних газів через вплив на різні компоненти довкілля (значні об'єми відходів та відпрацьованих вод);
- у посушливих районах через потребу у великій кількості води, та в очищенні відпрацьованих вод, і через пов'язаний з цим вплив на різні компоненти довкілля.

Економічні аспекти
Споживання енергії електричною піччю: ~ 10–50 кВт-год/т шлаку.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Відновлення металів.

Приклади заводів
Atlantic Copper, Уельва (Іспанія), Aurubis, Гамбург (Німеччина), Boliden, Рьоннскяр (Швеція), KGHM, Глогув 2 (Польща) та Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.3.5 Технології запобігання та зменшення викидів від процесу виплавки та вогняного рафінування (анодна піч) у первинному та вторинному виробництві міді

Опис
Технології, які слід розглянути:

- використання кришок на горловинах обертових анодних печей, ковпаків та систем вентиляції для уловлювання димів під час завантаження та випускання;
- використання рукавного фільтра з вдуванням вапна або скрубера та мокрого електростатичного фільтра;
- у вторинному виробництві міді використання допалювача, швидкого охолодження, вдування вапна та активного вугілля перед проходженням рукавного фільтра;
- регенерація відпрацьованого тепла відхідних газів для підігрівання твердого вихідного матеріалу в шахтній печі, або для підігрівання повітря для згорання, або для операцій сушіння.

Технічний опис
Відхідні гази печі допалюються на етапі відновлення, охолоджуються та очищаються в тканинних фільтрах для видалення пилу. Коли викиди SO_2 значні, використовується сухий скрубер з вдуванням вапна. Також застосовується видалення SO_2 та пилу за допомогою мокрих скруберів та мокрого електростатичного фільтра. Допалювачі руйнують органічні сполуки, у тому числі ПХДД/Ф (у вторинному виробництві міді) шляхом термічного окиснення. Вдування вапна та/або активованого вугілля перед рукавним фільтром застосовується, якщо необхідно, для зниження викидів діоксинів.

Для мінімізації дифузних викидів використовується кілька технологій:

- горловини обертових анодних печей оснащені кришками для зменшення дифузних викидів у процесі експлуатації;
- застосовуються витяжки та системи вентиляції для уловлювання димів у секціях завантаження та випускання анодних печей;
- вентиляційні гази у секціях завантаження та випускання шлаку анодної печі можуть бути використані як повітря для згорання в пальнику анодної печі.

Регенерація тепла відхідних газів рафінувальної печі використовується для нагрівання/плавлення твердого матеріалу в анодній шахтній печі. Гарячі гази з анодних печей також використовуються для сушіння або на інших етапах технологічного процесу. Гази, вилучені з витяжок, можна використовувати як підігріте повітря для згорання.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів у повітря.
- Уловлений пил повертається у процес виплавки.
- Зменшення енергоспоживання.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На одному заводі з виплавки первинної міді зменшення дифузних викидів з анодних печей та каруселі для лиття анодів на 70% було досягнуто шляхом заходів, вжитих для обмеження та видалення дифузних викидів із зони. Відхідні гази з плавильної печі (Contimelt) направляються вгору через шахту та підігрівають шихту перед виходом з верхньої частини печі. Відхідні гази можуть частково спалюватися в газовій фазі анодної печі. Гарячі відхідні гази анодної печі використовуються для сушіння концентратів.

У Atlantic Copper, Уельва (завод із виплавки первинного металу) встановлено три рафінувальні печі. Відхідні гази вогняного рафінування очищаються у трьох мокрих скруберах, по одному на кожну піч (потік 25 000 $Нм^3$/год), а потім у мокрому електростатичному фільтрі. Уловлені тверді частки являють собою компоненти природного газу, що розклався та не згорів, конденсованого металу й оксидів; вони рециркулюються у процес. Повідомлені рівні < 8 мг/$Нм^3$ для пилу, < 60 мг/$Нм^3$ для NO_X та < 150 мг/$Нм^3$ для SO_2.

У Aurubis в Гамбурзі (завод із виплавки первинного металу) гази анодної печі направляються в камеру допалювання, а гази з вентиляційних ковпаків додаються для спалювання і, на другому етапі, як охолоджувальне повітря. Після подальшого охолодження у повітряно-газовому холодильнику трубчастого типу гази знепилюються в рукавному фільтрі (до рівня концентрації пилу зазвичай менше ніж 5 мг/$Нм^3$) і викидаються через димову трубу в атмосферу. Осаджений пил рециркулюється в піч зваженої плавки. У 2009 році завершено проєкт з уловлювання та очищення дифузних викидів у зоні анодної печі та ливарної машини. Він полягав у закритті частин установки, всмоктуванні відхідних газів і їх очищенні в новому рукавному фільтрі з вдуванням вапна. Здійснюються безперервні вимірювання концентрації пилу та SO_2. Повідомлені рівні концентрації пилу у діапазоні 0,5–10 мг/$Нм^3$ (в середньому за пів години) та у діапазоні < 0,5–3,3 мг/$Нм^3$ (в середньому за день). Повідомлені рівні SO_2 у діапазоні < 50–1050 мг/$Нм^3$ (в середньому за пів години) та у діапазоні 50–180 мг/$Нм^3$ (в середньому за день). SO_2 в основному утворюється на етапі окиснення, тому викиди SO_2 набагато вищі на етапі окиснення, ніж на етапі відновлення.

На підприємстві Aurubis, Пирдоп (завод із виплавки первинного металу) відхідні гази анодної печі проходять через камеру допалювання, а далі піддаються десульфуризації в сухому скрубері та знепиленню в рукавному фільтрі в централізованій системі очищення газу (див. Розділ 3.3.3.6).

У Aurubis, Люнен, (завод із виплавки вторинного металу) завантажувальні отвори, отвори для випускання шлаку та льотки обладнані витяжними ковпаками та системами вентиляції. Вся будівля анодного заводу вентилюється, а відхідні гази очищаються на окремій установці з фільтрування потужністю 300 000 $м^3$/год. Вміст неочищеного газу становить приблизно 1000 мг/$м^3$. Відхідні гази анодних печей охолоджуються в котлах-утилізаторах, знепилюються у шести рукавних фільтрах і виходять в атмосферу через дві димові труби.

Здійснюються безперервні вимірювання концентрації пилу та SO_2 та NO_X. Повідомлені рівні концентрації пилу < 0,5–6,8 мг/Нм^3 (в середньому за пів години) та < 0,5–2,9 мг/Нм^3 (в середньому за день). Повідомлені рівні SO_2 < 50–1620 мг/Нм^3 (в середньому за пів години) та < 50–450 мг/Нм^3 (в середньому за день). Рівень ПХДД/ПХДФ вимірюється один раз на три роки (три 6–годинних проби), та зареєстровано рівні нижче 0,05 нг МТЕ/Нм^3.

У Aurubis, Олен, (завод із виплавки вторинного металу) застосовується процес Contimelt. Газоподібні продукти згорання з плавильної печі направляються вгору через шахту та підігрівають шихту перед виходом з верхньої частини печі. Гази печі для дражніння допалюються для окиснення CO в CO_2. Потім газовий потік з печі для дражніння проходить через котли-утилізатори для регенерації тепла. Газовий потік із плавильної печі спочатку обробляється на установці для швидкого охолодження та циклоні перед проходженням через котел-утилізатор. Він очищається разом з газами з печі для дражніння на установці рукавних фільтрів, після чого викидається в атмосферу через димову трубу. Перед рукавним фільтром встановлена установка очищення вапном та активованим вугіллям для зменшення викидів діоксинів. Вимірювання викидів здійснюються раз на місяць. Повідомлені рівні 1–6,7 мг/Нм^3 для пилу, < 1–427 мг/Нм^3 для SO_2 та 178–500 мг/Нм^3 для NO_X. Вимірювання ПХДД/Ф проводяться тричі на рік (6-годинні проби). Повідомлені рівні ПХДД/Ф 0,03–0,5 нг МТЕ/Нм^3. У Таблиці 3.46 надано всі вимірювання ЗЛОС, проведені у 2013 році.

Таблиця 3.46: Викиди ЗЛОС від Aurubis, Олен, у 2013 р.

Місяць	**ЗЛОС (мг/Нм^3)**
Січень	9
Лютий	19
Березень	26
Квітень	10
Травень	14
Червень	10
Липень	6
Серпень	23
Вересень	28
Жовтень	13
Листопад	50
Грудень	22
Примітка: Дані надані оператором заводу під час завершальної зустрічі ТРГ щодо виробництва кольорових металів.	

На підприємстві Boliden, Гар'явалта, відхідні гази частково спалюються в газовій фазі анодної печі. Камера допалювання з'єднана з піччю для забезпечення потрапляння CO в рукавні фільтри. Частина гарячих відхідних газів анодної печі використовується для сушіння нікелевих концентратів. Решта відхідних газів після охолодження знепилюється у рукавному фільтрі, а потім направляються в димову трубу. Вилучений пил рециркулюється в піч зваженої плавки за допомогою пневматичного конвеєра. Вентиляційні отвори на даху з'єднані з рукавним фільтром вентиляції конвертерної зони для уловлювання твердих часток.

На підприємстві Boliden, Рьоннскяр, відхідні гази, що утворюються під час вогняного рафінування, знепилюються в рукавному фільтрі та викидаються через димову трубу в атмосферу; вентиляційні гази також обробляють у цій системі. Рівень концентрації пилу вимірюється раз на місяць. Повідомлений рівень концентрації пилу < 1 мг/Нм^3. Концентрації SO_2 та NO_X вимірюються один раз на рік. Повідомлені рівні SO_2 < 500 мг/Нм^3 та NO_X < 400 мг/Нм^3.

На підприємствах KGHM Глогув 1 і Глогув 2 (заводи з виплавки первинного металу) відхідні гази анодної печі допалюються, а потім змішуються з вентиляційними газами з випускних зон і спільно обробляються в системі напівсухої десульфуризації, після чого застосовуються рукавні фільтри для уловлювання викидів SO_2 та пилу. Горловини

обертових анодних печей оснащені спеціальними кришками для зменшення дифузних викидів у процесі експлуатації. Крім того, секції завантаження та випускання всіх анодних печей мають системи вентиляції, газ з яких піддається знепиленню та десульфуризація разом з основним потоком газів анодних печей. Вимірювання викидів здійснюються раз на місяць. Повідомлені рівні 1–5 мг/Нм^3 для пилу та 10–200 мг/Нм^3 для NO_X. ПХДД/Ф у відхідних газах рафінувальної печі перевірялися вибірково, а концентрації склали 0,036 нг МТЕ/м^3 (під час рафінування) та 0,121 нг МТЕ/м^3 (під час плавлення мідного брухту). Для викидів SO_2 повідомляється про діапазон 10–100 мг/Нм^3 у Глогуві 1 та 20–200 мг/Нм^3 у Глогуві 2.

У Легниці (заводи з виплавки первинного металу) відхідні гази анодної печі допалюються та знепилюються в рукавному фільтрі, куди вдувається сухе вапно для десульфуризації. Печі оснащені спеціальними кришками для зменшення дифузних викидів у процесі експлуатації. Крім того, секції завантаження, випускання та спускання шлаку анодних печей мають системи вентиляції, вентиляційне повітря з яких частково використовується як повітря для згорання в пальниках анодних печей і частково додається в основний потік анодних відхідних газів (переважно на етапі відновлення) або після камери допалювання. Очищений газ, що викидається, містить: 0,2–1 мг пилу/Нм^3, 0,2–300 мг SO_2/Нм^3 та 10–100 мг NO_X/Нм^3. Зона лиття також обладнана системою вентиляції, з якої всмоктуване повітря, що містить тільки пари, викидається через місцеву димову трубу (див. Розділ 3.3.3.6).

На підприємстві Metallo-Chimique, Берсе, (завод із виплавки первинного металу) обертовий конвертер з верхнім дуттям використовується для вогняного рафінування (див. Розділ 3.3.4.3). Відхідні гази з наявної анодної печі обробляються у допалювачі та фільтруються рукавним фільтром. Нова анодна піч, ізольована для уловлювання викидів пилу під час процесів завантаження та розвантаження (через льотку). Відхідні гази проходять через камеру допалювання й очищаються в рукавному фільтрі. Кількісні дані щодо викидів пилу збираються та публікуються один раз на місяць. Можна підтримувати рівень концентрації пилу < 5 мг/Нм^3, інформацію про функціонування див. у Таблиці 3.49.

На підприємстві Montanwerke Brixlegg (завод із виплавки первинного металу) відхідні гази очищаються в рукавному фільтрі (150 000 м^3/год). Тепло регенерується у паровому котлі-утилізаторі. Секції завантаження та випускання анодної печі обладнані системами вентиляції. Вихлопні гази очищаються у рукавному фільтрі. Повідомлені рівні SO_2 20–50,4 мг/Нм^3, пилу 0,6–3,8 мг/Нм^3 та NO_X 4,5–213 мг/Нм^3.

Дані про функціонування та ефективність показані у Таблиці 3.47 для виробництва первинної міді та у Таблиці 3.49 для виробництва вторинної міді.

Таблиця 3.47: Дані про функціонування та ефективність щодо заводів з плавлення та рафінування первинної міді (частина 1)

Завод	**Atlantic Copper**	**Aurubis, Гамбург**	**Aurubis, Пирдоп**	**Boliden, Гар'явалта**
Тип печі	3 обертові печі, 2 розливних каруселі. Потужність лиття 70 т/год та 40 т год	2 обертові печі, 1 розливна карусель (80 т/год)	2 обертові печі, 1 розливна карусель	2 обертові печі, 1 розливна карусель (60–80 т/год)
Відновник	Природний газ	Природний газ	Пропан-бутан	Пропан
Джерело	Відхідні гази печі	Відхідні гази печі, Вентиляційний газ	Відхідні гази печі, Вентиляційний газ	Відхідний газ, Вентиляційні отвори на даху
Очищення газу	Мокрий скрубер та мокрий електростатичний пиловловлювач	Камера допалювання, повітряно-газовий холодильник трубчастого типу, рукавний фільтр	Камера допалювання, сухий скрубер та рукавний фільтр як частина загальної системи очищення вторинного газу (частина централізованої системи, див. Розділ 3.3.3.6)	Камера допалювання, охолодження, рукавний фільтр з вдуванням вапна (частина централізованої системи, див. Розділ 3.3.3.6)
Макс. швидкість потоку ($Нм^3$/год)	47 000	70 000	Див. Розділ 3.3.3.6	Див. Розділ 3.3.3.6
Параметр	**Рівні викидів (мг/$Нм^3$)**			
Періодичність моніторингу	5 разів на рік	Безперервний	Безперервний	Безперервний
Пил	Не характерно	< 0,5–9,5 (середнє значення за пів години) < 0,8–3,3 (середньодобове значення) 0,5–2 (в середньому за рік)	Див Розділ 3.3.3.6Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
Періодичність моніторингу	5 разів на рік	Безперервний	Безперервний	Безперервний
SO_2	< 10–337 50 (*)	< 50–1050 (середнє значення за пів години) < 50–180 (середньодобове значення) 80–150 (в середньому за рік)	Див Розділ 3.3.3.6Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
NO_X	< 10–56 35 (*)	Не повідомлено	Не повідомлено	Не повідомлено
Періодичність моніторингу	Немає даних	4 рази на рік (3*30 хв)	Див Розділ 3.3.3.6Централізовані системи	Див Розділ 3.3.3.6 Централізовані системи
Cu	Не виміряно	0,03–1,5	Див. Розділ 3.3.3.6	Див. Розділ 3.3.3.6
Pb		< 0,01–0,52		
As		< 0,01–0,18		
Cd		< 0,02		

Таблиця 3.48: Дані про функціонування та ефективність щодо заводів з плавлення та рафінування первинної міді (частина 2)

Компанія	**Boliden, Рьоннскяр**	**KGHM Глогув 1**	**KGHM Глогув 2**	**KGHM Легниця**
Тип печі	2 обертові печі, 2 розливних каруселі (100 т/год)	2 обертові печі, одна ливарна машина з 2 розливними каруселями	2 обертові печі, одна ливарна машина з 2 розливними каруселями та 2 відбивні печі з однією ливарною машиною з однією розливною каруселлю	2 обертові печі, одна ливарна машина з 2 розливними каруселями
Відновник	Аміак	Природний газ	Природний газ	Природний газ
Джерело	Відхідний газ, Вентиляційний газ	Відхідний газ, Система вентиляції секцій завантаження та випускання та зони лиття	Відхідний газ, Система вентиляції секцій завантаження та випускання та зони лиття	Відхідний газ Система вентиляції секцій завантаження, випускання та спускання шлаку
Очищення газу	Рукавний фільтр	Допалювання, напівсуха десульфуризація, рукавний фільтр	Допалювання, напівсуха десульфуризація, рукавний фільтр	Допалювання, суха десульфуризація, рукавний фільтр
Макс. швидкість потоку ($Нм^3$/год)	66 200	38 000	102 000	40 000
Параметр	**Рівні викидів ($мг/Нм^3$)**			
Періодичність моніторингу	12 разів на рік	12 разів на рік (1 година)	12 разів на рік (1 година)	12 разів на рік (1 година)
Пил	< 0,02–0,89 0,22 (*)	1–5 1,77 (*)	1–5 1,47(*)	0,2–1 0,7 (*)
Періодичність моніторингу	Раз на рік	12 разів на рік (1 година)	12 разів на рік (1 година)	12 разів на рік (1 година)
SO_2	1–532 73,4 (*)	0–100 34,4 (*)	20–200 98,3 (*)	0,12–355 38,5 (*)
NO_X	Не повідомлено	10–200 20,7 (*)	15–170 117 (*)	0,4–150 25 (*)
Періодичність моніторингу	Двічі на рік	12 разів на рік (1 година)	12 разів на рік (1 година)	12 разів на рік (1 година)
Cu	0,005–0,45	0,16–3,38	0,04–0,4	0,01–0,158
Pb	Не повідомлено	0,06–1,33	0,01–1	0,01–0,135
As	Не повідомлено	0,07–0,9	0,05–1	0,0–0,115
Cd	Не повідомлено	0–0,002	0–0,01	Не повідомлено

(*) Середнє значення вимірювань, здійснених за рік.
Примітка: Викиди металів значною мірою залежать від складу сировини, що використовується, типу технологічного процесу та ефективності системи фільтрування пилу.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 3.49: Дані про функціонування та ефективність щодо заводів з плавлення та рафінування вторинної міді

Компанія	Aurubis, Люнен	Aurubis, Олен	Metallo-Chimique, Берсе	Montanwerke Brixlegg
Тип печі	1 стаціонарна піч, 1 нахильна піч, 1 розливна карусель	Contimelt (безперервний процес плавки та рафінування), Плавильна шахтна піч, Піч для дражніння, 2 розливні каруселі	2 обертові печі, 2 розливні каруселі	1 відбивна піч, 1 розливна карусель
Відновник	Деревина 20 кг/т Cu Природний газ 10 $м^3$/т Cu	Природний газ	Природний газ	Природний газ
Джерело	Відхідний газ, Система витяжок та вентиляції завантажувальних отворів, отворів для випускання шлаку та льоток, Вентиляція будівлі анодного заводу	Відхідний газ з плавильної печі, Відхідний газ з печі для дражніння,	Відхідний газ, Система вентиляції	Відхідний газ, Система вентиляції
Очищення газу	Котел-утилізатор + рукавний фільтр Рукавний фільтр, вдування вапна	Установка швидкого охолодження, циклон, котел-утилізатор, рукавний фільтр Допалювання, котел-утилізатор, рукавний фільтр Додавання вапна та активованого вугілля	Наявне: Допалювання + рукавний фільтр Нове: Камера допалювання + холодильник + рукавний фільтр	Котел-утилізатор + рукавний фільтр
Макс. швидкість потоку ($Нм^3$/год)	150 000	120 000	116 700	150 000
Параметр	**Рівні викидів (мг/$Нм^3$)**			
Періодичність моніторингу	Безперервний	Раз на місяць (1*60 хв)	Двічі на рік (4 години)	Безперервний Періодичний
Пил	< 0,5–6,8 (в середньому за пів години) < 0,5–2,9 (середньодобове значення) 2,1 ($9^{0-й}$ процентиль, середньодобове значення) 0,9 (в середньому за рік)	< 1–6,7 < 1–2,1 (*)	1–1,3 1,15 (*)	2 (середньодобове значення*) 0,6–3,8 (кожні 3 роки 3x0,5 годин**)
Періодичність моніторингу	Безперервний	Раз на місяць (1*60 хв)	Не повідомлено	(Кожні 3 роки 3x0,5 годин**)
SO_2	< 50–1620 (середнє значення за пів години) < 50–450 (середньодобове значення), 320 ($9^{0-й}$ процентиль, середньодобове значення) 190 (середньорічне значення)	50–427 70–260 (***)	Не повідомлено	20–50,4 (кожні 3 роки 3x0,5 годин**)
NO_X	< 50–350 (середнє значення за пів години) < 50–210 (середньодобове значення) 105 ($9^{0-й}$ процентиль середньодобового значення) < 50 (середньорічне значення)	178–500 352–460 (***)	Не повідомлено	4,5–213 (кожні 3 роки 3x0,5 годин**)

Періодичність моніторингу	Кожні 3 роки (6*0,5 годин)	Раз на місяць (1*60 хв)	Двічі на рік (4 години)	Кожні 3 роки 3x0,5 годин**
Cu	0,19–0,43	0,02–0,6	< 0,0005–0,2703	0,5
Pb	0,07–0,18	< 0,01–0,2	< 0,0005–0,1476	0,1
As	< 0,01–0,03	0,01–0,6	< 0,0005–0,0312	0,0019
Cd	0,001–0,003	< 0,2	< 0,0005–0,0111	0,01
Ni	< 0,01–0,01		< 0,0005–0,0077	0,0014
Sn	< 0,017–0,054	< 0,2	< 0,001–0,017	0,0028
Sb	0,001–0,003		< 0,0005–0,004	< 0,0001
ЗЛОС	7–38	10–50	Не повідомлено	0,2–15,9
Періодичність моніторингу	Не повідомлено	Три рази на рік (6 годин)	Немає даних	(Кожні 3 роки 3x3 годин**)
ПХДД /ПХДФ	0,039–0,050 нг МТЕ/Нм^3	0,03–0,5 нг МТЕ/Нм^3	Не повідомлено	0,142–0,209 нг МТЕ/Нм^3

* Безперервні вимірювання.
** Періодичні вимірювання.
(***) Середнє значення вимірювань, здійснених за рік.
Примітка: Викиди металів значною мірою залежать від складу сировини, що використовується, типу технологічного процесу та ефективності системи фільтрування пилу.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012], [385, Germany 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Стічні води утворюються від мокрого скрубера та потребують додаткового очищення перед скиданням, а також утворюються тверді відходи, що підлягають утилізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології застосовні до нових і наявних установок, залежно від вихідного матеріалу, печі та відновника, що використовуються.

Застосування мокрого скрубера може бути обмежено у наступних випадках:

- дуже високі швидкості потоку відхідних газів через вплив на різні компоненти довкілля (значні об'єми відходів та відпрацьованих вод);
- у посушливих районах через потребу у великій кількості води, та в очищенні відпрацьованих вод, і через пов'язаний з цим вплив на різні компоненти довкілля.

Економічні аспекти
Приблизно 7 мільйонів євро було інвестовано в Aurubis у Гамбурзі у заходи з уловлювання дифузних викидів з анодної печі та розливної каруселі.

Близько 3,4 млн євро було інвестовано в Atlantic Copper на зниження рівня викидів, в тому числі на встановлення мокрого електростатичного фільтра.

Близько 2 мільйонів євро було інвестовано в Montanwerke Brixlegg у новий рукавний фільтр потужністю 150 000 Нм^3/год, в тому числі чотири лінії фільтрації, вентилятор, димохід, монтаж та трубопровід.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія сировини.

Приклади заводів
Atlantic Copper, Уельва (Іспанія), Aurubis, Гамбург та Люнен (Німеччина), Aurubis, Олен (Бельгія), Boliden, Гар'явалта (Фінляндія), Boliden, Рьоннскяр (Швеція), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 та Легниця (Польща), Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія) та Montanwerke Brixlegg (Австрія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.3.6 Централізоване уловлювання та зниження вторинних викидів від печей та допоміжних пристроїв у виробництві первинної міді

Опис
Вторинні гази з різних джерел на деяких заводах із виплавки первинної міді уловлюються централізовано з використанням технологій, описаних у Розділі 2.4, й обробляються в централізованій системі очищення газу (сухий або мокрий скрубер з подальшим проходженням через рукавний фільтр).

Технічний опис
На деяких плавильних заводах, особливо там, де експлуатуються конвертери Пірса-Сміта, уловлювання та зниження вторинних викидів здійснюються централізовано.

Вторинні гази з різних точок заводу з виплавки первинної міді, вторинних витяжних ковпаків конвертерів, вентиляційних ковпаків печі зваженої плавки та електричної шлакової печі, вентиляції льоток та жолобів металоплавильних печей та рафінувальних печей, вентиляційних ковпаків анодних печей та розливної каруселі уловлюються у загальній системі.

Як описано в Розділах 3.3.2 та 3.3.3, вміст SO_2 знижується через використання сухого скрубера з абсорбентом або мокрого скрубера, а пил видаляється в рукавному фільтрі перед викидом димового газу в атмосферу через димову трубу.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення дифузних викидів пилу та SO_2.
- Уловлювання та очищення багатьох невеликих потоків вторинних газів, де окреме очищення було б неможливим.
- Потенційно вища ефективність очищення через забезпечення безперервного та оптимізованого потоку та більш стабільної концентрації забруднювальних речовин.
- Змішування вологих газів з гарячими газами дозволяє здійснювати очищення в рукавному фільтрі, інакше вологі гази необхідно обробляти в скрубері.
- Змішування холодних газів і гарячих газів з різних джерел дозволяє перевести певні параметри, такі як Pb й As, з газової фази в пилову фазу. Це дозволяє здійснювати ефективне очищення в рукавному фільтрі, що інакше було б неможливо.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На одній установці (Aurubis, Гамбург, завод із виплавки первинного металу) встановлено загальну систему уловлювання та очищення вторинного газу із загальним потоком газу 930 000 $Нм^3$/год, включно з таких джерел: вторинні витяжні ковпаки конвертера; вентиляційні ковпаки печі зваженої плавки та електричної шлакової печі; вентиляція льоток та жолобів металоплавильних печей, електричної шлакової печі та анодних печей; вентиляційні ковпаки анодних печей; та вентиляція процесу обробки відходів, що підлягають переробленню, та сортувальної установки.

Уловлені гази очищуються в рукавному фільтрі. Для очищення від SO_2 перед рукавним фільтром у систему вдувається сухе вапно. Частина вапна, що містить пил з рукавного фільтра, рециркулюється та знову вдувається, а решта виводиться та рециркулюється в піч зваженої плавки; за годину уловлюється 700 кг пилу. Пил повторно використовується у металоплавильній печі.

Актуальні параметри наведено в Таблиці 3.50 нижче.

Таблиця 3.50: Актуальні параметри централізованої системи уловлювання та зниження викидів газу на підприємстві Aurubis, Гамбург

Умови на вході	
Макс. розрахунковий об'єм Коливання об'єму Абсорбент для видалення SO_2 Середній вміст пилу та абсорбенту Діапазон SO_2 на вході	930 000 $Нм^3$/год ~ 500 000–880 000 $Нм^3$/год Вапняне молоко 1500 мг/$Нм^3$ 100–3000 мг/$Нм^3$
Умови на виході	
Коливання об'єму викиди пилу	~ 500 000–880 000 $Нм^3$/год < 0,5–10 мг/$Нм^3$ в середньому за пів години (95% виміряних значень у 2011 році були < 1) 0,5–4,5 мг/$Нм^3$ в середньому за день
Поглинання сірки Діапазон SO_2 на виході	~ 50–70% < 50–1275 мг/$Нм^3$ в середньому за пів години (95% виміряних значень у 2011 році були < 525) < 50–494 мг/$Нм^3$ в середньому за день 300–430 мг/$Нм^3$в середньому за рік
Джерело: [383, Copper subgroup 2012], [378, Industrial NGOs 2012], [385, Germany 2012]	

Різні джерела викидів мають широкий діапазон концентрацій SO_2, оскільки періодичний характер роботи призводить до коливань концентрації SO_2 у відхідних газах. Вимоги щодо мінімізації потоку відхідних газів збільшують коливання параметрів викидів.

На іншій установці (Aurubis, Пирдоп, завод із виплавки первинного металу) встановлено загальну систему уловлювання та очищення вторинного газу із загальним потоком газу 450 000 $Нм^3$/год, включно з таких джерел: вторинні витяжні ковпаки конвертера; вентиляційні ковпаки печі зваженої плавки; вентиляція штейнової та шлакової льоток та жолобів печі зваженої плавки; технологічні та вторинні гази анодних печей; витяжна система на даху будівлі плавильного заводу.

Гази очищаються в центральній системі очищення газу та пилу, що складається з наступних компонентів.

- Напівсухий скрубер (розпилювальна вапняна сушарка), призначений для вдування вапняного молока у потік відхідних газів з анодної печі для покриття рукавів фільтру гашеним вапном.
- Мокрий скрубер, призначений для видалення SO_2 з газового потоку, що містить: комбіновані конвертерні вторинні гази, гази зі склепіння конвертера, а також гази з льотки печі зваженої плавки та вентиляційні гази даху.
- Рукавний фільтр, призначений для видалення твердих часток із комбінованих вихлопних газів анодної печі, вторинного конвертерного газу, вентиляційного газу з даху плавильного заводу, а також газових потоків від випускання шлаку та штейну з печі зваженої плавки. Потік на вході в рукавний фільтр є отриманою сумішшю потоків мокрого скрубера та вихідних потоків з розпилювальної сушарки. Рукавний фільтр складається з шести паралельних відсіків, розташованих у два ряди по три відсіки. Система очищення мішків повністю автоматизована та заснована на пульсації повітря низького тиску.
- Станція підготування вапна, що виробляє все вапняне молоко необхідне для вищезгаданих процесів.

Актуальні параметри наведено в Таблиці 3.51 нижче.

Таблиця 3.51: Актуальні параметри централізованої системи уловлювання та зниження викидів газу на підприємстві Aurubis, Пирдоп

Умови на вході	
Сухий скрубер	
Об'єм газу Температура Концентрація пилу SO_2	70 000–110 000 $Нм^3$/год 250–450°C 250–1000 мг/$Нм^3$ 0–900 мг/$Нм^3$, пік до 1500 мг/$Нм^3$
Мокрий скрубер	
Об'єм газу Температура Концентрація пилу SO_2 Додавання вапняного молока	82 000–320 000 мг/$Нм^3$ 10–60°C 40–350 мг/$Нм^3$ 1000–3900 мг/$Нм^3$, пік до 15 000 мг/$Нм^3$ 550 кг вапна/год
Рукавний фільтр	
Об'єм газу	450 000 $Нм^3$/год
Умови на виході	
Діапазон SO_2 Утворений гіпс	100–625 мг/$Нм^3$ в середньому за день ($9^{0–й}$ процентиль середньодобових значень 377 мг/$Нм^3$ у 2011 р.) 290 мг/$Нм^3$ в середньому за рік 48–50 т/день
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012], [383, Copper subgroup 2012]	

Концентрація пилу та SO_2 безперервно вимірюється безпосередньо у димовій трубі. Пил вимірюється за допомогою двопроменевого аналізатора з перемінним світлом. SO_2 вимірюється за допомогою аналізатора диференціальної оптичної абсорбційної спектроскопії (DOAS (differential optical absorption spectroscopy)).

Відмінності у значеннях викидів обумовлені різними вторинними та первинними (вихлопні гази анодної печі) джерелами, змінами умов на вході та концентрацій пилу та SO_2, а також періодичним характером роботи.

На підприємстві Boliden, Гар'явалта, встановлена загальна система уловлювання та очищення вторинних газів (рукавний фільтр із вдуванням вапна) із загальним потоком газу 900 000 $Нм^3$/год, включно з таких джерел: проліт конвертера та вентиляційні ковпаки конвертера; анодна піч (коли димові гази не спрямовуються на сушіння концентрату); вентиляційні гази з печей зваженої плавки міді та нікелю та зон нікелевих електричних печей.

Рівні викидів показані у Таблиці 3.52.

Таблиця 3.52: Викиди від централізованої системи уловлювання та зниження викидів газу на підприємстві Boliden, Гар'явалта

Параметр	Викиди (мг/Нм^3)			Вимірювання
	Мін.	У середньому	Макс.	
Потік	317 200	665 000	890 000	Безперервний (середньодобове значення)
Пил	0,01	0,14	5	
SO_2	22	407	НХ	
Cu	< 0,01	< 0,01	0,2	12 разів на рік (середнє значення за період відбору проб)
Ni	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Zn	< 0,01	< 0,01	0,09	
As	< 0,01	< 0,01	0,2	
Pb	< 0,01	< 0,01	0,1	
Cd	< 0,01	< 0,01	0,01	
Hg	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Примітка: НХ = Не характерно *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]				

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії та експлуатаційних витрат через великий об'ємний потік, а також експлуатацію та обслуговування багатьох клапанів та вентиляторів.
- Встановлення та обслуговування високоефективних систем управління та вимірювання для забезпечення оптимальної роботи.
- Споживання вапна та води.
- Отриманий гіпс необхідно повторно використовувати в процесі виплавки у якості флюсу з високим вмістом кальцію для утворення шлаку або утилізувати.
- Утворюються стічні води, що потребують додаткового очищення перед скиданням, і ті, які утворюють тверді відходи, що підлягають утилізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Зазвичай застосовується для нових заводі та для наявних заводів, хоча застосовність залежить від конкретних умов об'єкта, та необхідно враховувати конструкцію та розміщення наявних установок.

Економічні аспекти
Інвестиційні витрати на підприємстві Aurubis, Гамбург, склали 10 мільйонів євро плюс близько 7 мільйонів євро на заходи з уловлювання дифузних викидів з анодної печі та розливної каруселі. Споживання енергії становить 13,6 ГВт-год/рік.

Капітальні витрати на систему очищення вторинного газу на підприємстві Aurubis, Пирдоп, склали понад 12,5 млн євро. Споживання енергії становить 1,62 МВт/год. А споживання вапна — 550 кг/год.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів з багатьох джерел.
- Економія сировини.
- Підвищення ефективності уловлювання викидів та зниження кількості забруднювальних речовин завдяки безперервному та оптимізованому потоку.

Приклади заводів
Aurubis, Гамбург (Німеччина), Aurubis, Пирдоп (Болгарія) та Boliden, Гар'явалта (Фінляндія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.3.7 Технології запобігання та зменшення викидів, що утворюються у процесі лиття анодів, у виробництві первинної міді

Лиття розплавленої міді з анодної печі здійснюється в розливну карусель або на установці безперервного лиття. Установка безперервного лиття використовується лише за межами ЄС-28, у Японії та Індонезії.

Найчастіше використовуваною технологією є розливна карусель, що складається з низки ливарних форм, що мають форму аноду, розташованих по колу платформи, що обертається. Розплавлений метал спочатку надходить у розливний пристрій, звідки прямує в проміжний ківш, що заповнює один або два ливарні ковші. Ливарні ковші заливають метал у ливарні форми, а карусель обертається, пропускаючи аноди через ряд водяних струменів для їхнього охолодження.

Опис
Технології, які слід розглянути:

- закритий розливний пристрій;
- закритий проміжний ківш;
- витяжки над розливним ковшем та ливарною каруселлю (її частиною);
- витяжна система на даху у поєднанні з очищенням у рукавному фільтрі;
- скрубер або краплевловлювач для видалення твердих часток з вентиляційних газів з розливної каруселі.

Технічний опис
Критий розливний пристрій, закритий проміжний ківш, витяжки над ливарними ковшами та розливною каруселлю, а також витяжна система даху використовуються для запобігання та зменшення дифузних викидів під час лиття. Підтримується ефективність системи видалення витяжних ковпаків та покриття. Уловлені дими із зони лиття зазвичай поєднують з відхідними газами анодної печі та потім очищають у рукавних фільтрах (див. Розділ 3.3.3.6).

Вологі вентиляційні гази з охолоджувального ковпака розливної каруселі очищаються в скрубері або краплевловлювачі для видалення твердих часток. Тверді частки зі скрубера рециркулюються назад на плавильний завод.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення дифузних викидів у повітря.
- Уловлений пил/тверді частки рециркулюються до процесу виплавки.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємстві Atlantic Copper лиття анодів здійснюється за допомогою двох повністю автоматизованих розливних каруселей з 28 та 20 ливарними формами. Швидкість лиття становить 70 т/год та 40 т/год. Водяна пара, що утворюється та вловлюється під час лиття, направляється в краплевловлювач для збору твердих часток, а потім газ (47 000 $Нм^3$/год) викидається в атмосферу. Повідомлені викиди пилу між 4 мг/$Нм^3$ та 15 мг/$Нм^3$. Вода для охолодження анодів використовується у замкнутій системі з градирнею.

На підприємстві Aurubis у Гамбурзі лиття анодів здійснюється за допомогою повністю автоматизованій розливної каруселі безперервного лиття з 24 ливарними формами. Швидкість лиття становить 80 т/год. Водяна пара, що утворюється під час лиття, відводиться з системи, тверді частки осаджуються в краплевловлювачі, а потім газ, що містить менше ніж 5 мг твердої речовини/$Нм^3$ в середньому за день, викидається в атмосферу. У 2009 році завершено проєкт з уловлювання та очищення неорганізованих викидів у зоні анодної печі та ливарної машини. Частина цеху лиття анодів ізольована. В рамках цього проєкту було досягнуто зменшення дифузних викидів від анодних печей та каруселі для лиття анодів до 70%. Відхідні гази анодної печі очищаються разом з сухими вихлопними потоками ливарної системи в рукавному фільтрі з вдуванням вапняного молока.

На підприємстві Aurubis, Люнен, вся будівля анодного заводу вентилюється, а відхідні гази очищаються на установці рукавних фільтрів потужністю 300 000 $м^3$/год.

На підприємстві Aurubis, Гар'явалта, лиття анодів здійснюється за допомогою повністю автоматизованої розливної каруселі безперервного лиття з 28 ливарними формами. Швидкість лиття зазвичай становить 70 т/год. Вентиляційні гази з охолоджувального ковпака розливної каруселі очищаються у вихровому скрубері для видалення твердих часток зі швидкістю потоку 15 000 $Нм^3$/год. Тверді частки зі скрубера відводяться в замкнутий цикл циркуляції охолоджувальної води для лиття анодів і періодично повертаються в процес виплавки. Вимірювання концентрації пилу після скруберу проводяться двічі на рік. Повідомлений рівень концентрації пилу 20 мг/$Нм^3$.

На підприємстві Metallo-Chimique, Берсте, нова розливна карусель є повністю автоматизованою розливною каруселлю безперервного лиття. Вентиляційні гази з охолоджувального ковпака розливної каруселі очищаються у рукавному фільтрі. Підтримуються рівні концентрації пилу нижче 5 мг/$Нм^3$. Вода для охолодження анодів використовується у замкнутій системі. Твердим часткам з води для охолодження анодів дають осісти та повертають до печей.

На підприємствах KGHM у Глогуві 1 та Легниці лиття анодів здійснюється за допомогою повністю автоматизованої ливарної машини з двома каруселями та двома комплектами по 16 ливарних форм. У Глогуві 2 є дві розливні каруселі (розливна карусель безперервного лиття з 28 ливарними формами для стаціонарних анодних печей і ливарна машина з двома каруселями та двома комплектами по 18 ливарних форм для обертових анодних печей). Секції випускання всіх анодних печей мають системи вентиляції, газ з яких піддається знепиленню та десульфуризується разом з основним потоком газів анодних печей. У процесі лиття розплавлена мідь з анодної печі надходить через закритий жолоб і розливний пристрій у зону лиття, обладнану системою вентиляції, з якої всмоктуване повітря, що містить тільки пари, викидається через місцеву димову трубу.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Від скруберів утворюються відпрацьовані води, які потребують додаткового очищення для запобігання скиданню металів у воду.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології уловлювання відхідних газів і системи подальшого фільтрування застосовні для нових і наявних установок залежно від конструкції та наявності місця для ливарного обладнання.

Економічні аспекти
Приблизно 7 мільйонів євро було інвестовано у заходи з уловлювання дифузних викидів з анодної печі та розливної каруселі в Aurubis у Гамбурзі.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія сировини.

Приклади заводів
Atlantic Copper, Уельва (Іспанія), Aurubis, Гамбург та Люнен (Німеччина), Boliden, Гар'явалта (Фінляндія), Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 та Легниця (Польща).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.3.8 Оптимізований електроліз у виробництві первинної та вторинної міді

Опис
Оптимізований електроліз (електролітичне рафінування та електровідновлення) передбачає використання комбінації технологій для зменшення викидів та споживання енергії.

Технології, які слід розглянути:

- оптимізована конструкція камери, використання катодних основ із неіржавкої сталі або мідних матриць;
- високий рівень автоматизації (заміна катода/анода та операції обдирання) та контроль якості;
- кришки, ковпаки та витяжні системи;
- додавання поверхнево-активних речовин
- закриті резервуари для зберігання та закриті трубопроводи для передавання розчинів;
- скрубери або краплевловлювачі;
- зменшення викидів у воду шляхом рециркуляції розчинів для повторного використання або відновлення металів;
- використання побічних продуктів (анодного шламу) для отримання дорогоцінних металів;
- запобігання забрудненню ґрунту/підземних вод шляхом використання непроникної та кислотостійкої підлоги.

Технічний опис

Оптимізована конструкція камери, використання катодних основ із неіржавкої сталі або мідних матриць

Процеси електролітичного рафінування, що відрізняються оптимізованою конструкцією камери, відстанню між анодами та катодами, геометрією анодів, густиною струму, складом електроліту, температурою та швидкістю потоку, забезпечують низьке споживання енергії та підтримують високу продуктивність. Також застосовуються катодні основи з неіржавкої сталі (наприклад, постійні катоди) або мідні матриці (у більшості заводів з рафінування міді у ЄС-28 застосовують технологію постійних катодів із неіржавкої сталі).

Високий рівень автоматизації (заміна катода/анода та операції обдирання) та контроль якості

Використання механізованих та автоматизованих операцій зі збору та обдирання, а також виявлення короткого замикання запобігають викидам та знижують споживання енергії.

Контроль якості застосовується для забезпечення того, щоб аноди були прямими, плоскими та мали точну вагу. Надійні, чисті електричні контакти покращують розподіл струму та зменшують споживання енергії.

Кришки, ковпаки та витяжні системи

Ванни електролітичного рафінування можуть бути покриті (наприклад, пластмасовим, тканинним або волокнистими листами) для контролю температури та запобігання випаровування води з розчину електроліту. Витяжні ковпаки встановлюються на ванні електролітичного рафінування в особливих випадках, наприклад, коли обробляються аноди з високим вмістом домішок (As, Sb, Bi, Pb, Ni).

Камери електровідновлення закриті витяжними ковпаками та кришками з вбудованими витяжними системами для всмоктування кислотного туману, що утворюється в результаті виділення кисню, де це необхідно.

Камери електровідновлення для обробки зливу зазвичай закриті та можуть бути обладнані витяжною вентиляцією, скруберами та системами виявлення арсину. Виділення арсину можна уникнути шляхом підтримання концентрації міді у вихідному розчині на оптимальному рівні, у порівнянні з густиною струму, що використовується на останньому етапі видалення міді.

Водяна пара та аерозольні частки з промивних камер для обдирання катоду та машин промивання анодного скрапу видаляються.

Для забезпечення герметичності та запобігання витоків проводяться регулярні перевірки технічне обслуговування камер, резервуарів, труб, насосів та систем очищення.

Додавання поверхнево-активних речовин

У якості альтернативи покриттю камер електровідновлення з ковпаками з вбудованими витяжними системами іноді додають поверхнево-активні речовини для мінімізації дифузних викидів кислотних туманів з камер.

Закриті резервуари для зберігання та закриті трубопроводи для передавання розчинів

Резервуари для зберігання закриті та обладнані системою видалення вихлопних газів.

Електроліт/розчини передаються нерухомими закритими трубами.

Зменшення викидів у воду шляхом рециркуляції розчинів для повторного використання або відновлення металів
Злив обробляється для видалення металу та повертається у процес електровідновлення та/або вилуговування. Стічні води, які не рециркулюються, очищаються на установках з очищення відпрацьованих вод (фізико-хімічне очищення). Кислі стічні води утворюються під час промивання катодів і частково повторно використовуються для отримання потрібної концентрації кислоти.

Перероблення побічних продуктів (анодного шламу) для вилучення дорогоцінних металів
Анодні шлами використовуються для вилучення дорогоцінних металів. Злитий електроліт очищається для відновлення металів (Ni, As). Відпрацьовані аноди переплавляються для вилучення металу

Запобігання забрудненню ґрунту/підземних вод шляхом використання непроникної та кислотостійкої підлоги
Дренажні системи герметизовані, а всі зібрані розчини рециркулюються.

Резервуари/ємності для зберігання є резервуарами з подвійними стінками або поміщені у стійкі обвалування. Підлога непроникна та кислотостійка. Для забезпечення герметичності та запобігання витоків проводяться регулярні перевірки технічне обслуговування камер, резервуарів, труб, насосів та систем очищення.

Скрубери або краплевловлювачі
Уловлені вихлопні гази очищаються в скруберах або краплевловлювачах.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання та зменшення дифузних викидів у повітря та потрапляння кислоти у ґрунт та підземні води.
- Ефективне використання енергії (може досягти виходу за струмом > 95%). Використання основ з неіржавкої сталі призводить до покращення якості катода, збільшення виходу за струмом і низького споживання енергії навіть за вищої густини струму.
- Відновлення металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємстві KGHM (Глогув 1, 2 та Легниця) рафінувальні заводи працюють з мідними матрицями.

Однак на більшості заводів електролітичного рафінування (Atlantic Copper, Aurubis у Гамбурзі, Олені, Пирдопі та Тюнені, Boliden у Гар'явалті та Рьоннскярі, Montanwerke Brixlegg та Metallo-Chimique) використовуються постійні катодні пластини з неіржавкої сталі. Ця система у поєднанні з контрольованою вагою анода та фізичною підготовкою анода шляхом механічної обробки покращує геометрію електродів. В результаті покращуються продуктивність заводу та якість катода, а також досягається високий рівень автоматизації процесу. Машини для обробки, наприклад, машини для обдирання, підготовки анодів та машини промивання анодного скрапу, повністю автоматизовані.

Енергія, що споживається на стадії електролітичного рафінування у виробництві міді, становить 300–400 кВт-год на тонну міді, але більше енергії споживається під час електролітичного рафінування анодів з вищим вмістом домішок [134, Metallurgical Consulting Traulsen GmbH 1998] Тип катодної основи (з неіржавкої сталі або міді), що використовується, головним чином впливає на ефективність роботи цеху електролізу [90, Traulsen, H. 1998], і вона може варіюватися від 92% до 97% за показником виходу за струмом.

Для нагрівання в процесах електролітичного рафінування застосовують електролітні теплообмінники, що працюють на парі. Рівень витрати пари залежить головним чином від густини струму, що застосовується, кількості покритих камер, а також від того, як розміщена вентиляція цеху електролізу. Через вищу напругу електроліт процесу електровідновлення потребує охолодження.

На підприємствах Atlantic Copper в Іспанії промивні машини для катодів та анодного скрапу, а також камери регулятора оснащені системою вентиляції, підключеної до скрубера для очищення газу із замкнутим циклом циркуляції рідини. Камери глибшого очищення від міді (ці камери називаються «осередками звільнення») закриті та обладнані

системою виявлення арсину. Ванни рафінування міді накриті пластиковою тканиною для запобігання випаровування води та зменшення споживання енергії.

На підприємствах Aurubis в Гамбурзі та Олені резервуари для зберігання, машини для обдирання катодів і промивання анодного скрапу, а також камери регулятора вентилюються, а відхідні гази очищаються в скрубері.

На підприємстві Aurubis, Люнен, вихлопні гази від вентиляції машини для обробки та процесу очищення електроліту обробляються в краплевловлювачах.

На підприємстві Aurubis, Пирдоп, секції часткового та глибшого очищення від міді оснащені системами місцевої вентиляції. Камери глибшого очищення від міді (ці камери називаються «осередками звільнення») повністю закриті та обладнані системою виявлення арсину. Машини для промивання катодів та анодного скрапу вентилюються. Видалені гази очищаються в краплевловлювачах. Дифузні викиди кислотних туманів із регулювальних камер, а також із секції глибшого очищення від міді уловлюються витяжними ковпаками й очищаються в скруберах.

На підприємстві Boliden, Гар'явалта, використовуються постійні катоди. Машини для обдирання катодів і промивання анодного скрапу вентилюються. Ванни рафінування міді накриті пластиковою тканиною для запобігання випаровування води та зменшення споживання енергії. Система регенерації тепла використовується для збору тепла від вентиляційних газів цеху електролізу. Всі камери очищення від міді обладнані витяжними ковпаками. Виділення арсину на останньому етапі видалення міді можна уникнути шляхом аналізу та підтримання концентрації міді на належному рівні для густини струму, що використовується. Така ж система використовується на підприємстві Boliden у Рьоннскярі.

За останні кілька років у Montanwerke Brixlegg було реалізовано кілька проєктів з розвитку та оптимізації. Основним проєктом для цеху електролізу було перетворення у цех електролізу з високою густиною струму. До жовтня 2007 року потужність рафінування була збільшена до 108 000 тонн катодів на рік шляхом розширення цеху електролізу. З осені 2011 року потужність була додатково збільшена до 118 000 тонн катодів на рік через використання високої густини струму. Щоб забезпечити таку високу густину струму, половина цеху електролізу була обладнана новим трансформатором і впускним колектором для електроліту для паралельного потоку, що дозволяє використовувати високу густину струму, зберігаючи високий вихід за струмом та високу якість катода. Густина струму максимум 424 А/м^2 може використовуватися в цьому цеху електролізу з високою густиною струму.

Всі камери очищення від пилу закриті, а відхідні гази обробляються в краплевловлювачах. Виділення арсину на останньому етапі видалення міді можна уникнути шляхом аналізу та підтримання концентрації міді на належному рівні для густини струму, що використовується.

На підприємстві KGHM, Глогув 1, 2 та Легниця, рафінувальні заводи працюють з мідними матрицями. Електролітичні камери зазвичай закриті волокнистими листами. Відхідні гази з випарників на етапі очищення електроліту, обробляються в краплевловлювачах (Глогув 2 та Легниця). У Глогуві 1 вакуумні випарники не виділяють гази.

На підприємстві Metallo-Chimique, Берсе, рафінувальна установка призначена для обробки анодів з високим вмістом домішок. У цеху електролізу використовується процес з постійним катодом. На камерах встановлені кришки з вбудованою витяжною системою.

На підприємстві Umicore, Хобокен, встановлено процес вилуговування та електровідновлення для обробки мідних гранул з великою кількістю домішок і дуже різним вмістом міді, отриманих в печі ISASMELT. Утворенню кислотного туману можна запобігти шляхом додавання у сірчану кислоту поверхнево-активної речовини. Електричний ККД (вихід за струмом) становить > 95%. Система виявлення постійно відстежує присутність арсину. Злив обробляється для видалення металу та повертається у процес вилуговування та електровідновлення.

Вилуговування здійснюється у закритих ємностях. Резервуар для зберігання кислоти та реактори вилуговування вентилюються, а видалений пар (30 000 Нм^3/год) обробляється у скрубері розчином гідроксиду натрію, в результаті чого виходить 0,5 мг/Нм^3 пилу, 0,02 мг/Нм^3 міді та 0,2 мг/Нм^3 H_2SO_4. Кислі стічні води утворюються під час промивання

катодів і частково повторно використовуються для отримання потрібної концентрації кислоти, а також частково направляються установку з очищення відпрацьованих вод для нейтралізації.

У Cobre Las Cruces в Іспанії встановлений процес електровідновлення для обробки розчину сульфату міді, отриманого у гідрометалургійному процесі вилучення розчинником. Збіднений розчин, що містить переважно сульфат міді, перекачується в камери електровідновлення, де мідь осаджується на катодах з неіржавкої сталі та утворює мідні листи (тобто мідні катоди). Є 144 камери, по 84 катоди на камеру. Використовуються постійні катоди площею 1,15 $м^2$ з кожного боку.

Електролітичні камери закриті витяжними ковпаками для запобігання поширенню кислотного туману в атмосферу цеху електролізу. Витяжні ковпаки камер переміщаються за допомогою кранів цеху електролізу, і їх необхідно тимчасово видаляти з камер щоразу, коли збираються або замінюються катоди. Кожен кінець камери з'єднаний з трубопроводом для кислотного туману, а відхідні гази направляються у мокрі скрубери каскадного типу. Також у скрубери направляються кислотні тумани з промивної камери машини для обдирання та електролітних фільтрів. Кожен скрубер призначений для обробки великих об'ємів газу з оптимізованим перепадом тиску та максимальною ефективністю розділення. Вилучається приблизно 95–98% сірчаної кислоти та сульфіту міді. Ці сполуки виводяться зі скрубера разом з чистою відпрацьованою промивною водою, а потім розчин може бути повернутий назад у процес. Остаточне відділення дрібних крапель води відбувається у тумановловлювачах циклонного типу. Очищені відхідні гази, що містять менше ніж 0,05 $мг/м^3$ сірчаної кислоти, видуваються вентиляторами відхідних газів через димову трубу в атмосферу.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Утворення кислих стічних вод. Стічні води, які не рециркулюються, очищаються на установках з очищення відпрацьованих вод (фізико-хімічне очищення).
- Збільшення енергоспоживання.
- Використання добавок (поверхнево-активних речовин)

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Після процесів вилуговування для збіднення міддю розчину сульфату міді можна використовувати тільки електровідновлення. Віддається перевага вилуговуванню, вилученню розчинником та електровідновленню у роботі з вихідними матеріалами з дуже різним складом та великою кількістю домішок.

Щоб підтримувати температуру камер на прийнятному рівні (близько 65°C), іноді необхідно залишати камери відкритими, щоби сприяти прямій передачі тепла в атмосферу.

Економічні аспекти
Повідомлялося про інвестиційні витрати у розмірі 80 мільйонів євро для нового заводу з рафінування міді в компанії Aurubis, Пирдоп, (2008 р.) із проєктною виробничою потужністю 180 000 т/рік.

Для наявних цехів електролізу витрати на перехід на технологію з використанням катодів з неіржавкої сталі можуть бути неприйнятними.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Зменшення споживання енергії, збільшення продуктивності та мінімізація витрат.

Приклади заводів
- Електролітичне рафінування та електровідновлення для обробки зливу: Aurubis, Гамбург та Люнен (Німеччина), Aurubis, Пирдоп (Болгарія), Aurubis, Олен (Бельгія), Atlantic Copper, Уельва (Іспанія), Boliden, Рьоннскяр (Швеція), Boliden, Гар'явалта (Фінляндія), Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія), Montanwerke Brixlegg (Австрія), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 та Легниця (Польща).
- Електровідновлення: Umicore, Хобокен (Бельгія та Cobre Las Cruces (Іспанія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012], [150, J.A. Davis, W.R. Hopkins 1994], [134, Metallurgical Consulting Traulsen GmbH 1998], [297, Schlesinger. et al. 2011]

3.3.3.9 Видалення діоксиду сірки з відхідних газів з низьким вмістом SO_2 у виробництві первинної та вторинної міді

Опис
Технології, які слід розглянути:

- вдування вапна з подальшим застосуванням рукавного фільтра;
- процес абсорбції/десорбції на поліефірній основі;
- десульфуризація димових газів у напівсухому або мокрому скрубері з використанням сполук кальцію для отримання відповідно сульфіту кальцію та гіпсу;
- очищення перекисом водню; окиснення перекисом водню для отримання сірчаної кислоти;
- очищення сполуками натрію;
- очищення $Mg(OH)_2$ та кристалізація сульфату магнію;
- повернення газів у технологічний процес.

Технічний опис
Для видалення діоксиду сірки з відхідних газів з низьким вмістом SO_2 у виробництві первинної та вторинної міді застосовуються наступні технології.

Задування вапна з подальшим застосуванням рукавного фільтра
Вапно вдувають у газовий потік, що викликає утворення сполук кальцію та сірки. Там, де це можливо, одночасне впорскування води збільшує хімічну активність вапна, тим самим збільшуючи її ефективність у видаленні. Сполуки сірки та кальцію та технологічний пил видаляються з газового потоку тканинним фільтром, який повинен мати достатню пропускну здатність для додаткового навантаження пилу. Отримана суміш вапна та сполук кальцію та сірки може бути повторно використана в інших металургійних процесах або процесах очищення води. Вдування вапна можна поєднувати з одночасним вдуванням інших компонентів, наприклад, активованого вугілля для видалення ртуті або ПХДД/Ф.

Процес абсорбції/десорбції на поліефірній основі
Він включає селективну фізичну абсорбцію діоксиду сірки з промитого та охолодженого потоку газу рідким розчинником на основі поліефіру, здатним до повної регенерації. Основний продукт має високий вміст газу SO_2 (~ 80%), який направляється на установку з виробництва сірчаної кислоти. Очищення проводиться без утворення небажаних твердих побічних продуктів. Ця технологія застосовується під час остаточної десульфурації відхідних газів з низьким вмістом SO_2 з установки з виробництва сірчаної кислоти однократного перетворення та місцевої електростанції заводу з виплавки первинної міді (детально описано у Розділі 2.12.5.4.5).

Напівсухий або сухий скрубер з використанням сполук кальцію
Суспензію реагенту «вапняне молоко» вводять у реактор разом з газовим потоком. Вода випаровується, якщо температура газу є досить високою, а газоподібні компоненти можуть вступати в реакцію з частками. Потім частки відпрацьованого реактиву видаляються з газового потоку у рукавному фільтрі. Відбувається наступна хімічна реакція:

$$Ca(OH)_2 + SO_2 \rightarrow CaSO_3 + H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + SO_2 + H_2O + ½\ O_2 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$$

У мокрому скрубері відхідні гази SO_2 проходять через водну суспензію вапняку, що призводить після окиснення повітрям до утворення гіпсу.

$2CaCO_3 + 2SO_2 + 4H_2O + O_2 \rightarrow 2CaSO_4 + 2H_2O + 2CO_2$

Очищення перекисом водню
У процесі використовується перекис водню (H_2O_2) для окиснення SO_2 до сірчаної кислоти:

SO_2 (газ.) + H_2O_2 (водн.) → H_2SO_4 (водн.)

Очищення досягається шляхом прямого контакту в прямоструминному зрошувальному скрубері, а потім у протиструминному скрубері. Концентрація отриманої кислоти може досягати 50% H_2SO_4, яку можна повернути на кислотну установку у якості розріджувача або продавати як побічний продукт, якщо наявний ринок.

Очищення сполуками натрію
Гідроксид натрію використовується як абсорбент у мокрому скрубері. За формулою реакції: $SO_2 + 2NaOH + O_2 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$ отримується розчин сульфату натрію.

Na_2CO_3 також використовується для взаємодії з SO_2 за наступною реакцією:

$SO_2 + Na_2CO_3 + ½O_2 \rightarrow Na_2SO_4 + 2CO_2$

Очищення з $Mg(OH)_2$
$Mg(OH)_2$ також використовується у якості добавки у мокрому скрубері. Після випарювання та кристалізації утворюється сульфат магнію.

$SO_2 + Mg(OH)\ 2 + ½O_2 \rightarrow MgSO_4 + H_2O$

Повернення газів у технологічний процес
Знепилені вентиляційні гази з низьким вмістом SO_2 можуть бути повернені в процес як повітря для згорання для остаточної десульфуризації з основним газовим потоком.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів SO_2 у повітря.
- Вдування вапна позитивно впливає на зниження викидів діоксинів. Видалення пилу та SO_2 досягається за допомогою одного та того ж рукавного фільтра. Отримана тверда суміш вапна та гіпсу або вапна та сульфіту кальцію або самого гіпсу може бути повторно використана в інших металургійних процесах або процесах очищення води.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Задування вапна з подальшим застосуванням рукавного фільтра
На ефективність десульфуризації сухого або напівсухого скрубера впливають температура газів, вміст вологи та час контакту між частками вапна та газом. Турбулентність газового потоку, висока питома поверхня часток вапна та кількість вапна також впливають на ефективність. Камера реактора з достатнім часом перебування може бути використана для створення турбулентного потоку, якщо є місце, але там, де недостатньо місця для реактора, використовується пряме вдування вапна та впорскування води в газ перед тканинним фільтром. Для ефективної роботи процесу потрібна мінімальна температура 60°C. Ефективність видалення за температури 150°C та вмісту вологи у газі 5% становить близько 45%. У разі збільшенні вмісту вологи до 25%, ефективність видалення збільшується до 75%. За нижчих температур ефективність видалення падає до 20–40%, і потрібні високі швидкості вдування вапна. За температури газу близької до точки роси додаткове впорскування води неможливе через несприятливий вплив на рукавний фільтр.

На підприємстві Aurubis, Гамбург, вторинна система уловлювання диму використовує додаткове вдування вапна у вторинні витяжки на заводі з виплавки первинної міді. Була встановлена система вдування вапняного молока ($Ca(OH)_2$) у газовий потік для зниження наявного вмісту SO_2. Видаляється 50–70% SO_2 у разі присутності у газовому потоці з концентрацією 100–1500 мг/Нм^3. Проводяться безперервні вимірювання SO_2. Концентрація SO_2 на виході становила 50–1275 мг/Нм^3 у середньому за пів години, а 95% значень SO_2, виміряних у 2011 р., становили < 525 мг/Нм^3 (див. Розділ 3.3.3.6).
У Хобокені, Бельгія, використовується нещодавно розроблений періодичний процес із новою системою газоочищення для технологічних газів з різною концентрацією SO_2. Вона

використовує комбіновану систему зниження викидів пилу та видалення технологічного пилу з вдуванням вапна й упорскуванням води в змішувальну камеру з часом перебування шість секунд і концентрацією SO_2 в газах від 0 до 1%. Швидкість вдування становить +/- 250 кг/год при 150°C та вмісту вологи 30% об. Через вміст металів у технологічному пилу димовий пил, що видаляється рукавним фільтром, повторно використовується в іншому технологічному процесі, в цьому процесі також може використовуватися гіпс. Завдяки вдуванню вапна потужність фільтра на 40% вище, ніж у разі час зниження тільки викидів пилу. Випробування вдування сухого вапна в холодному газі показало низьку продуктивність і високі експлуатаційні витрати, та система була відхилена.

Процес абсорбції/десорбції на поліефірній основі
Процес абсорбції/десорбції на поліефірній основі застосовується для остаточної десульфуризації газів з низьким вмістом SO_2 з мідеплавильного заводу (KGHM, Легниця). Див. Розділ 2.12.5.4.5, присвячений остаточній десульфуризації відхідних газів від:

- установки з виробництва сірчаної кислоти однократного перетворення;
- місцевої електростанції, що спалює вугілля та гази шахтних печей, що містять CO, та гази із зони завантаження та випускання шахтних печей.

Напівсухий або сухий скрубер з використанням сполук кальцію
Напівсухі або мокрі скрубери, що використовують сорбенти на основі кальцію, мають відповідні змішувальні та реакційні камери. Частки, що утворюються в реакційній камері, зазвичай видаляються за допомогою рукавного фільтра або мокрого електростатичного фільтра. Очисний матеріал, частково відпрацьований у реакції, рециркулюється у реактор. Відпрацьований очисний матеріал використовується в основному технологічному процесі, якщо це можливо. Напівсухі скрубери мають туманоуловлювач, якщо утворюються тумани.

На підприємстві KGHM, Глогув 1, для видалення SO_2 з відхідних газів шахтної печі застосовується напівсуха десульфуризація за допомогою вапняної суспензії. Гази шахтних печей, що містять CO, спалюються на місцевій електростанції, яка також працює на вугільному дріб'язку. Димові гази піддаються напівсухій десульфуризації до суспензії $Ca(OH)_2$. Вся вода випаровується з суспензії, а сухий продукт збирається у рукавних фільтрах. Ефективність установки напівсухої десульфуризації становить близько 82%.

На підприємствах KGHM, Глогув 1 та Глогув 2, напівсуха десульфуризація вапняною суспензією з подальшим застосуванням рукавного фільтра також застосовується для відхідних газів анодних печей та вентиляції із секцій завантаження та випускання анодних печей. Вимірювання викидів здійснюються раз на місяць. Рівні SO_2 складають 20–200 мг/Нм^3.

На підприємстві Aurubis, Пирдоп, мокрий скрубер із вапняним молоком застосовується для видалення SO_2 з газового потоку, що містить комбіновані конвертерні вторинні гази, гази склепіння конвертера та гази з льотки печі зваженої плавки. Концентрація SO_2 безперервно вимірюється безпосередньо у димовій трубі. Діапазон середньодобових значень концентрації SO_2 становить 100–625 мг/Нм^3 (90–й процентиль середньодобових значень становить 377 мг/Нм^3) (див. Розділ 3.3.3.6).

Очищення перекисом водню
На підприємстві Aurubis, Гамбург, відхідні гази вловлюються вторинним витяжним ковпаком під час процесів продування та розливання первинних конвертерів з виробництва міді (вміст SO_2 близько 0,1%, до 2%) та використовуються або для розведення технологічних газів, що обробляються в установці з виробництва сірчаної кислоти, або обробляється на установці з обробки H_2O_2. Звичайна концентрація H_2SO_4 у цьому процесі становить 30–35% для підтримання належної абсорбції SO_2. Отриману кислоту можна використовувати в секції абсорбції кислотної установки для розведення. Рівні SO_2 в очищеному газі після скруберу знаходяться в широкому діапазоні, 20–350 мг/м^3 (середньодобові значення безперервних вимірювань), через дуже динамічні зміни концентрацій SO_2.

Скрубер зі сполуками натрію

На підприємстві Atlantic Copper скрубери Вентурі з Na(OH) з подальшим застосуванням мокрого електростатичного фільтра застосовуються для видалення SO_2 з відхідних газів, що утворюються під час вогняного рафінування. Уловлені тверді частки являють собою компоненти природного газу, що розклався та не згорів, конденсованого металу й оксидів; вони рециркулюються у процес. Вимірювання концентрації SO_2 виконуються щонайменше раз на квартал. Рівні SO_2 нижче 200 мг/Нм^3. Скрубер Вентурі із замкнутим циклом циркуляції рідини також використовується для очищення газів з електричної шлакової печі. Вміст металів у твердих частках частково відновлюється. Вимірювання концентрації SO_2 виконуються раз на квартал. Рівні SO_2 нижче 200 мг/Нм^3.

На підприємстві Aurubis, Люнен, скрубер з NaOH використовується для видалення SO_2 з відхідних газів з етапу перетворення. Відхідні гази обертового конвертера з верхнім дуттям (максимальний розрахунковий об'єм 70 000 Нм^3/год) із високим вмістом SO_2, наприклад, на етапі максимального перетворення, спрямовуються у скруберну установку. У скрубері використовується NaOH (50% розчин). Установка складається зі скрубера, резервуара для зберігання NaOH і трьох резервуарів для проміжного промивного розчину. Відпрацьований промивний розчин використовується під час швидкого охолодження у процесі KRS, наприклад, випаровується у результаті охолодження газів процесу KRS, щоб не утворювались стічні води. Діоксид сірки перетворюється на сульфат натрію, який стає частиною пилу з фільтра (оксид KRS) і продається як продукт. Здійснюються безперервні вимірювання концентрації SO_2. Рівні SO_2 становлять від < 50 мг/Нм^3 до 1040 мг/Нм^3 у середньому за пів години, від < 50 мг/Нм^3 до 270 мг/Нм^3 у середньому за день, а середньодобове значення 90–го процентилю становить 206 мг/Нм^3.

У Глогуві 2 є система вентиляції у секції випускання печі прямої зваженої плавки чорнової міді. Гази (близько 100 000 Нм^3/год) знепилюються в рукавному фільтрі, в який вдувається вапно для покращення процесу знепилення та уловлювання SO_2. Система працює під час випускання шлаку. Під час випускання чорнової міді використовується додаткова система мокрого знепилення — скрубер Вентурі з циркуляційним розчином Na_2CO_3. Періодичні вимірювання концентрації пилу та SO_2 проводяться чотири рази на рік. Досягається рівень концентрації пилу в діапазоні 3–5 мг/Нм^3. Концентрація SO_2 нижче 100 мг/Нм^3.

У Глогуві 2 конвертери Hoboken обробляють сплав Cu-Pb-Fe, отриманий в електричній печі, що використовується для очищення шлаку печі зваженої плавки. Відхідні конвертерні гази обробляються в спеціальній системі мокрого очищення, що складається зі скрубера Вентурі та циклонного тумановловлювача. Циркуляційний рідкий агент являє собою розчин Na_2CO_3, який також забезпечує десульфуризацію відхідних газів. Газ, що виділяється, містить 1–5 мг/Нм^3 пилу та менше ніж 200 мг/Нм^3 SO_2.

Скрубер з $Mg(OH)_2$

На підприємстві Montanwerke Brixlegg скрубер з $Mg(OH)_2$ використовується для видалення SO_2 з відхідних газів конвертерної печі. У якості абсорбента використовується водна суспензія $Mg(OH)_2$. Скрубер використовується для очищення відхідних газів з потоком 30 000 Нм^3/год. Неочищений газ містить близько 5–15 г SO_2/Нм^3. Ця скруберна система складається з трьох паралельно встановлених багатолопатевих абсорберів Вентурі, які забезпечують рівень фільтрації та десульфуризації димового пилу до 5–30 мг SO_2/Нм^3 очищеного відпрацьованого газу в слаболужному середовищі. $MgSO_4$, отриманий в скрубері, продається як добавка для будівельних цілей.

Повернення газів у технологічний процес

Деякі потоки вентиляційних газів можуть бути використані як технологічне повітря й остаточно десульфуруються як технологічні гази.

У Глогуві 1 вентиляційні гази із зон завантаження шахтної печі, очищені від пилу в рукавних фільтрах, використовуються як повітря для дуття в шахтній печі. Вентиляційні гази із зони випускання шахтної печі знепилюються у рукавних фільтрах і спрямовуються на місцеву електростанцію у вигляді повітря для згорання (як описано вище).

У Легниці всі вентиляційні гази із зони завантаження та випускання шахтної печі знепилюються в рукавних фільтрах та використовуються на місцевій електростанції як повітря для згорання (як описано вище). Секції завантаження, спускання шлаку та

випускання анодних печей мають вентиляційні системи, газ з яких використовується як повітря для згорання в пальнику в анодній печі або в камері згорання, розташованій між анодною піччю та рукавним фільтром.

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення енергоспоживання. Використання добавок.
- Можуть утворюватися відходи, якщо отримані побічні продукти не можуть бути перероблені (на об'єкті або третіми сторонами) або відновлені іншим способом.
- H_2SO_4, отриманий у результаті очищення перекисом водню, не можна використовувати безпосередньо, та його слід спрямовувати на установку із виробництва сірчаної кислоти. Ця додаткова обробка обмежує застосовність процесу (залежно від необхідності розведення на установці з виробництва сірчаної кислоти).
- Доданий до печі гіпс може призвести до утворення SO_2, який необхідно знову вловлювати.
- У разі використання мокрих систем стічні води потребують додаткового очищення для запобігання скиданню металів у воду.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Уловлювання SO_2 шляхом вдування вапна застосовується для обробки відхідних газів заводів з виплавки первинної та вторинної міді за умови, що є можливість дотримання відповідних параметрів процесу, тобто температури (мінімум 60°C), вмісту SO_2, змін вмісту SO_2 на різних етапах процесу та вмісту вологи. Для наявних установок, що використовують рукавний фільтр для очищення вихлопних газів металоплавильної печі, можливе пряме вдування вапна без модернізації наявної системи боротьби з викидами, коли температура, вологість та час контактування достатні, а наявна пропускна здатність фільтра може витримати додаткове навантаження пилу. Нові установки можуть бути розроблені для роботи в оптимальних умовах.

Скрубери застосовуються до нових установок і для капітальної модернізації або переобладнання заводу. Однак мокрі системи можуть застосовуватися тільки в тому випадку, якщо можуть бути запропоновані відповідні рішення щодо водних потоків, що утворюються (утилізація, утилізація після очищення або корисне застосування). Стічні води можуть містити до 1,5 г SO_4/л після очищення вапном водних потоків, що містять SO_4.

Економічні аспекти

Отримані побічні продукти можуть бути перетворені на джерело прибутку або використані повторно. Це не завжди можливо та залежить від умов місцевого ринку та необхідних вимог до якості. Це може вплинути на комбінацію застосовуваних технологій. Крім того, під час вибору найкращої технології необхідно враховувати збільшення інвестиційних витрат (через встановлення додаткового обладнання) та експлуатаційних витрат через використання добавок (вапна, гідроксиду натрію, H_2O_2 тощо).

Вдування вапна

На підприємстві Aurubis, Гамбург, інвестиційні витрати склали 10 мільйонів євро плюс близько 7 мільйонів євро на заходи з уловлювання дифузних викидів з анодної печі та розливної каруселі.

Оскільки реакція SO_2 з вапном відбувається на поверхні часток, і реакція протікає швидше за більшого вмісту вологи, знизити споживання вапна можна таким чином:

- одночасне впорскування води (пари) (більші витрати на енергоресурси);
- використання вапна з вищою питомою поверхнею (більші витрати: вартість вапна коливається від 60 євро/т для гідроксиду кальцію до 200 євро/т для спученого гідроксиду кальцію);
- рециркуляція пилу з фільтра.

Якщо димовий пил повинен бути утилізований, витрати на цю технологію можуть бути дуже високими.

Скрубер з NaOH

Компанія Aurubis, Люнен, повідомила про інвестиції у розмірі близько 17,5 млн євро у заходи із захисту довкілля, впроваджені в рамках проєкту KRS Plus (витяжний ковпак,

вбудований в кран, система уловлювання газів, скрубер з NaOH і новий рукавний фільтр).

Скрубер з H_2O_2
Компанія Aurubis, Гамбург, повідомила про інвестиційні витрати у розмірі 4,5 млн євро (2000–2007 рр.).

Експлуатаційні витрати на потік приблизно 60 000–70 000 $Нм^3$/год та з вмістом SO_2 до 2% становили 1 мільйон євро на рік (2012 р.).

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів SO_2.
- Необхідність одночасного зниження вмісту пилу (із застосуванням рукавних фільтрів) та SO_2 сприяє впровадженню технології вдування вапна.
- Відпрацьовані промивні розчини можна використовувати у вежах швидкого охолодження (тобто випаровувати шляхом охолодження відхідних газів), зменшуючи або усуваючи утворення стічних вод.
- Отриманий $MgSO_4$ можна продавати у якості добавки для використання у будівництві.
- Отриманий гіпс можна використовувати в металургійних процесах, а надлишок вапна, що не вступило в реакцію, можна використовувати на установках з очищення відпрацьованих вод.

Приклади заводів
Aurubis, Гамбург та Люнен (Німеччина), Montanwerke Brixlegg (Австрія), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 та Легниця (Польща) та Atlantic Copper (Іспанія)

Довідкова література
[346, Eurometaux 2010], [238, ECI 2012],

3.3.3.10 Технології запобігання та зменшення викидів від установки вилучення розчинником, залученої у гідрометалургійний процес виробництва міді з концентрату або вторинних матеріалів

Опис
Технології, які слід розглянути:

- вибір реагенту для процесу та використання закритого обладнання, такого як закриті змішувальні резервуари, закриті відстійники та закриті резервуари для зберігання;
- обробка продукту продування процесу вилучення розчинником на установках з очищення відпрацьованих вод перед скиданням;
- обробка залишків (міжфазна завись) для відновлення вмісту органічного розчину;
- використання центрифугування для очищення суспензії від очищення та відстійників.

Технічний опис
Вибір реагенту для процесу та використання закритого обладнання, такого як закриті змішувальні резервуари, закриті відстійники та закриті резервуари для зберігання
На етапі вилучення розчинником викиди в повітря, які можуть утворюватись, є переважно дифузними викидами ЛОС від зберігання, транспортування та перероблення технологічних потоків. Використання закритого обладнання, такого як закриті змішувальні резервуари, закриті відстійники та закриті резервуари для зберігання в замкнутому циклі, мінімізує можливі викиди ЛОС. Мінімізація дифузних викидів також може бути досягнута шляхом вибору реагенту процесу (розчинника) з нижчим тиском пари.

Обробка продукту продування процесу вилучення розчинником на установках з очищення відпрацьованих вод перед скиданням
Основними рідкими відходами, що утворюється на етапі вилучення розчинником, є вторинний рафінат. Ці стічні води утворюються під час відведення рідини та необхідні в гідрометалургійному процесі для запобігання накопиченню домішок у циклах вилучення розчинником, вилуговування та електровідновлення. Ці стічні води спрямовуються на установку з очищення відпрацьованих вод, де метали осаджуються у вигляді гідроксидів і сульфатів. Водний потік, що утворився, скидається в приймальне середовище.

Обробка залишків (міжфазна завись) для відновлення вмісту органічного розчину
На етапі вилучення розчинником утворюється залишок, відомий як міжфазна завись. Міжфазна завись є стабільною емульсією, що складається з завислих речовин, водного розчину та органічного розчину, вона утворюється у фазі між органічним та водним розчинами у відстійниках для вилучення розчинником.

Для видалення твердих часток з міжфазної завісі цей залишок направляють на очисну установку, де суспензію міжфазної завісі відкачують з відстійників і пропускають через глиняний фільтр для відділення твердої фракції від інших фаз. Суспензія із глиняного фільтра циркулює назад у резервуар для збору міжфазної завісі (де починається очищення), поки розчин не буде очищений від твердих часток. Фази можуть бути розділені в резервуарі, при цьому водний і органічний розчини вилучаються з резервуара окремо. Водний розчин перекачується у вторинний відстійник первинного рафінату для вилучення органічного розчину, який повертається в резервуар для насичених органічних сполук.

Використання центрифугування для очищення суспензії від очищення та відстійників
Суспензія після очищення відстійників (водна фаза, міжфазна завись та органічна фаза) центрифугується для відділення твердої фази від рідкої фази (розчинник та вода). Це дозволяє відновити розчинник та воду та зменшити кількість твердих залишків. Ця установка є повністю критою для уникнення дифузних викидів.

Досягнуті екологічні переваги
- Мінімізація дифузних викидів.
- Відновлення розчину з розчинником та води.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємстві Cobre Las Cruces склад продуктів, що використовуються для вилучення розчинником, розрахований таким чином, щоб мінімізувати дифузні викиди ЛОС. Крім того, змішувальні резервуари та відстійники закриті.

Злив характеризується головним чином високим вмістом важких металів, високою концентрацією сульфатів (переважно через додавання сірчаної кислоти на етапі вилуговування мінералів та через окиснення сульфідів) і дуже низьким pH.

У Таблиці 3.53 наведено типові значення основних параметрів, що характеризують вторинний рафінат на підприємстві Cobre Las Cruces за розрахункових умов.

Таблиця 3.53: Типова характеристика вторинного рафінату на підприємстві Cobre Las Cruces

Параметр	**Значення**
pH	0,5–1,5
Температура	35–45ºC
Загальний органічний вуглець	2 мг/л
Загальний азот	10,2 мг/л
Сульфід	5 мг/л
Сульфат	43 169 мг/л
Хлорид	201 мг/л
Кальцій	187 мг/л
Іон заліза (II)	5678 мг/л
Іон заліза (III)	5976 мг/л
Cu	0,01–0,5 мг/л
H_2SO_4	16 мг/л
Джерело: [358, CLC 2012]	

Вторинний рафінат спрямовується на установку нейтралізації, де метали осаджуються у вигляді гідроксидів та сульфатів. Очищені стічні води аналізуються на виході з цієї установки з очищення відпрацьованих вод перед скиданням у приймальне середовище. Швидкість утворення міжфазної завісі індивідуальна для кожного заводу. У випадку Cobre Las Cruces насичений розчин для вилуговування містить високі концентрації заліза, яке є одним з основних джерел утворення міжфазної завісі. Міжфазна завись обробляється для відділення органічного розчину. Водний розчин перекачується у вторинний відстійник первинного рафінату для вилучення можливого органічного розчину, який повертається в резервуар для насичених органічних сполук.

Суспензія після очищення відстійників (водна фаза, міжфазна завись та органічна фаза) обробляється на установці центрифугування, до складу якої належить таке обладнання:

- резервуари для подання матеріалу до центрифуги: по два резервуари в кожній;
- насоси для подання матеріалу до центрифуги;
- центрифуга для розділення суміші, що складається з двох рідин з різною щільністю (органічної та водної) та твердих часток, що містяться в цій суміші;
- резервуари для збирання водної фази, отриманої з трикантера;
- насос для рециркуляції органічної фази назад у технологічний процес для повторного використання.

Ця установка повністю закрита та розташована в межах закритого периметра зони установки вилучення розчинником.

Суспензія від очищення та відстійники установки центрифугування Cobre Las Cruces очищуються. Процес відбувається наступним чином:

- У резервуари для подання матеріалу надходить міжфазна завись, що підлягає обробці після очищення відстійників у зоні вилучення розчинником за допомогою розчинника. Суміш, що необхідно розділити, направляється з цих резервуарів у трикантер через подавальні насоси.
- Трикантер виконує розділення, з одного боку отримуючи водну фазу, яка направляється до збірного резервуара, звідки за допомогою відповідного насоса повертається у відстійники. З іншого боку, отримується органічна фаза, яка також збирається в резервуарі, звідки вона перекачується для повторного використання та реінтеграції у процес вилучення розчинником.
- Нарешті, тверда фаза, що міститься у вихідному матеріалі, відбирається з трикантера та збирається в контейнер, звідки вона буде видалена для утилізації у якості залишків заводу.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовні

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Мінімізація дифузних викидів.
- Відновлення розчину з розчинником.

Приклади заводів
Cobre Las Cruces (Іспанія).

Довідкова література
Інформацію не надано.

3.3.4 Виробництво вторинної міді

У виробництві вторинної міді використовується широкий спектр вторинних матеріалів, що характеризуються різним вмістом міді та широким діапазоном концентрацій інших металів, або вони утворюють комплекси з іншими елементами (наприклад, металевими, оксидними, сульфідними). Також можна обробляти відходи, що містять мідь та інші метали, наприклад, електронний брухт. Проте вихідні матеріали повинні відповідати процесу, що використовується.

Залежно від вихідних матеріалів застосовуються такі процеси:

- Піч ISASMELT для виплавки та конвертування в чорнову мідь широкого спектра первинних та вторинних матеріалів, що містять мідь/свинець (пил, штейн, дрос, шлаки, анодні шлами тощо), електронного брухту та деякої сировини, що містить цинк, та відходів;
- KRS, для виплавки та конвертування в чорнову мідь вторинних мідних матеріалів, таких як брухт мідних сплавів, електронний брухт, шлаки з високим вмістом міді, мідний дрос, димовий пил, осади;
- електрична піч для виплавки широкого спектра мідних матеріалів та матеріалів, що містять мідь/свинець оксидної, сірчаної або металевої природи, наприклад, пилу, дросу, шлаків, анодних шламів, що містять низькосортні дорогоцінні метали, брухту мідних сплавів, низькосортного штейну, мідно-свинцевих концентратів;
- Мателоплавильна міні-піч та доменна піч для виплавки вторинних оксидних та металевих мідьвмісних матеріалів з використанням заліза або мідного/залізного брухту у якості відновника;
- Обертовий конвертер з верхнім дуттям для виплавки брухту міді та мідних сплавів, шлаку та комплексних концентратів;
- Contimelt, що є безперервним двоетапним процесом для плавлення та обробки чорної та чорнової міді, високосортного мідного брухту та анодного скрапу для виробництва мідних анодів (див. Розділ 3.3.3.6).

Піч Ausmelt/ISASMELT та KRS можуть застосовувати періодичний двоетапний процес виплавки та конвертування на одній установці, що запобігає додатковим викидам, що виникають у результаті переміщенні матеріалів з однієї печі до іншої.

Виробництво міді із вторинної сировини з роками стало більш енергоефективним завдяки впровадженню нових технологій. Споживання енергії установкою KRS становить 1080 кВт-год/т сировини, що значно нижче, ніж у старої системи доменної печі, конвертера та заводу з виробництва свинцево-олов'яних сплавів — 2300 кВт-год/ [234, UBA (D) 2007]

3.3.4.1 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря з металоплавильних печей у виробництві вторинної міді

Опис
Технології, які слід розглянути:

- використання вихідних матеріалів відповідно до печі та встановленої системи боротьби з викидами;
- робота під негативним тиском, ізольовані печі/системи завантаження, відповідні корпуси, покриття, використання критих жолобів, вторинних витяжних ковпаків з ефективною системою видалення (та наступними системами знепилення та газоочищення);
- використання посиленої системи всмоктування;
- очищення відхідних газів (первинних та вторинних):
  - циклони у поєднанні з рукавними фільтрами,
  - Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції, установка з виробництва рідкого SO_2, скрубер, вдування сухого вапна/сорбаліту, додавання абсорбентів, системи видалення ртуті, допалювання, швидке охолодження.

Технічний опис

Використання вихідних матеріалів відповідно до печі та встановленої системи боротьби з викидами

Запобігання викидам досягається завдяки правильній конструкції печі та системи боротьби з викидами, а також через використання правильної сировини відповідно до критеріїв проєктування.

Попередня обробка вихідних матеріалів також використовується для досягнення необхідних умов технологічного процесу, наприклад, дрібні вихідні матеріали або матеріали осадного типу гранулюються або у якості альтернативи змішуються або висушуються та вводяться пневматичним способом. Залежно від наявності органічних матеріалів можуть застосовуватись інші види попередньої обробки, такі як видалення покриття або знемаслювання (див. Розділ 3.3.2.2).

Робота під негативним тиском, ізольовані печі/системи завантаження, відповідні корпуси, покриття, криті жолоби, вторинні витяжні ковпаки з ефективною системою видалення

Можуть застосовуватися герметичні системи завантаження (такі як подвійний конус, герметизація вікна, закриті конвеєри та завантажувальні механізми), а також герметичні або закриті печі. Робота під негативним тиском та з достатньою швидкістю видалення газу застосовується для запобігання підвищенню тиску в печі.

Печі ізолюються у вентильованих корпусах або використовуються покриття. Витяжні системи, такі як витяжні ковпаки, застосовуються для уловлювання диму у секціях завантаження та випускання печі. Ефективність уловлювання залежить від ефективності витяжних ковпаків, цілісності повітроводів та від використання надійної системи контролю тиску/потоку. Використання печі Ausmelt/ISASMELT або KRS допоможе запобігти викидам під час переміщення матеріалів з однієї печі в іншу, оскільки у роботі з цими печами можна застосовувати періодичний двоетапний процес виплавки та конвертування на одній установці.

Використання посиленої системи всмоктування

Регулювання швидкості видалення відповідно до фактичних потреб можливе через застосування вентиляторів з регульованою швидкістю, а також автоматичного налаштування витяжної системи відповідно до умов завантаження. Автоматичне керування заслінками використовується для забезпечення належного видалення та спрямування зусилля витяжки на джерело утворення диму, не витрачаючи надто багато енергії. Елементи керування дозволяють автоматично змінювати точку видалення на різних етапах процесу. Вентилятори з регульованою швидкістю використовуються для забезпечення швидкості видалення, придатної для умов, що змінюються. Також використовуються системи для автоматичного керування вентиляторами, клапанами та заслінками, щоб забезпечити оптимальну ефективність уловлювання та запобігти дифузним викидам.

Безперервний або регулярний контроль за ефективністю роботи всієї витяжної системи, а також регулярний огляд та профілактичне обслуговування печей, витяжних ковпаків, повітроводів, вентиляторів та фільтрувальних систем застосовуються для забезпечення герметичності та запобігання неорганізованим викидам.

Очищення відхідних газів

Зміст вторинних відхідних газів плавильного заводу (первинних і вторинних) залежить від складу використовуваної сировини/палива. Для зменшення викидів в печі можна досягти термічного руйнування летких органічних сполук та діоксинів за температури газу вище 950°C. Повторному утворенню діоксинів перешкоджає швидке охолодження газу (швидке охолодження або котел-утилізатор). Рукавний фільтр використовується для пилу та металів; у деяких випадках у поєднанні із вдуванням активованого вугілля, що також знижує викиди ЛОС, ПХДД/Ф та ртуті. Вторинні гази можна очищати разом з відхідними технологічними газами. Відокремлений пил переробляється на об'єкті або за його межами для вилучення металу.

Первинні відхідні гази з заводів з виплавки вторинного металу, можуть містити діоксид сірки, залежно від складу вихідного матеріалу та використовуваного процесу (наприклад, кокс, необхідний для доменної/шахтної печі). Відхідні гази з високою концентрацією SO_2 з печей, які обробляють матеріали, що містять сірку, обробляються на установці подвійного контактування/подвійної абсорбції для виробництва сірчаної кислоти або на

установці виробництва рідкого SO_2. Перед надходженням у ці процеси технологічні гази можуть бути грубо знепилені в сухому гарячому електростатичному фільтрі та після охолодження та промивання — вдруге у мокрому електростатичному фільтрі. Тепло може бути регенеровано в котлі-утилізаторі, де утворюється пара для використання в інших процесах або для опалення будівель.

Відхідні гази вторинної електричної печі допалюються, охолоджуються, фільтруються у рукавному фільтрі й обробляються на установці з видалення ртуті перед надходженням на кислотну установку без додаткового промивання та охолодження.

Для відхідних газів з низьким вмістом SO_2 видалення діоксиду сірки може бути забезпечене шляхом вдування вапна в рукавний фільтр (див. Розділ 3.3.3.9).

Застосовуються системи видалення ртуті за допомогою абсорбентів або інших технологій, описаних у Розділі 2.12.5.5.

Адсорбенти (наприклад, активоване вугілля) додаються до фільтрувальних систем, якщо це необхідно для зниження вмісту діоксинів та інших ЛОС, або можуть застосовуватись інші технології (див. Розділи 3.3.4.1.2 та 3.3.4.1.3).

Відокремлений пил переробляється на об'єкті або за його межами для вилучення металу.

Вторинні відхідні гази знепилюються у рукавному фільтрі у разі необхідності з вдуванням вапна або іншими добавками.

У Розділах 3.3.3.9, 3.3.4.1.1 і 3.3.4.1.3 описані технології, які необхідно враховувати для запобігання та зменшення SO_2, ПХДД/Ф та NO_X. Розділ 3.3.4.1.2 присвячений використанню РТО.

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення викидів пилу та металів у повітря.
- Зменшення викидів SO_2 у повітря та відновлення сірки.
- Зменшення викидів ПХДД/Ф та ЛОС.
- Відновлення сировини шляхом повторного використання видаленого пилу.
- Регенерація енергії за допомогою котла-утилізатора.

Екологічна ефективність та інформація про функціонування

На підприємстві Aurubis, Гамбург, закрита електрична піч завантажується за допомогою закритих конвеєрних стрічок та герметичної ліфтової системи завантаження. Верхня частина печі розташована під покриттям. Дрібні вихідні матеріали або матеріали осадного типу гранулюються. Первинний відхідний газ печі охолоджується холодним газом, що рециркулює, та повітряно-газовим холодильником. Після охолодження відхідні гази фільтруються у рукавному фільтрі та направляються через установку абсорбції ртуті. Туди після конденсації додають адсорбенти. Додаткова ртуть видаляється за допомогою абсорбера, що містить селен. Потім відхідні гази передаються на кислотну установку подвійного контактування/подвійної абсорбції, якщо вони містять значну кількість SO_2, або в димову трубу, якщо необхідно зменшити лише невеликий вміст SO_2. Витяжні ковпаки вловлюють вторинні гази під час процесу випускання. Головка печі знаходиться повністю під ковпаком. Вторинні гази з електричної печі уловлюються та знепилюються у рукавному фільтрі. Здійснюються безперервні вимірювання концентрації пилу та SO_2. Повідомлені рівні концентрації пилу 0,5–5,5 мг/Нм^3 (в середньому за пів години) та < 0,5–4,2 мг/Нм^3 (в середньому за день). Рівні SO_2 становлять 50–840 мг/Нм^3 (в середньому за пів години) та 50–340 мг/Нм^3 (в середньому за день). Коливання концентрацій SO_2 пов'язані з періодичним характером операції випускання шлаку та металу. Дані показують тривалу нормальну експлуатацію в різних умовах, таких як мінливість вихідного матеріалу, різні навантаження та режими роботи, стирання обладнання та зношування фільтрувальних елементів. Відокремлений пил переробляється на об'єкті або за його межами для вилучення металу.

На підприємстві Aurubis, Люнен, піч KRS належним чином герметизована. Системи завантаження закриті та оснащені системою уловлювання відхідних газів. Льотки обладнані витяжними ковпаками та системами уловлювання відхідних газів. Відхідні гази печі KRS охолоджуються в котлі-утилізаторі й очищаються разом із вторинними газами (з ковпаків) у системі рукавних фільтрів. Відхідні гази печі, в тому числі зі вторинних ковпаків, з потоком близько 500 000 Нм^3/год і вмістом пилу 5000–10 000 мг/Нм^3 очищається у п'яти рукавних фільтрах.

Проводяться безперервні вимірювання рівнів концентрації пилу, SO_2, NO_X, HCl, HF та Hg.

Повідомляється про рівні концентрації пилу < 0,5–5,2 мг/Нм^3 (в середньому за пів години) та < 0,5–2,7 (в середньому за день), тоді як 90–й процентиль середньодобового значення становить < 0,5 мг/Нм^3. Повідомлені рівні SO_2 < 50–1520 мг/Нм^3 (в середньому за пів години) та < 50–303 мг/Нм^3 (в середньому за день). Повідомлені рівні < 0,0037–0,09 мг/Нм^3 (в середньому за пів години) та < 0,01–0,05 мг/Нм^3 (в середньому за день) для ртуті. Концентрації демонструють дуже великі коливання через періодичний характер роботи. Мінімальні та максимальні значення також сильно залежать від вихідного матеріалу кожної партії.

На підприємстві Umicore, Хобокен, піч ISASMELT працює в періодичному режимі зі свинцево-мідним вхідним матеріалом і виробляє чорнову мідь та шлак оксиду свинцю. Чорнова мідь далі обробляється в рафінувальній печі та гранулюється в мідні гранули. Для зменшення кількості технологічних газів застосовується збагачення високовідсотковим киснем. Металоплавильна піч ISASMELT працює під негативним тиском. Первинні відхідні гази допалюються за температури 1000°C, охолоджуються в котлі-утилізаторі з утворенням пари, а потім додатково охолоджуються шляхом упорскування води та випаровування. Потім гази знепилюються в гарячому електростатичному фільтрі із п'ятьма полями. Після швидкого охолодження та подальшого промивання, знепилення у мокрому електростатичному фільтрі та охолодження вони передаються на кислотну установку подвійного контактування/подвійної абсорбції з виділенням SO_2 < 300 мг/Нм^3.

Вторинні гази всмоктуються біля завантажувального отвору, фурмового отвору, льоток та рафінувальної печі за допомогою спеціальних ковпаків; вони очищаються у рукавному фільтрі потужністю 230 000 Нм^3/год; гази викидаються в атмосферу з вмістом пилу менше ніж 1 мг/Нм^3, SO^2 менше ніж 300 мг/Нм$_3$ та діоксинів менше ніж 0,01 нг МТЕ/Нм^3.

На підприємстві Metallo-Chimique, Берсе, мателоплавильна міні-піч ізольована для уловлювання викидів пилу. Відхідні гази можуть очищатися у рукавному фільтрі продуктивністю 100 000 Нм^3/год. Після знепилення газовий потік очищується в адсорбційному фільтрі для уловлювання діоксинів та інших летких органічних сполук. Вимірювання концентрації пилу здійснюються раз на місяць. Можуть підтримуватись рівні викидів пилу < 5 мг/Нм^3. Рівень SO_2 вимірюється безперервно та становить менше < 500 мг/Нм^3 в середньому за день.

Обертовий конвертер з верхнім дуттям також використовується у Metallo-Chimique. Первинні відхідні гази проходять через повітряно-газовий холодильник і циклон перед проходженням через рукавний фільтр (70 000 Нм^3/год) з вдуванням сорбаліту. Вторинний рукавний фільтр (70 000 Нм^3/год) встановлено для очищення викидів з ізоляційного корпусу печі. Можуть підтримуватись рівні викидів пилу між 0,5 мг/Нм^3 та 2 мг/Нм^3. Концентрація SO_2 вимірюється безперервно. Кінцеві викиди пилу постійно контролюються за допомогою трибоелектричних методів вимірювання.

На підприємстві Elmet, Беранго, мателоплавильна міні-піч ізольована для уловлювання викидів пилу. Відхідні гази можуть очищатися у рукавному фільтрі продуктивністю 120 000 Нм^3/год. Вторинні гази очищаються у рукавному фільтрі продуктивністю 55 000 Нм^3/год.

На підприємстві Montanwerke Brixlegg відхідні гази шахтної печі (потік близько 50 000 Нм^3/год) обробляються для видалення пилу в рукавному фільтрі. Органічні речовини, що міститься в газі, руйнуються регенеративним допалювачем. Секції завантаження та випускання шахтної печі обладнані системами вентиляції, а неорганізовані вихлопні гази очищаються в рукавному фільтрі. Повідомлені рівні концентрації пилу 0,5–1,8 мг/Нм^3, SO_2 0,2–86 мг/Нм^3, HCl 2,1–1,5 мг/Нм^3, HF 0–12,3 мг/Нм^3 та CO 0–11 мг/Нм^3 (середні значення трьох пів годинних вимірювань).

На підприємстві Boliden, Рьоннскяр, обертова конвертерна піч з верхнім дуттям використовується для плавлення електронного брухту в чорну мідь. У цій самі печі обробляються свинцеві концентрати. Технологічні гази з обертової конвертерної печі з верхнім дуттям Kaldo обробляються на установці з виробництва рідкого SO_2 та кислотних установках подвійного контактування/подвійної абсорбції. Процес ізольований, а вентиляційні гази (44 000 Нм^3/год) обробляються у рукавному фільтрі. Здійснюються безперервні вимірювання концентрації пилу та SO_2. Повідомлені рівні < 5 мг/Нм^3 для пилу та < 500 мг/Нм^3 для SO_2. NO_X вимірюється один раз на рік і складає менше ніж 200 мг/Нм^3. Рівень ПХДД/ПХДФ вимірюється один раз на рік. Повідомляється про рівні нижче 0,05 нг МТЕ/Нм^3.

Таблиця 3.54: Дані про ефективність та функціонування для процесу виплавки вторинної міді (частина 1)

Компанія	Aurubis, Гамбург	Umicore, Хобокен		Aurubis, Люнен
Тип печі	Електрична піч	Піч ISASMELT		KRS
Потужність печі	13,5 МВт	Завантаження 100 т/год		25–50 т/год Збагачення киснем 25%
Сировинний матеріал	Пил, дрос, шлаки, анодні шлами, що містять низькосортні дорогоцінні метали, брухт мідних сплавів, низькосортний штейн, мідно-свинцеві концентрати та інші матеріали, що містять мідь/свинець.	Побічні продукти виробництва міді, свинцю, цинку, комплексні концентрати, продукти з вичерпаним строком експлуатації, що містять дорогоцінні метали		Мідний брухт та брухт мідних сплавів, електричний та електронний брухт, шлаки з високим вмістом міді, мідний дрос, пил з фільтра та циклону, шлами, осад, матеріали із залізистої міді
Очищення відхідних газів	Вторинні (первинні викиди направляються на Стандартну процедуру оцінки)	Первинні	Вторинні	Первинні + вторинний витяжний ковпак
	Покриття склепіння печі, витяжні ковпаки та льотки, рукавний фільтр	Котел-утилізатор, випарний холодильник, гарячий електростатичний фільтр, кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції	Ковпаки та вентиляція у льотках, жолобах та стендах ковшів, рукавний фільтр	Котел-утилізатор, рукавний фільтр з вдуванням спеціальних абсорбентів для Hg та HF
Макс. швидкість потоку ($Нм^3$/год)	185 000	75 000	270 000	500 000
Рівні викидів (мг/$Нм^3$)				
Періодичність моніторингу	Безперервний	3 рази на рік (3–5 годин)	11 разів на рік (3–5 годин)	Безперервний
Пил	0,5–5,5 (середнє значення за пів години) 0,5–4,2 (середнє значення за день)	0,02–0,44 0,44 ($9^{0\text{-й}}$ процентиль)	0,12–0,33 0,23 ($90^{\text{-й}}$ процентиль)	0,5–5,2 (середнє значення за пів години) 0,5–2,7 (середньодобове значення)
Періодичність моніторингу	Безперервний	Безперервний	11 разів на рік (3–5 годин)	Безперервний
SO_2	50–840 (середнє значення за пів години) < 50–340 (середньодобове значення)	55–246 (середньодобове значення) 125 ($9^{0\text{-й}}$ процентиль — середнє значення за день)	3–383 143 ($9^{0\text{-й}}$ процентиль)	50–1520 (середнє значення за пів години) 50–303 (середньодобове значення)
Періодичність моніторингу	4 рази на рік (3*30 хв)	3 рази на рік (3–5 годин)	Двічі на рік (3–5 годин)	Раз на три роки (6*30 хвилин)
Cu	0,01–0,2	0,003–0,046	0,002	0,03–0,04
Pb	0,01–0,2	0,003–0,046	0,001–0,004	0,01–0,1
As	0,01–0,02	0,0002–0,09	0,0012–0,0018	0,01
Hg	Не повідомлено	0,008–0,018	Не повідомлено	0,0037–0,09 < 0,01–0,05([1])
Cd	< 0,02	< 0,004	0,0002–0,0009	0,01
Ni	< 0,01–0,1	< 0,036	Не повідомлено	0,01

Періодичність моніторингу	Немає даних	Двічі на рік	Раз на рік	Раз на три роки (3*6 годин)
ПХДД/Ф	Не повідомлено	0,001	0,004	0,04–0,08
Періодичність моніторингу	Немає даних	Раз на рік (2 години)	Раз на рік (2 години)	Раз на три роки (6*30 хв)
ЗЛОС	Інформацію не надано.	2	2	7–40
Періодичність моніторингу	Немає даних	9 разів на рік (1–4 години)	4 рази на рік (1–4 години)	Безперервний
NOx	Не повідомлено	64–168	4–20	2–55 (середньодобове значення)

([1]) Безперервні вимірювання, середньодобове значення.
Примітка: Викиди металів значною мірою залежать від складу сировини, що використовується, типу технологічного процесу та ефективності системи фільтрування пилу.

Таблиця 3.55: Дані про ефективність та функціонування для процесу виплавки вторинної міді (частина 2)

Компанія	**Elmet**		**Metallo-Chimique**	**Montanwerke Kovohuty**	**Montanwerke Brixlegg**
Тип печі	Мателоплавильна міні-піч		Мателоплавильна міні-піч	Доменна шахтна піч	Доменна шахтна піч
Потужність печі	Не повідомлено		Не повідомлено	Не повідомлено	Не повідомлено
Сировинний матеріал	Зола, залишки та шлаки, що містять мідь, Низькосортний металобрухт, що містить мідь,		Зола, залишки та шлаки, що містять мідь, Низькосортний металобрухт, що містить мідь,	Оксиди з вмістом міді близько 10–70% плавляться зі шлаками, коксом, діоксидом кремнію та ферроматеріалами (подрібнений мідний, Cu-Fe матеріал)	Пил, зола, шлак, залізиста мідь
Очищення відхідних газів	Первинні	Вторинні	Первинні + вторинні обробляються разом	Первинні + вторинні (система вентиляції секцій завантаження та випускання) обробляються разом	Первинні + система вентиляції секцій завантаження та випускання
	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр	Холодильник, циклон, рукавний фільтр, адсорбційний фільтр з вдуванням сорбаліту	Вторинні витяжні ковпаки з рукавним фільтром	Рукавний фільтр, регенеративний допалювач зі швидким охолодженням (РТО)
Макс. швидкість потоку $Нм^3$/год	120 000	50 000	75 000	25 000	50 000
Періодичність моніторингу	Безперервний	Безперервний	Двічі на рік (4 години)	Раз на рік (3*30 хвилин)	Безперервний ([1]) Раз на три роки([2])
Пил	1,7–3,9 (середнє значення за пів години) 2,5 (в середньому за рік)	14,6 максимальний пік в середньому за пів години 1,5 (в середньому за рік)	0,5	1,5–19,5 13,5 в середньому	3 ([1]) (середньодобове значення) 0,5–1,8 ([2]) (3*30 хвилин)
Періодичність моніторингу	Двічі на рік (30 хвилин)	Двічі на рік (30 хвилин)	Безперервний	Раз на три роки (5*30 хвилин)	Раз на три роки (3*30 хвилин)
SO_2	3–60	0–17	80 (середньорічне значення) 140 ($9^{0\text{-й}}$ процентиль середнього значення за годину)	30–85	0,2–86

Періодичність моніторингу	Раз на рік (30 хвилин)	Раз на рік (3*30 хв)	Двічі на рік (4 години)	Раз на три роки (5*30 хвилин)	Раз на три роки (3*30 хвилин)
Cu (мг/Нм^3)	0,16–0,4	0,15–0,2	0,002–0,007	Були надані зведені дані	0,0005–0,0175
Pb (мг/Нм^3)	0,029–0,05	0,036–0,064	0,0015–0,03		0,0039–0,012
As (мг/Нм^3)	Нижче рівня визначення	0–0,017	Нижче рівня визначення		0,0005–0,001
Hg (мг/Нм^3)	0–0,004	0–0,004	Не повідомлено		0,006–0,056
Cd (мг/Нм^3)	0,007–0,014	0,007–0,01	0,0005–0,001		0,0001–0,003
Ni (мг/Нм3)	0,005–0,007	0,003–0,005	Нижче рівня визначення		0,0001–0,001
Періодичність моніторингу	Раз на рік	Раз на рік	Двічі на рік (6 годин)	Немає даних	Раз на три роки (3*3 години)
ПХДД/Ф (нг МТЕ/Нм^3)	0,05	0,05	< 0,005	Не повідомлено	0,293–0,564
Періодичність моніторингу	Раз на рік (30 хвилин)	Раз на рік (30 хвилин)	Немає даних	Раз на 3 роки (5*30 хвилин))	Раз на три роки (3*30 хвилин)
ЗОВ	4–10	0–1	Не повідомлено	12–56 16 в середньому у формі ЗЛОС	0,1–1,2 у формі органічного С
Періодичність моніторингу	Двічі на рік (30 хвилин)	Двічі на рік (30 хвилин)	Немає даних	Раз на три роки (5*30 хвилин)	Раз на три роки (3*30 хвилин)
NO_X	2–22	0–22	Не повідомлено	10–20	87

Примітка: Викиди металів значною мірою залежать від складу сировини, що використовується, типу технологічного процесу та ефективності системи фільтрування пилу.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення енергоспоживання.
- Використання добавок, таких як вапно, активоване вугілля та інші, для видалення SO_2, діоксинів та ртуті.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес або використаний повторно.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Технології застосовні до нових та наявних заводів з виплавки вторинної міді, залежно від типу сировини.

Застосування мокрого скрубера може бути обмежено у наступних випадках:

- дуже високі швидкості потоку відхідних газів через вплив на різні компоненти довкілля (значні об'єми відходів та відпрацьованих вод);
- у посушливих районах через потребу у великій кількості води, та в очищенні відпрацьованих вод, і через пов'язаний з цим вплив на різні компоненти довкілля.

Відновлення високої концентрації SO_2 у відхідних газах на кислотних установках подвійного контактування/подвійної абсорбції переважно застосовується для печей, що обробляють вторинні матеріали, що містять сірку, або комбінацію вторинних матеріалів і первинних концентратів. Для відхідних газів з низьким вмістом SO_2 застосовуються інші технології видалення SO_2 (див. Розділ 3.3.3.9). Використання технологій зниження вмісту ртуті залежатиме від типу вихідного матеріалу.

Економічні аспекти

Капітальні витрати на установку KRS склали 40 мільйонів євро з використанням наявних установок фільтрування та димової труби [234, UBA Copper, lead, zinc and aluminium 2007].

На підприємстві Aurubis, Гамбург, інвестиційні витрати на встановлення установки з видалення ртуті склали до 5 мільйонів євро (в тому числі на конденсатор, нагрівачі, рукавний фільтр, систему вдування, абсорбер та вентилятори).

Інвестиційні витрати на рукавний фільтр можна оцінити у 10 євро/м^3 очищеного повітря. Інвестиційні витрати на очищення від складніших домішок, ніж пил, наприклад, в установках десульфуризації, скруберах, допалювачах в десять разів більші. Річні експлуатаційні витрати можуть бути оцінені в межах від 0,001 євро/м^3 до 0,01 євро/м^3 в залежності від використовуваних технологій та витрат на електроенергію.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм. Економія енергії та сировини.

Приклади заводів
Aurubis, Гамбург та Люнен (Німеччина), Umicore, Хобокен (Бельгія), Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія), Elmet, Беранго (Іспанія), Montanwerke Brixlegg (Австрія) та Boliden, Рьоннскяр (Швеція).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.4.1.1 Зменшення викидів ПХДД/Ф через використання первинних та вторинних заходів у виробництві вторинної міді

Опис
Технології, які слід розглянути:

- вибір сировини відповідно до печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються;
- оптимальні умови горіння;
- системи завантаження, що подають невеликі добавки сировини, у напівзакритих печах;
- термічне руйнування діоксинів у печі за високих температур (> 850°C);
- вдування кисню у верхню зону печі;
- відмова від витяжних систем, що призводять до високої концентрації пилу за температури > 250°C;
- камера допалювання або допалювач;
- швидке охолодження відхідних газів в діапазоні температур від 400°C до 200°C;
- вдування адсорбенту (наприклад, активованого вугілля, буровугільного коксу, вапна) перед знепиленням;
- ефективна система уловлювання пилу.

Технічний опис
Технічний опис цих технологій див. у Розділі 2.12.5.3.

Органічні сполуки вуглецю, які можуть виділятися, включають ПХДД/Ф, що утворюються внаслідок неповного згорання синтетичних або мінеральних органічних матеріалів (мастила, пластмаси тощо); або в деяких випадках галогени у вихідному матеріалі та в результаті синтезу de novo, якщо гази не охолоджуються досить швидко.

Можна виявити органічне та/або галогенне забруднення вторинної сировини, щоб можна було використовувати найбільш придатну комбінацію печі та метода усунення забруднення для запобігання викидам ПХДД/Ф.

Попередня обробка брухту для видалення органічного забруднення може застосовуватися там, де це необхідно, залежно від конкретної печі або процесу, що використовується.
Покращення умов горіння передбачає використання збагаченого повітря або чистого кисню, а також покращене більш ефективне змішування кисню з горючим матеріалом, що призводить до збільшення температури горіння або часу обробки за високих температур. Як наслідок, ЛОС окиснюються, в тому числі ПХДД/Ф.

Модифікація систем завантаження печей застосовується для забезпечення можливості подавати сировину у напівзакриті печі невеликими, рівномірними кількостями. Це зменшує охолодження печі під час завантаження та підтримує вищі температури газу, що може допомогти оптимізувати процес та запобігти синтезу de novo ПХДД/Ф.

Термічне руйнування діоксинів може бути досягнуте в печі за температури газу вище 850°C та за достатнього часу перебування. Потім запобігання повторного утворення діоксинів досягається шляхом швидкого охолодження газу до 200°C. Допалювачі також можна використовувати для обробки газів, що утворюються, з подальшим швидким охолодженням. Коли немає можливості обробити гази із печей у допалювачі, їх можна піддати окисненню шляхом додавання кисню над зоною плавлення.

ПХДД/Ф можна адсорбувати в активоване вугілля в реакторі з нерухомим або рухомим шаром або вдування введення активованого вугілля або інших добавок у газовий потік з подальшим видаленням у вигляді пилу з фільтра. Кількість та склад добавки значною мірою залежать від умов технологічного процесу, походження та складу вихідних матеріалів.

Високоефективне фільтрування пилу може допомогти у вловлюванні пилу та забезпечити видалення діоксинів, які іноді абсорбуються.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання та зменшення викидів ПХДД/Ф.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Мідь діє як каталізатор утворення діоксинів. Це означає, що плавка вторинної сировини навіть з низьким вмістом органічних сполук і хлору може призвести до вищої кількості діоксинів у неочищених відхідних газах, що можна очікувати у виробництві інших кольорових металів.

Рівень ПХДД/Ф, що викидаються з відхідними газами, також залежить від конкретного параметра процесу (через високий відновний потенціал шахтної печі утворення діоксинів більше, ніж в інших печах) і конкретних характеристик відхідних газів (наприклад, температура, час перебування в різних температурних інтервалах, вміст SO_2).

На підприємстві Aurubis, Люнен, установка KRS призначена для термічного руйнування діоксинів, які можуть утворюватися *у тому числі* під час виплавки, та для запобігання їх синтезу de novo шляхом швидкого охолодження відпрацьованого газу, що виходить з котла-утилізатора, за температури 600°C. Рівні ПХДД/ПХДФ вимірюються один раз на три роки (три проби, шестигодинні вимірювання). Виміряні значення знаходяться в діапазоні від 0,01 нг МТЕ/м^3 до 0,1 нг МТЕ/м^3.

На підприємстві Aurubis, Гамбург, термічне руйнування діоксинів здійснюється в електричних печах за високих температур (вище 950°C). Запобігання повторному утворенню діоксинів забезпечується швидким охолодженням газу. Подальша обробка на кислотній установці також дозволяє уникнути утворення діоксинів.

На підприємстві Aurubis, Олен, була встановлена система вдування вапна та активованого вугілля перед рукавними фільтрами для зменшення викидів діоксинів. Також застосовується попередній відбір брухту для мінімізації кількості потенційного прекурсора або органічного матеріалу. Вимірювання ПХДД/Ф проводяться тричі на рік (шестигодинні вимірювання). Виміряні рівні знаходяться в діапазоні 0,03–0,5 нг МТЕ/Нм^3 (для заводу Contimelt з плавлення та рафінування чорнової міді, високосортного мідного брухту та анодного скрапу) та 0,026–0,25 нг МТЕ/Нм^3 (для заводу Contirod, що обробляє мідні катоди та брухт високої чистоти для виробництва катанки).

На підприємстві Boliden, Рьоннскяр, відхідні гази обертової конвертерної печі з верхнім дуттям різко охолоджуються, потім вдувається вапно й активоване вугілля, а гази знепилюються в рукавному фільтрі. Рівень ПХДД/Ф вимірюється один раз на рік, і повідомляється про рівні нижче 0,05 нг МТЕ/Нм^3.

На підприємстві Umicore, Хобокен, проводяться регулярні перевірки сировини, що надходить, на вміст діоксинів. Діоксини в сировині руйнуються в печі ISASMELT або під

час допалювання. Швидке охолодження газів дозволяє уникнути утворення нових діоксинів; реакція у контактних шарах каталізатора також дозволяє уникнути утворення нових діоксинів. Усі вимірювання у димовій трубі заводу з виробництва сірчаної кислоти нижче 0,001 нг МТЕ/Нм^3.

На підприємстві Montanwerke Brixlegg органічні речовини, що містяться в газі, руйнуються регенеративним допалювачем. Концентрація ПХДД/Ф у відхідних газах шахтної печі була поступово знижена до 0,31 нг МТЕ/Нм^3.

На підприємстві Metallo-Chimique, Берсе, металоплавильна міні-піч оснащена окремим адсорбційним фільтром з вдуванням сорбаліту у кінці виробничого циклу. Сорбаліт — це суміш вапна з активованим вугіллям. На колошнику печі встановлений допалювач. Адсорбційний фільтр у кінці виробничого циклу має потужність 100 000 Нм^3/год. Концентрація ПХДД/Ф вимірюється два рази на рік по шість годин для кожного. Концентрації підтримуються на рівні < 0,1 нг МТЕ/Нм^3.

Обертова конвертерна піч з верхнім дуттям обладнана рукавним фільтром (70 000 нм^3/год) з вдуванням сорбаліту для очищення первинних відхідних газів. Концентрація ПХДД/Ф вимірюється два рази на рік по шість годин для кожного. Підтримуються рівні від 0,01 нг МТЕ/Нм^3 до 0,1 нг МТЕ/Нм^3.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Уловлений пил може мати високі концентрації ПХДД/Ф, і може знадобитися його утилізація або ретельна обробка шляхом повернення у виробничий процес.
- Використання добавок/адсорбентів.
- Збільшення енергоспоживання (допалювач).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна. Оптимальна комбінація технологій, що застосовуються на нових та наявних мідеплавильних заводах, залежить від типу використовуваної сировини та печі.

Економічні аспекти
Щоб знизити витрати на адсорбенти пил з фільтра може бути повернутий у процес.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Aurubis, Гамбург та Люнен (Німеччина), Aurubis, Олен (Бельгія), Umicore, Хобокен (Бельгія), Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія), Montanwerke Brixlegg (Австрія) та Boliden, Рьоннскяр (Швеція).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.4.1.2 Зменшення викидів з печей шляхом використання регенеративного допалювача у виробництві вторинної міді.

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра та РТО.

Технічний опис
Леткі органічні сполуки (ЛОС) і залишковий СО можуть бути небажаними домішками у відхідних газах з печі у вторинному виробництві міді. Для видалення цих домішок з відхідних газів печі можна використовувати комбінацію допалювачів, систем охолодження та систем боротьби з викидами пилу.

Встановлення допалювача забезпечує надлишок кисню, високі температури (> 850°C) та достатній час перебування для розкладання та спалювання всього органічного вуглецю з газового потоку та для технічного руйнування органічних сполук, в тому числі ПХДД/ПХДФ (тобто діоксинів та фуранів). Потім гази різко охолоджують, щоб уникнути повторного утворення діоксинів та фуранів, або, якщо це необхідно, охолоджують для регенерації тепла та пропускають через рукавний фільтр для знепилення.

Регенеративні термічні окисники (РТО) використовують регенеративну систему для використання теплової енергії димових газів. У цій системі використовується шар керамічних матеріалів, який поглинає тепло з димових газів. Уловлене тепло підігріває технологічний газ, що надходить, і руйнує органічні сполуки. Перед надходженням в РТО відхідні гази знепилюються в рукавному фільтрі. Автотермічний режим роботи досягається за певних умов, і тоді додатковий газ для нагрівання не потрібен.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів CO, ЛОС та ПХДД/Ф.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємстві Montanwerke Brixlegg потік відхідних газів всмоктується з шахтної печі та вдувається під тиском в регенеративну камеру допалювання. Вентилятор з регульованою частотою призначений для уловлювання диму та відхідних газів з печі, які потім вдуваються в РТО. Очищений у фільтрі від пилу відхідний газ вдувається в РТО за температури 110°C. В РТО відхідні гази обробляються керамічними колонами й нагріваються до 950°C за допомогою пальника на природному газі, що підтримується прихованим теплом самого газу. Таким чином окиснюються органічні сполуки, у тому числі діоксини, та CO також окислюється до CO_2.

Після рукавного фільтра контролюється вміст ЛОС. Газовий потік та викиди CO постійно контролюються в димовій трубі щодо об'єму, вмісту пилу та CO. Станція моніторингу шахтної печі знаходиться після установки термічного допалювання та перед входом у димову трубу. РТО є окисником трикамерного типу, в якому у якості генеративного матеріалу використовується кераміка. Пальник, що працює на природному газі, є пальником середньої швидкості з максимальним потоком газу 80 $м^3$/год. Сам відхідний газ має середній час перебування в РТО 1,5 секунди. Інтервал обслуговування — кожні шість місяців.

CO та пил у потоці відхідних газів постійно контролюються, а дані зберігаються на внутрішньому сервері. Концентрації пилу та CO постійно реєструються та вносяться в журнал.

Загальна кількість ПХДД/Ф нижче 0,3 $Нг/м^3$, а окиснення CO є ефективним, зі значенням 25 $мг/Нм^3$ в середньому за день, отриманим на основі безперервних вимірювань, тоді як за точкових вимірювань повідомляється про рівні викидів від 0,19 $мг/Нм^3$ до 11 $мг/Нм^3$. Для викидів пилу безперервні вимірювання показують значення 3 $мг/Нм^3$ в середньому за день та значення від 0,5 $мг/Нм^3$ до 1,8 $мг/Нм^3$ для точкових вимірювань (в середньому за пів години).

Вплив на різні компоненти довкілля
РТО має працювати на природному газі.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технологія застосовується до печей з високими залишковими концентраціями ПХДД/Ф та CO.

Економічні аспекти
Експлуатаційні витрати для РТО в основному пов'язані з експлуатацією шахтної печі, відхідні гази з якої обробляються. Кількість природного газу визначається тепловими умовами, необхідними для окиснення органічних сполук у відхідних газах.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Споживання енергії РТО приблизно на 75% нижче, ніж для рекуперативного допалювача.

Приклади заводів
Montanwerke Brixlegg (Австрія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [249, Austria, Brixlegg 2007], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.4.1.3 Зменшення викидів NO_X з печей через використання первинних та вторинних заходів у виробництві вторинної міді

Опис
Технології, які слід розглянути:

- використання чистого кисню для згорання (киснево-паливні пальники);
- використання збагачення киснем у певних умовах;
- подання інертного газу.

Технічний опис
Утворення NO_X під час спалювання визначається температурою та парціальним тиском N_2 у газовій фазі. Оскільки пірометаллургійні процеси вимагають високих температур, заходи щодо зниження викидів NO_X зазвичай ґрунтуються на зниженні парціального тиску N_2. Цього можна досягти шляхом використання для згорання чистого кисню замість повітря.

Однак використання збагачення повітря киснем може мати несприятливий ефект у вигляді місцевого підвищення температури згорання. Це може сприяти утворенню NO_X, тому цей фактор слід ретельно перевіряти.

Крім того, введення «неправильного» повітря в зону згорання (гарячу зону) сприятиме утворенню NO_X, і цього слід уникати або мінімізувати.

Є можливість економити енергію, оскільки немає потреби нагрівати атмосферний азот до температури процесу.

Подання інертного газу знижує утворення оксидів азоту. Такий інертний газ, наприклад, вихлопні гази, можуть бути частково спрямовані назад у камеру згорання. Присутність цих молекул газу перешкоджає швидкому окисненню молекул палива. Крім того, час перебування реагентів має бути якомога меншим.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання викидам NO_X.
- Зменшення димових газів завдяки меншому об'єму газоподібних продуктів згорання.
- Зменшення енергоспоживання.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Повідомляється, що типові рівні викидів оксидів азоту у виробництві вторинної міді знаходяться в діапазоні від 20 мг/м^3 до 400 мг/м^3 залежно від печі та режиму роботи.

Використання чистого кисню в пальнику призводить до зниження парціального тиску азоту в полум'ї у порівнянні з використанням повітря, і, отже, утворення термічних NO_X може бути зменшено. Цього може не відбутись у разі збагачення киснем у пальнику або поруч із ним або у разі значного витоку повітря у піч, оскільки вища температура газу може сприяти утворенню термічних NO_X. В останньому випадку кисень може бути доданий після пальника, щоб зменшити цей ефект та зберегти швидкість плавлення.

Рівні викидів оксидів азоту у вторинному виробництві міді змінюються в залежності від геометрії печі та типу роботи, а також від типу палива, конструкції пальника, послідовності згорання та швидкості виділення тепла та передачі тепла. Для NO_X використання високоефективних процесів (наприклад, Contimelt) вимагає встановлення на місцях балансу між споживанням енергії та досягнутим значенням.

Також слід враховувати присутність навколишнього повітря в печі. У багатьох випадках важко уникнути надходження навколишнього повітря. Щоб досягти цього, піч повинна бути повністю закрита або працювати під надлишковим тиском (хоча це може призвести до дифузних викидів).

У Таблиці 3.56 наведено дані, пов'язані з викидами NO_X.

Таблиця 3.56: Викиди та інформація про функціонування щодо викидів NO_X у виробництві міді

Виробничий майданчик	Джерело викидів	Діапазон NO_X (mg/Nm^3 у перерахунку на NO_2)	Коментар
Aurubis, Люнен, Німеччина	Анодна піч	0–625 (середнє значення за пів години) 280 ($9^{5-й}$ процентиль середнього значення за пів години) 0–171 (середньодобове значення)	Збагачення повітря для згорання киснем Безперервні вимірювання
Aurubis, Люнен, Німеччина	Піч KRS	0–467 (середнє значення за пів години) 105 ($9^{5-й}$ процентиль середнього значення за пів години) 0–54 (середньодобове значення)	Збагачення повітря для згорання киснем Безперервні вимірювання
Aurubis, Люнен, Німеччина	Обертова конвертерна піч з верхнім дуттям	0–260 (середнє значення за пів години) 150 ($9^{5-й}$ процентиль середнього значення за пів години) 0–102 (середньодобове значення)	Збагачення повітря для згорання киснем Безперервні вимірювання
Aurubis, Олен, Бельгія	Процес Contimelt	178–700	Пальники, що працюють на кисні та природному газі Безперервне вимірювання, раз на місяць (1*60 хв)
Montanwerke Brixlegg, Австрія	Доменна піч	45 (середнє значення за пів години)	Киснево-паливний пальник (в зоні входу газу)
Montanwerke Brixlegg, Австрія	Конвертер	10 (середнє значення за пів години)	Киснево-паливний пальник (передній основний пальник)
Montanwerke Brixlegg, Австрія	Анодна піч (закритий пальник)	50–200 (середнє значення за пів години)	Киснево-паливний пальник (закриті пальники)
Джерело: [383, Copper subgroup 2012], [385, Germany 2012]			

Вплив на різні компоненти довкілля

Вищі температури відхідного газу зменшують строк експлуатації вогнетривкої футерівки.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Киснево-паливне спалювання можна застосувати до більшості пірометалургійних процесів. Технології, що застосовуються, залежать від геометрії печі та типу роботи, а також від типу палива, конструкції пальника, послідовності згорання та швидкості виділення тепла та передачі тепла. Технології застосовні за умови відсутності навколишнього повітря в печі. Повна перевага досягається, коли конструкції камери згорання та систем боротьби з викидами можуть врахувати менші об'єми газу. Це можна зробити для нових заводів/установок або для модернізованих наявних заводів/установок.

Економічні аспекти
Економічні переваги киснево-паливних пальників здебільшого пов'язані з підвищенням швидкості виробництва та зниженням витрат на енергетичні ресурси (оскільки системи боротьби з викидами можуть бути меншими).

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія енергоресурсів.
- Потенційно менший час плавлення через вищу температуру полум'я пальника.

Приклади заводів
Aurubis, Люнен (Німеччина), Aurubis, Олен (Бельгія) та Montanwerke Brixlegg (Австрія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.4.2 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря з печей витримки у виробництві вторинної міді

Печі витримки у виробництві вторинної міді використовуються для забезпечення безперервної обробки розплавленого металу (наприклад, чорної міді, конвертерної міді, чорнової міді) та досягнення належного розділення металу та шлаку.

Печі витримки розміщуються після металоплавильних печей або конвертерів для зберігання розплавленого металу або шлаку, що очікують подальшої обробки та рафінування в інших пристроях. Це забезпечує належний, плавний виробничий потік з достатньою потужністю для розплавленого металу та з меншими експлуатаційними витратами. Цей проміжок часу в печах витримки дозволяє здійснити подальше відділення чорної/конвертерної міді від шлаку.

Печі витримки зазвичай є горизонтальними барабанними печами, які завантажуються через жолоб/канал або ківш. Печі можуть використовувати різні види палива (мазут, природний газ), а також киснево-паливні пальники для підтримки необхідної температури плавлення.

Опис
Технології, які слід розглянути для зменшення викидів від печей витримки:

- закрита піч;
- ковпаки-уловлювачі або витяжні ковпаки, вбудовані в кран у точках завантаження та випускання;
- покриття або корпус приймального ковша;
- третинна система уловлювання диму, така як, «house-in-house»;
- підтримання температури в печах на найнижчому необхідному рівні;
- системи видалення газу у зонах завантаження та випускання;
- негативний тиск у печі та за маршрутом димових газів;
- охолодження димових газів і рукавні фільтри.

Технічний опис
Технології запобігання та уловлювання описані у Розділі 2.12.4.3.

Відхідні гази печі витримки та вторинний вентиляційний газ охолоджуються та знепилюються в рукавних фільтрах (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання та зменшення викидів пилу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємстві Montanwerke Brixlegg розплавлена чорна мідь відокремлюється від шлаку у шахтній печі. Чорна мідь проходить по обкладеному цеглою каналу в піч витримки. Піч витримки є горизонтальною барабанною піччю з вогнетривкою футерованою внутрішньою поверхнею. Діаметр складає 4,1 метра, довжина — 8,25 метра. Циркуляція мідного розплаву всередині печі витримки забезпечується висхідним продувальним газом (в основному повітрям, отже, переважно N_2), який розсіюється через пористі продувні вставки. Для підтримки необхідної температури плавлення природний газ спалюється пальником збоку потужністю 1,2 МВт. Чорна мідь далі переміщається краном та ковшами в конвертер. У процесі переміщення відхідні гази, а також димові гази з печі витримки всмоктуються витяжним вентилятором в рукавний фільтр. Для печі витримки використовується природний газ (~500 000 $м^3$/рік). Поворотний двигун печі витримки працює від електрики. Піч витримки використовується приблизно 240 днів на рік, обробляючи 15 тис. тонн чорної міді. Установки вимірювання рівня концентрації пилу та відхідних газів печі витримки розташовані у вертикальній круглій свинцевій трубі для відпрацьованих газів з вихідною поверхнею 900 $мм^2$. Потік відхідних газів постійно контролюється, а дані зберігаються на внутрішньому сервері. Дифузні та прямі викиди від процесу очищаються (знепилюються) у рукавному фільтрі. Середні значення викидів пилу становлять близько 2 $мг/м^3$.

У конвертерному цеху північного заводу Aurubis, Гамбург, чорна мідь з електричної металоплавильної печі перед подальшим конвертуванням передається до печі витримки. Піч витримки знаходиться всередині закритого приміщення та додатково розміщена під належним чином герметизованим покриттям, що вентилюється до фільтрувальної системи (система уловлювання «house-in-house»). Операції завантаження/випускання переважно відбуваються всередині цього покриття, обладнаного внутрішнім краном. Візок для завантаження для транспортування ковшів вентилюється (наприклад, за допомогою вихрових ковпаків) (див. Розділ 3.3.4.4, Система уловлювання «House-in-house»).

На підприємстві Aurubis, Люнен, розплавлена чорна мідь та шлак із KRS випускаються в печі витримки. Печі витримки є закритими. Дифузні викиди під час завантаження та випускання уловлюються витяжними ковпаками та системою вентиляції. Приймальний ківш знаходиться під покриттям. Відхідні гази з печей витримки обробляються разом зі вторинними газами KRS (див. Розділ 3.3.4.1). Метал з обертового конвертера з верхнім дуттям також може бути переданий у піч витримки перед подальшим рафінуванням. Піч витримки разом з обертовим конвертером з верхнім дуттям знаходиться в окремому закритому приміщенні, з якого повітря відсмоктується й очищається на установці фільтрування відхідних газів. Операції із завантаження та розвантаження виконуються за допомогою крана, який має вбудований ковпак для уловлювання супутніх димів. Витяжний ковпак з'єднаний з відхідними газоочисним і фільтрувальним обладнанням за допомогою стрічкової системи. Відхідні гази печі витримки вловлюються ковпаком і очищаються в рукавному фільтрі разом з відхідним газом обертового конвертера з верхнім дуттям (див. Розділ 3.3.4.3).

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії (наприклад, для вентиляторів та рукавного фільтра).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна. Витяжний ковпак, вбудований у кран, застосовується лише для нових або повністю реконструйованих установок. Технології «house-in-house» підходять для зменшення дифузних викидів від процесів випускання та завантаження печей.

Економічні аспекти
На підприємстві Montanwerke Brixlegg споживання природного газу для печі витримки становить 500 000 $м^3$/год.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Montanwerke Brixlegg (Австрія), Aurubis, Гамбург та Люнен (Німеччина).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.4.3 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря з конвертерних печей у виробництві вторинної міді

На етапі конвертування у виробництві вторинної міді використовуються конвертери Пірса-Сміта та обертові конвертери з верхнім дуттям, що працюють у періодичному режимі. Конвертери Пірса-Сміта обробляють рідкий мідно-свинцевий штейн, шлаки з високим вмістом міді в деяких випадках або чорну мідь з додаванням твердого мідного брухту або електронного брухту, а також іншу мідь/свинець або матеріали, що містять низькосортні дорогоцінні метали. До вихідних матеріалів Пірса-Сміта для обробки шлаку відносять брухт сплаву, відповідний брухт Cu-Fe і чорну мідь. Обертовий конвертер з верхнім дуттям застосовується для обробки чорної міді, мідного брухту та брухту мідних сплавів.

Печі Ausmelt/ISASMELT та KRS також використовуються для періодичного двоетапного процесу виплавки та конвертування (див. Розділ 3.3.4.1).

Опис
Технології, які слід розглянути:

- ізольовані печі;
- робота під негативним тиском та з посиленою системою всмоктування;
- корпуси та покриття;
- первинні та вторинні витяжні ковпаки та додавання брухту/флюсів через ковпак;
- витяжний ковпак, вбудований у кран, для процесів завантаження та випускання;
- третинна система уловлювання диму, така як, «house-in-house» з належною витяжною системою;
- системи охолодження з рукавним фільтром або електростатичним фільтром;
- Системи видалення SO_2.

Технічний опис
Запобігання викидам пилу та уловлювання газу
Робота конвертера заснована на негативному тиску та використанні первинних, вторинних або третинних витяжних ковпаків. Пил, флюси та брухт можуть бути додані через ковпак. Обертовий конвертер з верхнім дуттям є компактним та закритим, що дозволяє уловлювати вторинний дим. Автоматичне керування допоможе запобігти витоку в періоди, коли конвертер відхиляється.

Конвертери можуть бути оснащені вторинними ковпаками для вловлювання дифузних викидів поряд з джерелом утворення викидів під час процесів завантаження або випускання. Всмоктування відбувається безпосередньо біля джерела диму для зменшення дифузних викидів. Автоматизовані системи використовуються для автоматичного керування вентиляторами на етапах процесу, в результаті яких утворюється дим. Також використовуються вентилятори із регульованою швидкістю. У разі потреби застосовується вентиляція даху плавильного цеху.

Гази, які не уловлюються вторинними витяжками, можуть уловлюватися третинною системою уловлювання, яка охоплює всю робочу зону, наприклад, за системою «house-in-house» (див. Розділ 3.3.4.4). Витяжний ковпак, вбудований у кран, також використовується як ефективний пристрій для зниження викидів під час завантаження та випускання матеріалу з вторинної конвертерної печі, наприклад обертових конвертерів з верхнім дуттям.

Очищення відхідних газів
Відхідні гази конвертерів у процесах виробництва вторинної міді обробляються шляхом охолодження газу (з регенерацією тепла/енергії, якщо це можливо), відділення грубодисперсних часток, видалення пилу в електростатичному фільтрі або рукавному фільтрі, а також для видалення SO_2.

Технології, що застосовуються для видалення SO_2, пов'язані з сировиною, що використовується, та до них належать кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції (див. Розділ 2.12.5.4.1), мокрий скрубер з $Mg(OH)_2$, скрубер з NaOH або інші застосовні технології (див. Розділ 3.3.3.9).

Вторинні гази очищуються в рукавному фільтрі. Вдування вапна може застосовуватися, якщо є суттєві викиди SO_2.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу, металів та SO_2.
- Зменшення дифузних викидів.
- Димовий пил може бути повернений у процес або перероблений за межами об'єкта.
- Відпрацьований промивний розчин (скруберу з NaOH) використовується для різкого охолодження у системі KRS, де відбувається випаровування, тому свіжа вода не використовується.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємстві Aurubis, Люнен, обертова конвертерна піч з верхнім дуттям використовується для конвертування чорної міді. Вона знаходиться в окремому закритому приміщенні, повітря з якого відсмоктується й очищається на установці фільтрування. Всі дими від операцій завантаження та розвантаження вловлюються витяжним ковпаком, вбудованим в кран, у новій конструкції та, крім того, вентиляцією даху плавильного цеху. Витяжний ковпак з'єднаний з відхідними газоочисним і фільтрувальним обладнанням за допомогою нещодавно розробленої стрічкової системи. Максимальний розрахунковий об'єм вентиляційних відхідних газів (з витяжного ковпака, плавильного цеху та печі витримки) становить 230 000 $Нм^3$/год. Відхідні гази обертової конвертерної печі з верхнім дуттям (70 000 $Нм^3$/год) вловлюються іншим ковпаком і очищаються в окремому фільтрі. Відхідний газ обертового конвертера з верхнім дуттям з високим вмістом SO_2 (що виникає на етапі максимальної конверсії) очищається в скрубері з NaOH для зменшення викидів SO_2 (див. Розділ 3.3.3.9).

Проводяться безперервні вимірювання рівнів концентрації пилу, SO_2, NO_X, HF та HCl. Рівні концентрації пилу становлять від < 0,5 мг/$Нм^3$ до 0,8 Нг/$нм^3$ (в середньому за пів години) та < 0,5 мг/$Нм^3$ (90-й процентиль середньодобових значень). Рівні SO_2 нижче 270 мг/$Нм^3$ в середньому за добу (90-й процентиль середньодобових значень становить 206 мг/$Нм^3$). Викиди NO_X становлять < 50–250 мг/$Нм^3$ (в середньому за пів години); 50–100 мг/$Нм^3$ (в середньому за день), (90-й процентиль середньодобових значень становить 60 мг/$Нм^3$). Концентрації демонструють дуже великі коливання через періодичний характер роботи. Мінімальні та максимальні значення також сильно залежать від вихідного матеріалу кожної партії.

Система KRS (див. Розділ 3.3.4.1) також підходить для етапу конвертування.

Компанія Aurubis, Гамбург, використовує один невеликий конвертер Пірса Сміта для перетворення мідного штейну або мідно-свинцевого штейну на чорнову мідь. Відхідні гази конвертера охолоджуються, грубодисперсні частки видаляються в пиловловлювальній камері, після чого газ знепилюється в електростатичних фільтрах і спрямовується на кислотну установку подвійного контактування/подвійної абсорбції. Вторинні гази з конвертерної зони вловлюються та знепилюються в кількох рукавних фільтрах з вдуванням вапна. Конвертер обладнаний ковпаками-вловлювачами та додатково поміщений під належним чином герметизоване покриття, що вентилюється до фільтрувальної системи, наприклад, системи уловлювання «house-in-house». Всі операції з розливання та транспортування відбуваються всередині цього покриття, обладнаного з цією метою мостовим краном (візком для завантаження). Переміщенням крану та конвертера управляють дистанційно. Здійснюються безперервні вимірювання концентрації пилу та SO_2 (у вторинному газі). Повідомлено про рівні 0,5–10 мг/$Нм^3$ для пилу та 50–1425 мг/$Нм^3$ для SO_2 в середньому за пів години. Високий вміст SO_2 виникає, коли конвертер переміщається з-під основного ковпака для процесу завантаження або випускання.

На підприємстві Boliden, Рьоннскяр, використовується той самий конвертер Пірса-Сміта, що й для виробництва первинної міді (див. Розділ 3.3.3.3).

Обертовий конвертер з верхнім дуттям використовується на підприємстві Metallo-Chimique, Берсе. Первинні відхідні гази проходять через повітряно-газовий холодильник і циклон перед надходженням у рукавний фільтр (70 000 $Нм^3$/год) з вдуванням сорбаліту. Вторинний рукавний фільтр (70 000 $Нм^3$/год) встановлено для очищення викидів з ізоляційного корпусу печі.

На підприємстві Montanwerke Brixlegg чорна мідь обробляється в конвертерній печі Пірса Сміта разом із брухтом мідних сплавів, латунним шлаком, бронзою та латунню з низьким вмістом цинку. Відхідний газ очищується мокрим скруберам, що працює на $Mg(OH)_2$ для видалення SO_2 Отриманий $MgSO_4$ продається у якості добавки для використання у будівництві. Конвертерна піч також обладнана азотними очисниками. Конвертерна секція обладнана системою вентиляції (45 000 $м^3$/год), відхідний газ очищається в рукавних фільтрах. Викиди становлять 2,1–5,9 мг/$Нм^3$ для пилу (в середньому за пів години, періодичні вимірювання), 5–30 мг/$Нм^3$ для SO_2 (в середньому за пів години, періодичні вимірювання) та 0–3,2 мг/$Нм^3$ для HF (в середньому за пів години, періодичні вимірювання). Інформація про функціонування підсумована у Таблиці 3.57.

Таблиця 3.57: Дані про функціонування та ефективність вторинних конвертерів

Компанія	**Aurubis, Люнен**	**Aurubis, Гамбург**	**Metallo-Chimique, Берсе**	**Montanwerke Brixlegg**
Сировинний матеріал	Чорна мідь, брухт сплавів	Мідний штейн (розплавлений або твердий), мідно-свинцевий штейн, шлаки з високим вмістом міді, чорна мідь, твердий мідний брухт або електронний брухт та інші мідно-свинцеві матеріали, що містять низькосортні дорогоцінні метали	Чорна мідь, матеріал/брухт з міді та мідного сплаву	Чорна мідь, брухт сплаву, латунний шлак, бронза, латунь з низьким вмістом цинку
Тип печі	Обертовий конвертер з верхнім дуттям* (120 т/завантаження)	Конвертер Пірса Сміта	Обертовий конвертер з верхнім дуттям (120–160 т/завантаження)	Конвертер Пірса Сміта
Очищення первинного газу	Охолодження, рукавний фільтр та скрубер з NaOH	Пиловловлювальна камера, електростатичний фільтр, промивання та охолодження, кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції (див. також Розділ 2.7.2)	Холодильник, циклон, рукавний фільтр з вдуванням сорбаліту	Рукавний фільтр + мокрий скрубер з $Mg(OH)_2$
Макс. швидкість потоку ($Нм^3$/год)	70 000	Див. Розділ 2.7.2	62 000	40 000
Параметр	**Рівні викидів (мг/$Нм^3$)**			
Періодичність моніторингу	Безперервний	Немає даних	Двічі на рік (4 години)	Безперервний** Періодичний***
Пил	< 0,5–0,8 (в середньому за пів години) < 0,5 (середньодобове значення) < 0,5 ($9^{0-й}$ процентиль, середньодобове значення)	Не застосовується	< 0,5–1,3 0,9 (в середньому за рік)	3 (середньодобове значення**) 2,1–5,9 (кожні 3 роки 3x0,5 годин***)
Періодичність моніторингу	Безперервний	Безперервний	Безперервний	Безперервний** Періодичний***
SO_2	< 50–040 (середнє значення за пів години) < 50–270 (середньодобове значення) 206 ($9^{0–й}$ процентиль, середньодобове значення)	330–1980 (середнє значення за пів години) 270–1080 (середньодобове значення) Див. також Розділ 2.7.2	494 (середньорічне значення, засноване на середньодобовому значенні) 664 ($9^{0-й}$ процентиль, середньодобове значення)	30 (середньодобове значення**) 5–30 (кожні 3 роки 3x0,5 годин***)
Періодичність моніторингу	6 разів на рік (30 хвилин)	Немає даних	Двічі на рік (4 години)	Кожні 3 роки (3*30 хв***)
Hg	0,001–0,009	Не застосовується	Не повідомлено	Не повідомлено
Cu	Не повідомлено		0,0016–0,02	0,0035
Pb	0,003–0,009		0,0023–0,0026	0,002

As	Не повідомлено		< 0,0005	0,0002
Cd	0,001–0,017		< 0,0005–0,0012	< 0,0001
Періодичність моніторингу	6 разів на рік (6 годин)	Немає даних	Двічі на рік (6 годин)	Кожні 3 роки (6 годин)***
ПХДД/Ф нг МТЕ/Нм^3	0,01–0,06	Не застосовується	0,015–0,019	0,0009–0,0115
Джерела уловлювання вторинного газу	Вентиляція даху плавильного цеху Витяжні ковпаки, вбудовані в кран	Система уловлювання «house-in-house»	Вторинний витяжний ковпак конвертера	Вентиляція, частина централізованої системи (див. Розділ 3.3.4.4)
Очищення вторинного газу	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр із вдуванням вапна	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр
Макс. швидкість потоку (Нм^3/год)	230 000	250 000	67 000	150 000
Періодичність моніторингу	Безперервний (вторинний газ, що викидається разом з первинним відхідним газом, див. дані вище)	Безперервний	Двічі на рік (4 години)	Безперервний** Періодичний***
Пил	Див. інформацію вище	< 0,5–10 (в середньому за пів години) 0,8–2,7 (в середньому за годину на день) 2–4 (в середньому за рік)	< 0,5	2 (середньодобове значення**) 1,2–5 (кожні 3 роки 3x0,5 годин***) середньодобове значення
Періодичність моніторингу	Безперервний (вторинний газ, що викидається разом з первинним відхідним газом, див. дані вище)	Безперервний	Не виміряно	Не виміряно
SO_2	Див. інформацію вище	< 50–1425 (середнє значення за пів години) 65–250 (в середньому за годину на день) 100–200 (в середньому за рік)	Не виміряно	Не виміряно
Періодичність моніторингу	Див. інформацію вище	4 рази на рік (3*30 хв)	Двічі на рік (4 години)	Кожні 3 роки (3*30 хв***)
Cu	Див. інформацію вище	< 0,01–0,23	0,0008–0,0028	0,06
Pb		0,01–0,3	0,0009–0,0032	0,04
As		< 0,01–0,07	< 0,0005	0,0013
Cd		< 0,01–0,02	< 0,0005	0,0005

* Обертова конвертерна піч з верхнім дуттям на підприємстві Aurubis, Люнен, нещодавно введена в експлуатацію та все ще знаходиться на стадії оптимізації, тому доступні лише попередні дані.
** Значення стосуються безперервного моніторингу.
*** Значення стосуються періодичного моніторингу.
Примітка: Викиди металів значною мірою залежать від складу сировини, що використовується, типу технологічного процесу та ефективності системи фільтрування пилу.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012] [385, Germany 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення енергоспоживання.
- Системи мокрого очищення газів (скрубери) можуть утворювати суспензію та додаткові відходи та стічні води, що потребують очищення.

- Використання вапна або інших добавок для видалення SO_2.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Рукавні фільтри застосовні до нових та наявних установок. Скрубери застосовні для нових установок, а також коли проводиться капітальна модернізація або переобладнання наявних установок, оскільки необхідно враховувати утворення суспензії та додаткові заходи для очищення відпрацьованих вод.
Відновлення SO_2 на кислотних установках подвійного контактування/подвійної абсорбції переважно застосовується для вторинних конвертерів для обробки штейну, встановлених на об'єктах виробництва первинної міді, оскільки вони оснащені установками з виробництва сірчаної кислоти. Витяжний ковпак, вбудований у кран, застосовується лише для нових або повністю реконструйованих установок.

Технологія «house-in-house» застосовується для зменшення викидів під час процесів випускання та завантаження печей.

Економічні аспекти
Відомо, що капітальні витрати на систему «house-in-house» становили до 6 млн євро.

Компанія Aurubis, Люнен, повідомила про інвестиції у розмірі близько 17,5 млн євро у заходи із захисту довкілля, впроваджені в рамках проєкту TBRC (в тому числі на витяжний ковпак, вбудований в кран, систему уловлювання газів, скрубер з NaOH і новий рукавний фільтр).

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Aurubis, Люнен та Гамбург (Німеччина), Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія), Montanwerke Brixlegg (Австрія) та Boliden, Рьоннскяр (Швеція).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.4.4 Технології запобігання та зменшення вторинних викидів у повітря з допоміжних пристроїв у виробництві вторинної міді

Опис
Технології, які слід розглянути:

- вторинні витяжки для уловлювання пари від операцій з випускання, лиття та транспортування;
- покриття печі або третинна система уловлювання диму, така як, «house-in-house»;
- витяжні системи з автоматичною роботою вентиляторів та подальшим очищенням відхідних газів у рукавних фільтрах або скруберах.

Технічний опис
Дим від зон завантажування, льоток, установок для лиття, жолобів і стендів ковшів вловлюється ковпаками-вловлювачами, а вихлопні гази очищаються у рукавному фільтрі.

Вологі гази, наприклад, після гранулювання, уловлюються ковпаками та перед викидом в атмосферу використовуються мокрі скрубери.

Концепція «house-in-house» є складною технологією. Агрегати (печі витримки, конвертери та установки для лиття), встановлені всередині закритих виробничих будівель, не тільки забезпечені ковпаками-вловлювачами, а й додатково розміщені під належним чином герметизованим покриттям, що вентилюється у фільтрувальну систему. Всі операції з розливання, лиття та транспортування переважно відбуваються всередині цього покриття, обладнаного з цією метою мостовим краном (візком для завантаження). Переміщення крану, ливарних пристроїв та конвертера управляються дистанційно, щоб експлуатаційний персонал не піддавався впливу диму. Транспортування у ковші розплавлених матеріалів

здійснюється моторизованими поїздами з тросовим управлінням, які також керуються дистанційно. Таким чином, дифузні викиди із заповнених ковшів під час транспортування з конвертера в піч витримки ефективно уловлюються витяжними вихровими ковпаками.

Дифузні викиди від процесу розливання або завантаження печей вловлюються або первинними витяжними ковпаками, або покриттям системи «house-in-house» (див. Рисунок 2.2). Відхідні гази системи «house-in-house» очищаються в рукавному фільтрі з вдуванням вапна та викидаються в атмосферу через димову трубу.

Автоматизована система використовується для автоматизованого керування вентиляторами під час роботи етапів процесу, під час яких утворюється дим. Концепція «house-in-house» використовує цей принцип для запобігання надмірному споживанню енергії.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення дифузних викидів пилу та SO_2.
- Пил повертається на етапи обробки або продається третім сторонам для вилучення цінних металів.
- Зменшення викидів пилу з конвертерного цеху заводу з виплавки вторинної міді на 75% шляхом застосування технології «house-in-house» виключає необхідність встановлення системи вентиляції будівлі. Робочі місця більше не розташовані в безпосередній близькості від джерел викидів, що сприяє покращенню охорони праці та техніки безпеки.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Концепція «house-in-house» застосовується на заводі з виплавки вторинної міді в компанії Aurubis, Гамбург. Здійснюються безперервні вимірювання концентрації пилу та SO_2. Повідомлені рівні концентрації пилу 0,5–10 мг/Нм^3 (в середньому за пів години) та 0,8–2,7 мг/Нм^3 (в середньому за день). Повідомлені рівні SO_2 50–1425 мг/Нм^3 (в середньому за пів години) та 65–250 мг/Нм^3 (в середньому за день). Дані показують тривалу нормальну експлуатацію в різних умовах, таких як різний вихідний матеріал, навантаження та режими роботи, а також стирання обладнання та зношування фільтрувальних елементів. Високий вміст SO_2 виникає, коли конвертер переміщається з-під основного ковпака для процесу завантаження або випускання.

На підприємстві Umicore, Хобокен, дифузні викиди газу з льоток, жолобів та стендів ковшів вловлюються; вловлені відхідні гази очищаються на рукавному фільтрі потужністю 230 000 Нм^3/год; гази викидаються в атмосферу із вмістом пилу менше ніж 1 мг/Нм^3. Вологий дим від процесу гранулювання міді з великою кількістю домішок очищаються й ефективно зневоднюються, у результаті вміст пилу становить < 5 мг/Нм^3.

На підприємстві Montanwerke Brixlegg секції завантаження та випускання шахтної печі, печі витримки, конвертера та анодної печі обладнані системами вентиляції для уловлювання диму та централізованого очищення у рукавному фільтрі (160 000 Нм^3/год). На кожній із димових труб на об'єкті у м. Брикслегг проводяться безперервні вимірювання концентрації пилу. Для пилу середнє значення становить близько 3 мг/Нм^3.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Використання вапна або інших добавок для видалення SO_2.
- Обробка димового пилу необхідна для видалення домішок перед повторним використанням пилу.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна. Технологія «house-in-house» застосовується для зменшення викидів від процесів випускання та завантаження печей та лиття для нових установок або під час капітальної модернізації наявної установки.

Економічні аспекти
Відомо, що капітальні витрати на систему «house-in-house» становили до 6 млн євро.

Стимул до впровадження

- Вимоги законодавства з охорони довкілля.
- Зменшення дифузних викидів та відновлення сировини.
- Об'єм відхідних газів, що підлягають видаленню та очищенню в рамках концепції «house-in-house», менший у порівнянні зі звичайними системами вентиляції будівлі, а, отже, потреби в енергії значно нижчі.

Приклади заводів
Aurubis, Гамбург (Німеччина), Umicore, Хобокен (Бельгія) та Montanwerke Brixlegg (Австрія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.5 Обробка міді

3.3.5.1 Технології зменшення викидів під час плавлення та лиття для виробництва форм, виливків та катанки з міді та мідних сплавів

Катанка виготовляється з мідних катодів високої чистоти, мідного брухту або низьколегованої міді шляхом безперервних процесів, таких як Contirod, процес SCR (Southwire Continuous Rod) або процесу лиття вгору.

Форми з міді та мідних сплавів (бруски та брикети), стрічки та виливки в основному виробляються в процесах безперервного лиття, напівбезперервного лиття або лиття виливків.

Опис
Технології, які слід розглянути:

- вибір та подання сировини відповідно до печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються;
- застосування комплексного контролю вологості для запобігання викидам у повітря;
- використання ізольованого обладнання, ковпаків та покриттів;
- допалювач або вдування активованого вугілля із системою фільтрування;
- рукавний фільтр;
- нагрівання вихідних матеріалів та/або повітря для згорання димовими газами шахтної печі;
- використання систем непрямого охолодження або замкнутого циклу водяного охолодження;
- повторне використання емульсії процесів прокатки.

Технічний опис
Плавлення міді та мідних сплавів відбувається у різних типах печей залежно від процесу лиття та сировини. Печі бувають або з паливним нагрівом (шахтні печі або обертові печі), або з електричним нагрівом (індукційні печі або печі опору).

Шахтні печі використовуються для плавлення мідних катодів та іншого чистого мідного брухту виробництва для катанки, а також для форм або стрічок. Ці печі зазвичай нагріваються пальниками, що працюють на природному газі. Електричні печі використовуються для плавлення мідних сплавів, а також чистої міді.

Для коригування складу сплаву в печах тигельних або обертових печах можна здійснювати певний ступінь плавлення та вогняного рафінування.

Печі витримки використовуються після плавильних печей. У цих печах розплав кондиціонується та гомогенізується за температурою та складом. Піч витримки може нагріватися паливом або електрикою або їх комбінацією. У деяких випадках плавлення та витримку здійснюють в одній печі.

Розплавлений метал переміщають у нагрітих жолобах або ковшах з печі в піч або з печі в ливарний агрегат.

Вибір та подання сировини відповідно до печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються
Застосування наступних інтегрованих у процес заходів запобігає викидам у повітря.

- Введення відсортованого або попередньо обробленого брухту (менший вміст домішок, переважно без змащувально-охолоджувальних рідин, ущільнений брухт, гранульована стружка). Для виробничих цілей зазвичай використовується класифікація EN 12861:1999.
- Залежно від типу печі введення брухту з нижчим вмістом вологи (наприклад, використання підготовленої стружки, попереднє сушіння або термічна обробка).
- Дотримання порядку завантаження та подальше подання матеріалу в плавильну установку якомога більш безперебійно.
- Контрольоване подання цілісних катодів (наприклад, процес Upcast).
- Забезпечення безпосереднього занурення стружки в розплав під час використання індукційних печей та дотримання відповідного режиму завантаження під час завантаження шахтної печі.
- Підтримка контрольованого співвідношення палива та повітря в газоподібних продуктах згорання залежно від типу печі та умов експлуатації

Застосування комплексного контролю вологості для запобігання викидам у повітря

- Регулювання температури розплаву для запобігання його перегріву.
- Використання передових методів контролю співвідношення газу та кисню у шахтній печі для оптимізації горіння.

Використання ізольованого обладнання, ковпаків та покриттів
Дифузні викиди від агрегатів для плавлення міді та мідних сплавів можуть виникати в умовах плавлення, а також, залежно від складу матеріалу, під час декантації, випускання шлаку, лиття та з чаш та каналів.

Для уловлювання відхідних газів та оптимізації процесу можна застосовувати кілька технологій шляхом регулювання об'ємного потоку видалення відповідно до конкретного процесу, у тому числі наступні:

- Індукційні печі можуть мати пристрої для вловлювання, вбудовані у склепіння печі, які забезпечують уловлювання відхідних газів у всіх умовах експлуатації (завантаження, плавлення, розвантаження). Деякі технології (наприклад, процес Upcast) мають низький рівень викидів, що можуть не вимагати витяжної системи, оскільки вони мінімізують відкриту поверхню розплаву через використання спеціальних ковпаків з невеликими отворами.
- У шахтних та обертових печах система вловлювання відхідних газів вбудована в конструкцію печі. Шахтні печі вловлюють відпрацьовані гази у верхній частині. Обертові печі вловлюють відхідні гази через витяжний отвір на стороні, протилежній пальнику. Використання закритої ліфтової системи завантаження для шахтної печі. Завантаження обертових печей через випускний клапан.
- Викиди, що виникають під час лиття мідних сплавів, можуть уловлюватися витяжними ковпаками або частковим покриттям або всмоктувальними кільцями пристосованими до жолобів, печей витримки або ливарних каналів, де це можливо, відповідно до вимог процесу лиття. Можна також використовувати рухомі ковпаки, які можна повертати над джерелом викидів.
- Покриття клітей прокатного стану (часткове) та лінії травлення для інтегрованих процесів формування, таких як виробництво катанки.
- Покриття розплавів у печах витримки та ливарних печах, наприклад, спеціальними солями, деревним вугіллям або нагаром, що забезпечує збереження якості продукту.
- Оптимізація уловлювання газу шляхом регулювання об'ємного потоку видалення відповідно до конкретного процесу.

Очищення відхідних газів
Уловлені відхідні гази направляються у рукавний фільтр або циклони з подальшим направленням у рукавні фільтри для зниження вмісту пилу. Може знадобитися попереднє охолодження відхідного газу до відповідної температури на вході у фільтр. Гарячі відхідні гази з печей можна швидко охолодити до температури нижче 250°C, щоб уникнути утворення ПХДД/Ф. Це відбувається шляхом впорскування води в потік відхідних газів якнайшвидше після уловлювання відхідних газів.

Відхідні гази від термічної підготовки стружки та шахтної печі можуть піддаватися термічному допалюванню, якщо використовуються матеріали з високим вмістом органічних речовин (мастила, змащувально-охолоджувальні рідини).

Діоксини та фурани у відхідних газах також можуть бути осаджені в процесі видалення пилу. Агенти, що сорбують, (такі як активоване вугілля) можуть бути додані перед фільтром.

Коли плавляться латунь або бронза, цинк і оксиди цинку виділяються з печі, але належний рівень контролю температури печі може мінімізувати це явище. Пил видаляється тканинним фільтром, а вміст оксиду цинку зазвичай відновлюється.

Використання систем непрямого охолодження або замкнутого циклу водяного охолодження та повторне використання емульсії процесів прокатки
У більшості операцій лиття (за винятком, наприклад, процесу Upcast) використовується вода прямого охолодження для остаточного затвердіння та охолодження відлитої заготівки до температур, придатних для подальшої обробки. Охолоджувальна вода може бути рециркульована після відокремлення твердих часток.

Під час виробництва катанки або інтеграції інших процесів, таких як процеси безперервного лиття та прокатки, емульсія (водно-масляна мастильна суміш) подається на прокатні кліті прокатних станів і поєднується з процесами лиття та прокатки для охолодження та захисту роликів, і для запобігання окисненню мідної поверхні повітрям. Емульсія збирається під роликами, прокачується через фільтр для видалення твердих часток (мідної окалини) та збирається в резервуар, звідки потім перекачується назад у прокатні кліті. Мідна окалина рециркулюється на плавильний завод для вилучення міді. Залежно від типу емульсії, відпрацьована емульсія може бути піддана вторинній обробці.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання та зменшення викидів пилу, ЗЛОС та ПХДД/Ф.
- Відновлення міді та економія сировини.
- Регенерація енергії, що міститься у димових газах шахтної печі.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємстві Aurubis, Гамбург, катанка виготовляється на лінії SCR. Процес Southwire — це процес безперервного лиття та гарячої прокатки. Мідь плавиться безперервно у шахтній печі (швидкість плавлення 60 т/год). Відхідні гази печі уловлюються та знепилюються у двох рукавних фільтрах (потік 100 000 $Нм^3$/год). Зареєстровані рівні концентрації пилу у діапазоні < 0,5–10 мг/$Нм^3$ (в середньому за пів години) та < 0,5–5 мг/$Нм^3$ (в середньому за день). Розплавлена мідь передається у жолобі з газовим нагрівом у піч витримки місткістю 24 тонни, а потім у жолобі в розливний пристрій і розливну карусель. Розливна карусель являє собою кільце з мідного сплаву, що обертається і яке частково покрито рухомою сталевою стрічкою. Рідка мідь охолоджується за допомогою непрямого та прямого водяного охолодження.

Працює також установка безперервного лиття брусків та брикетів. До складу установки входять дві шахтні плавильні печі, три індукційні печі витримки та три багаторівчакові машини для безперервного лиття брусків і брикетів. Обидві шахтні печі працюють у безперервному режимі з максимальною загальною швидкістю плавлення 70 т/год. Швидкість лиття становить 5–35 т/год залежно від форми, якості міді та кількості рівчаків.

Катод, мідний брухт та стружка завантажуються елеваторними бункерами у шахтні печі. Розплавлена мідь передається у жолобі із шахтної печі в піч витримки. Легувальні елементи, такі як срібло або фосфор (у вигляді мідного сплаву), дозуються в жолоби та/або печі витримки та рівномірно розподіляються у розплавленій міді усередині печі витримки.

Відхідні гази шахтних печей уловлюються і, залежно від температури, різко охолоджуються водою та знепилюються у рукавних фільтрах (потік 40 000 Нм^3/год кожен). Зареєстровані рівні концентрації пилу у діапазоні < 0,5–6 мг/Нм^3 (в середньому за пів години). З печі витримки мідь дозується у ливарні форми вертикальних машин безперервного лиття. Затверділа мідь, залишаючи ливарну форму, утворює безперервну заготівку у формі брикету або бруска, яка нарізається на необхідну довжину за допомогою летючої пилки у міру опускання відлитої заготівки. Відлита заготівка охолоджується водою. Вода частково рециркулюється; злив скидається після відстоювання та відділення твердих часток.
У компанії Aurubis, Олен, працює завод Contirod, що обробляє мідні катоди та мідний брухт високої чистоти для виробництва катанки. Шахтна піч використовується для плавлення міді. Розплавлена мідь з печі тече через жолоб, обладнаний сифонами, у нахильну піч витримки з газовим нагрівом. Потім мідь надходить у розливальну лійку, яка автоматично регулює швидкість подання в ливарну машину. Використовується двострічкова ливарна машина. Дві стрічки охолоджуються безперервною водяною плівкою, яка рухається з високою швидкістю по всій довжині поверхні стрічок.

Шахтна піч завантажується через закриту систему завантаження, яка запобігає витоку тепла/газів з установки. Вихідний матеріал печі підігрівається вихлопними газами в шахті печі. Вихлопні гази підігрівають повітря для згорання для пальників через теплообмінник. Прокатні кліті та лінія травлення криті.

Відхідні гази швидко охолоджуються та знепилюються в рукавному фільтрі (потік 30 000 Нм^3/год). Перед рукавним фільтром використовується система вдування вапна та активованого вугілля для зменшення викидів діоксинів. Також застосовується попередній відбір брухту для мінімізації кількості потенційних прекурсорів або органічного матеріалу. Виміряні рівні знаходяться в діапазоні 0,026–0,25 нг МТЕ/Нм^3. Зареєстровані рівні концентрації пилу у діапазоні 1–7 мг/Нм^3. Уловлений у рукавному фільтрі пил направляється на перероблення або утилізується. Вода, що утворюється (після травлення катанки), попередньо обробляється (наприклад, шляхом нейтралізації NaOH), потім збирається в загальну каналізаційну систему (разом з охолоджувальною водою, технологічною водою та дощовою водою) й обробляється на установці фізико-хімічного очищення води.

На установках Upcast мідні катоди розплавляються та відливаються в безкисневу катанку. Однією з особливостей цієї установки є те, що протягом усього процесу відсутній контакт із навколишнім повітрям, тому мідь не здатна окиснюватися. Установки складаються з печі для плавлення та ливарної печі або їх комбінації. Після розплавлення в ливарній печі мідь твердне на матриці та витягується вгору через труби з водяним охолодженням. Потім безкиснева катанка намотується на комплекті намотувальних пристроїв. Ці операції не викликають викидів у довкілля.

На підприємстві Aurubis, Авелліно, мідна катанка виготовляється за технологією Contirod. Мідь безперервно плавиться у шахтній печі. На жолобах шахтної печі, печі витримки та ливарному жолобі встановлені витяжні ковпаки. Вихлопні гази (потік 60 000 Нм^3/год) очищаються у двох паралельних рукавних фільтрах, після послідовного проходження через два циклони та систему регенерації тепла. Викиди пилу не перевищують 1 мг/м^3. Вихідний матеріал печі підігрівається вихлопними газами в шахті печі. Вихлопні гази підігрівають повітря для згорання для пальників через теплообмінник. Рідка мідь охолоджується за допомогою непрямого та прямого водяного охолодження. Охолоджувальна вода та технологічна вода обробляються на установці фізико-хімічного очищення води.

На підприємстві Aurubis, Порі, безперервно виготовляються бруски та брикети з міді з різними характеристиками, залежно від кінцевого застосування. Установка складається з шахтної печі для плавлення та індукційної печі витримки, а також машини для безперервного лиття брусків і брикетів. Швидкість плавлення становить 22 т/год. Швидкість лиття становить 6–20 т/год залежно від форми та якості міді. Внутрішній та зовнішній брухт (мінімум 99,9% Cu), наприклад, брикети, стружка, пиломатеріали та обрізки, а також невелика кількість катодів завантажуються елеваторними бункерами у шахтну піч. Шахтна піч нагрівається газовими пальниками, що працюють на бутані. Розплавлена мідь передається у жолобі із шахтної печі у ливарну піч. Легувальні елементи та/або фосфор (у вигляді мідного сплаву) дозуються у жолоби. Відхідні гази шахтної печі

уловлюються та нагріваються до 750°C у секції допалювача та знепилюються у рукавному фільтрі (максимальний потік 30 000 Нм^3/год). Зареєстровані рівні концентрації пилу у діапазоні < 0,2–4 мг/Нм^3 під час нормальної роботи. Тепло вихлопних газів регенерується в системі гарячого мастила та використовується для утворення пари. Тепло газів з жолоба регенерується для нагрівання води в мідноливарному цеху.

З ливарної печі мідь завантажується у ливарні форми вертикальної ливарної машини. Затверділа мідь, залишаючи ливарну форму, утворює безперервну заготівку у формі брикету або бруска, яка нарізається на необхідну довжину за допомогою летючої пилки у міру опускання відлитої заготівки. Відлита заготівка охолоджується внутрішньою циркуляційною водою, що охолоджується в градирні. Wieland-Werke виробляє бруски та сляби та має спеціальний ливарний цех для мідних сплавів. Ливарний цех складається з індукційних тигельних печей. Метали та брухт плавляться у ливарному цеху, а сплави відливаються у вигляді брусків або слябів. Напівбезперервне вертикальне лиття здійснюється для виробництва слябів. Готовий сляб обрізається з обох кінців пилкою. Безперервне вертикальне лиття здійснюється для виробництва брусків. Летюча пилка розрізає заготівки на відрізки необхідної довжини. Викиди видаляються вентиляторами та очищаються в циклонах з подальшим застосуванням рукавного фільтра. Концентрація пилу в димових газах постійно вимірюється та повідомляється про викиди нижче 2 мг/м^3 (середньорічне значення).

KGHM, Цединя, виробляє катанку за процесами Contirod та Upcast. У процесі Contirod катоди з невеликою добавкою (менше ніж 1%) брухту високої чистоти плавляться у печі, яка обробляє 45 тонн міді на годину. Піч працює на природному газі. Планується встановлення системи очищення відхідних газів з рукавним фільтром. Розплавлена мідь транспортується у жолобі з печі в піч витримки з газовим нагрівом. Потім рідка мідь транспортується до ливарної машини. Мідь відливається та обробляється у 16-клітьових прокатних блоках. У процесі лиття та прокатки мідь охолоджується шляхом зрошення емульсією. Емульсія циркулює у замкнутому циклі. Відібрану емульсію піддають вакуумному дистилюванню. Ливарні стрічки ливарної машини охолоджуються шляхом зрошування водою. Охолоджувальна вода циркулює у замкнутому циклі, який оновлюється на деякий час. Злив скидається на установку з очищення відпрацьованих вод.

У процесі Upcast мідні катоди розплавляються та відливаються в безкисневу катанку. Установка складається із системи завантаження катода, печі для плавлення, печі витримки, ливарної машини з кристалізаторами для вертикального лиття та намотувальної машини. Специфіка цієї установки полягає в тому, що протягом усього процесу відсутній контакт з навколишнім повітрям, тому мідь не здатна окиснюватися та викиди в атмосферу відсутні.

Одним із кінцевих продуктів плавильного заводу KGHM у Легниці є круглі бруски діаметром 150–310 мм. Мідні катоди та мідний брухт високої чистоти — матриці електролітичного рафінування — плавляться в індукційній печі. Рідка мідь подається до індукційної ливарної печі. Секція лиття обладнана стопорними пристроями та подає мідь у секцію кристалізації. Тверда мідь транспортується подавальним роликом у вертикальне положення. Секція завантаження обладнана системою місцевої вентиляції, з якої гази, що всмоктуються, викидаються через димову трубу в атмосферу. Рівні концентрації пилу знаходяться в діапазоні 1–8 мг/Нм^3 (3 мг/Нм^3 в середньому за один рік вимірювань).

У Buntmetall Amstetten відхідні гази з індукційних тигельних, канальних печей для плавлення та ливарних печей поділяються на два потоки й обробляються в циклоні, після якого застосовується рукавний фільтр. Рівні концентрації пилу знаходяться в діапазоні 0,5–2 мг/Нм^3, а сума металів, таких як Zn, Cr, Cu, Sn, знаходиться в діапазоні 0,1–0,6 мг/Нм^3 (періодичні вимірювання один раз на три роки).

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення енергоспоживання.
- Використання добавок.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути використаний повторно.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Системи уловлювання та боротьби з викидами диму, що використовуються, залежать від сировини та ступеня присутнього забруднення (якість брухту, леткість легувальних елементів), а також від типу печі.

Ковпаки-уловлювачі або покриття для уловлювання димових газів в основному застосовуються під час обробки мідних сплавів.

Допалювачі використовуються, коли є високий рівень органічного забруднення; як альтернатива, система контролю згорання в печі має забезпечувати спалювання забруднювальних речовин.

Використання рукавних фільтрів є загальнозастосовним методом.

Якщо проводиться вогняне рафінування для регулювання складу сплаву, то під час проєктування систем уловлювання та боротьби з викидами диму необхідно враховувати димові гази, що утворюються.

Більш суворі умови експлуатації та системи боротьби з викидами можуть бути доцільні, коли використовуються небезпечні матеріали, такі як берилій, або коли для виробництва сплаву додаються хімічно активні матеріали, такі як фосфор.

Економічні аспекти
Виходячи з типової місткості шахтної печі 40–50 т/год та приблизного потоку відхідних газів 50 000–80 000 $Нм^3$/год, інвестиційні витрати на рукавний фільтр з трубопроводом, різким водяним охолодженням та обробкою абсорбентів становлять 2 млн євро.

Експлуатаційні витрати за умов п'ятиденної роботи вищезазначеної установки очищення відхідних газів становлять 0,5 млн євро на рік. У цій оцінці ключовими факторами витрат є енергія пристрою для дуття та технічне обслуговування системи, що супроводжується покупкою добавок, утилізацією добавок та повітря для системи швидкого охолодження.

На інвестиційні та експлуатаційні витрати сильно впливає компонування системи та витрати на одиницю продукції для енергії та витратних матеріалів, які можуть значно відрізнятися.

Стимул до впровадження
- Вимоги законодавства з охорони довкілля.
- Відновлення сировини та зменшення використання енергії.

Приклади заводів
Aurubis, Гамбург (Німеччина), Aurubis, Олен (Бельгія), Aurubis, Авелліно (Італія), Aurubis, Порі (Фінляндія), Wieland-Werke (Німеччина), KGHM, Цединя та Легниця (Польща).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

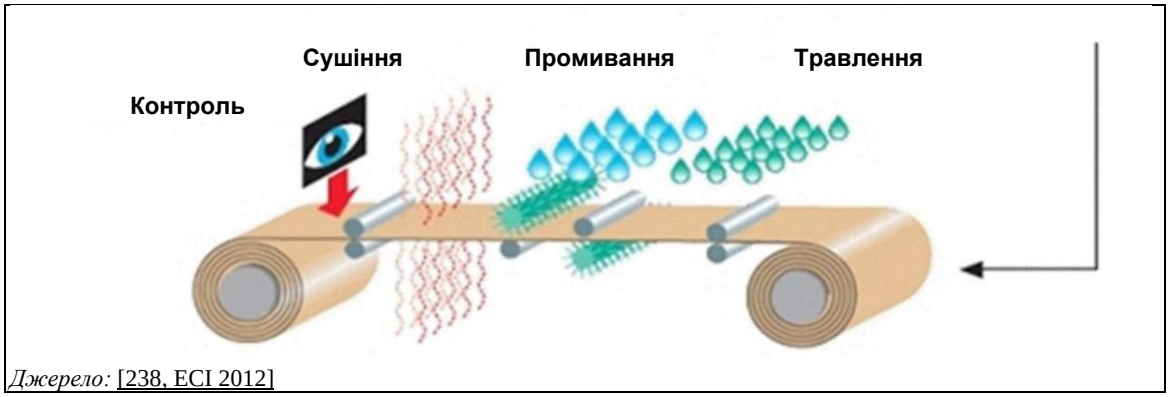
3.3.5.2 Технологія запобігання та зменшення викидів під час некислотного та кислотного травлення мідної катанки та напівфабрикатів з міді та мідних сплавів

Опис
Технології, які слід розглянути:

- ізольована лінія травлення розчином ізопропанолу, що працює у замкнутому циклі;
- ізольована лінія кислотного травлення із системою видалення повітря, сполученою із системою боротьби з викидами;
- очищення димових газів мокрим скрубером або каталітичним допалювачем;
- перероблення травильних розчинів та промивної води;
- очищення відпрацьованої кислоти/промивної води для вилучення металів.

Технічний опис

Травлення застосовують для видалення оксидних шарів та інших домішок із поверхні мідної катанки та напівфабрикатів (див. Рисунок 3.16). Термооброблені напівфабрикати потребують обробки поверхні, що складається з комбінації травлення та промивання перед подальшою обробкою. Розчини ізопропанолу (ІПС), сірчаної кислоти, соляної кислоти, перекису водню, а іноді й суміші розведених сірчаної та азотної кислот можуть застосовуватися для травлення в лініях безперервного виробництва (вироби безперервного циклу) або імерсійних системах (матеріал у шматках).



Джерело: [238, ECI 2012]

Рисунок 3.16: Процес безперервного травлення

Некислотне травлення катанки проводять водним розчином ізопропанолу. Потім катанку сушать стисненим повітрям і покривають воском для запобігання окисненню поверхні катанки.

Для запобігання та зменшення викидів можуть застосовуватися такі заходи:

- ізолювання ліній безперервного травлення;
- у лініях імерсійного травлення екстракція необхідна лише у разі утворення аерозольних часток;
- здійснення процесу некислотного травлення у замкнутому циклі;
- видалення осаду/твердих часток із травильних розчинів шляхом фільтрації або відстоювання та очищення системи;
- використання осадів для вилучення металів.

Кислотне травлення мідної катанки здійснюють розведеною сірчаною кислотою. Потім залишкова кислота змивається в кілька етапів з поверхні катанки за допомогою розпилювачів води з подальшим сушінням стисненим повітрям і вкриванням воском.

Стандартна обробка поверхні мідного/легованого міддю плоского прокату (напівфабрикатів) зазвичай передбачає комбінацію наступних етапів.

- Видалення мастила (наприклад, поверхнево-активною речовиною на водній основі).
- Промивання (перше промивання гарячою водою за температури 60°C, остаточне промивання холодною демінералізованою водою).
- Травлення розчином сірчаної кислоти (4–15%). Для матеріалів з великою кількістю окалини (наприклад, деяких сплавів) можна використовувати суміші сірчаної кислоти з розведеною азотною кислотою або окиснювальним перекисом водню.
- Промивання.
- Доочищення/зачищення металевою щіткою для механічного видалення домішок шляхом додавання демінералізованої води.
- Промивання для видалення залишків щітки.
- Сушіння гарячим повітряним дуттям.

Для запобігання та зменшення викидів можуть застосовуватися такі заходи на лініях травлення напівфабрикатів.

- Лінії травлення ізольовані та обладнані витяжними системами для зменшення дифузних викидів.
- Водні фільтри для повітря з туманоуловлювачами або скрубери використовуються для очищення пари, що утворюється у ваннах кислотного травлення. Кислотна пара конденсується та повертається в травильну ванну. Утворення аерозольних часток уникають або їх переробляють і повертають у травильну ванну.
- При травленні азотною кислотою використовуються промивні пристрої або каталізатори для зниження викидів NO_X та вилучення азотної кислоти.
- Застосовуються заходи для продовження строку служби травильного розчину, такі як очищення травильних розчинів під час процесу за допомогою сепараторів для відокремлення мастила та фільтрування, а також повторне використання кислоти. Відпрацьовану травильну кислоту можна обробити шляхом електровідновлення для вилучення розчинених металів.
- Багаторазове каскадне промивання для зниження споживання води.
- Промивна вода з другого етапу може використовуватися для компенсації втрат від випаровування під час гарячого промивання на першому етапі. Це дозволяє уникнути утворення стічних вод, які інакше необхідно було б очищати.
- Промивну воду можна обробляти шляхом нейтралізації вапном або гідроксидом натрію. Осади/залишки переробляються, коли це можливо.
- Рециркуляція демінералізованої промивної води на етапі зачищення металевою щіткою. А також очищення демінералізованої води в йонообміннику.
- Для видалення мастила з поверхні прокату застосовують мийні засоби. Відпрацьована вода очищується шляхом фільтрування. Якщо для видалення мастила з поверхні використовують органічні розчинники, застосовується система знежирення в парах розчинника.
- Решта рідини, яка не може бути використана повторно, обробляються на установці з очищення відпрацьованої води (фізичне та хімічне очищення).

Гаряча вода є ефективнішою для очищення, ніж холодна. Проте, це призводить до підвищеного споживання енергії. Каскадні промивання вимагають вищої продуктивності насоса та, отже, постачання більшої кількості енергії. Проте, кількість відпрацьованих вод, що підлягають очищенню, зменшується у разі використання каскадного промивання. Зусилля на очищення зменшуються через меншу кількість відпрацьованих вод, тому продуктивність насоса в йонообміннику також знижується.

Досягнуті екологічні переваги
- Мінімізація викидів ЛОС та кислотного туману.
- Мінімізація стічних вод шляхом рециркуляції травильних розчинів або промивної води.
- Зниження споживання води шляхом використання багаторазового каскадного промивання.
- Відновлення металів, що сприяє економії сировини та мінімізації потоків відходів.
- Регенерація енергії з гарячих стічних вод для підігрівання свіжої води.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Можливе застосування великої кількості ліній травлення. Важливі елементи наведено у Таблиці 3.58.

Таблиця 3.58: Технологія зменшення викидів під час некислотного та кислотного травлення мідної катанки та напівфабрикатів з міді та мідних сплавів

Процес	Видалення мастила	Промивання	Травлення	Промивання	Зачищення металевою щіткою	Сушіння
Процес безперервного травлення	Очищення розпилювачами, очищення щіткою, ультразвукове очищення або інші технології за 60°C з об'ємом травильної ванни приблизно 3 м^3	Каскадне промивання з поповненням демінералізованої води	Лінія безперервного травлення з об'ємом травильної ванни приблизно 5 м^3 - Сірчана кислота - Змішана кислота, що складається з сірчаної та азотної кислот - ІПС для катанки	Каскадне промивання та відведення на процес очищення відпрацьованих вод	Машина для зачищення металевою щіткою з демінералізованою водою. Пропускна здатність та відведення води у йонообмінник	Гаряче промивання демінералізованою водою та подальшим продуванням повітрям
Обладнання імерсійного травлення	Немає даних	Немає даних	Кошик для травлення 8 м^3	Каскадне промивання та відведення на процес очищення відпрацьованих вод	Немає даних	Ванна для гарячого промивання

Джерело: [383, Copper subgroup 2012]

У Wieland-Werke водні фільтри для повітря з туманоуловлювачами або скрубери використовуються для очищення пари, що утворюється у ваннах кислотного травлення. Кислотна пара конденсується та повертається в травильну ванну. Утворення аерозолів уникають. Досягаються значення викидів від 0,3 мг/Нм^3 до 10 мг/Нм^3 в середньому за пів години. Викиди з травильної ванни, що містять азотну кислоту, обробляються у мокрому скрубері або допалювачі каталізатора для зниження рівня NO_X. Досягаються значення викидів від 250 мг/Нм^3 до 350 мг/Нм^3 в середньому за пів години. Травильні ванни очищаються під час процесу, наприклад, за допомогою сепараторів для відокремлення мастила, фільтрування, рециркуляції кислоти або кислотною обробкою кислотних ванн.

Втрати від випаровування в результаті гарячого промивання у першому каскаді компенсуються водою з другого етапу. Це дозволяє уникнути утворення стічних вод, які інакше необхідно було б очищати. Здійснюється рециркуляція демінералізованої промивної води під час зачищення металевою щіткою, а очищення промивної води здійснюється йонообмінником.

На підприємстві Aurubis у Гамбурзі для охолодження та розкислення (травлення) гарячекатаної катанки є кілька секцій охолодження між прокатним станом та станцією намотувального пристрою. Охолодний агент містить ізопропанол для розкислення оксидів міді на поверхні шляхом хімічного відновлення. Розчин ІПС циркулює у замкнутій системі. Лінія ізольована. Тверді частки міді або оксиду уловлюються та повертаються на завод з рафінування міді.

На підприємстві Aurubis, Олен, травлення катанки здійснюється розчином сірчаної кислоти. Секція травлення ізольована. Для видалення викидів з лінії травлення використовується мокрий скрубер. Відпрацьована кислота обробляється в камері електровідновлення для вилучення металів. Промивна вода попередньо обробляється (наприклад, шляхом нейтралізації NaOH), потім збирається в загальну каналізаційну систему (разом з охолоджувальною водою, технологічною водою та дощовою водою) й

обробляється на установці фізико-хімічного очищення відпрацьованих вод.

На підприємстві Aurubis, Авелліно, для охолодження та розкислення гарячекатаної катанки використовується суміш води, ІПС та підлужного агента. Лінія ізольована. Розчин ІПС циркулює у замкнутій системі.

На підприємстві Schwermetall Halbzeugwerk GmbH & Co KG видалення мастила зі стрічки здійснюється за допомогою комбінації розпилення, зачищення металевою щіткою та електролітичного очищення. Травлення мідної стрічки здійснюється сірчаною кислотою з подальшим застосуванням абразивних щіток. Очищення цих ванн відбувається у процесі, наприклад, шляхом фільтрування.

У KGHM, Цединя, для травлення мідної катанки використовується 4–5% розчин ізопропілового спирту та демінералізованої води. Травильний розчин зберігається в замкнутому циклі, без потрапляння у довкілля. Витрата ІПС становить 1,5 дм^3 на тонну мідної катанки. Під тиском рукавні фільтри використовуються для відокремлення оксидів міді від прокатної емульсії та травильного розчину. Оксиди передаються до мідеплавильного заводу для вилучення міді.

Відібрану прокатну емульсію та травильний розчин піддають вакуумному дистилюванню. Вода рециркулюється для приготування емульсії або поповнення циклу охолодження, стічні води не скидаються.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Вилучення ІПС з димових газів збільшує споживання енергії через роботу скрубера та дистиляційної колони. Котел використовується для підігріву води, що надходить у дистиляційну колону, до 95°C, що вимагає додаткового споживання енергії. Вакуум збільшує випаровування ІПС, і зусилля з кондиціювання розчину та відділення ІПС можуть бути значними та неефективними.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології застосовуються до нових та наявних установок залежно від вимог до зовнішнього вигляду перед подальшою обробкою та присутності певних хімічно активних легувальних компонентів. Необхідно враховувати обмеження, пов'язані з доступною площею та вимогами щодо розміщення.

Економічні аспекти
Витрати значною мірою залежать від форми виробу, який необхідно очистити, використовуваних агентів і вимог до поверхні.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Запобігання утворенню стічних вод.
- Відновлення сировини.

Приклади заводів
Aurubis, Гамбург (Німеччина), Aurubis, Олен (Бельгія), Aurubis, Авелліно (Італія), Wieland-Werke (Німеччина), Schwermetall Halbzeugwerk (Німеччина) та KGHM, Цединя (Польща).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.5.3 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря під час вилучення свинцю та олова з проміжних продуктів зі вторинної міді

Свинець та олово вилучаються з певних проміжних продуктів із вторинної міді як побічні продукти процесів рафінування вторинної міді. Процеси багатоетапного відновлення застосовуються для отримання свинцево-олов'яного сплаву (в обертовому конвертері з верхнім дуттям, або обертовій печі, або струшувальному ковші) та для подальшого рафінування сплаву. У країнах ЄС-28 не виробляють первинне олово.

Виробництво свинцево-олов'яного сплаву з мідних проміжних продуктів застосовується тільки для нових установок або після значного переобладнання заводу, та залежить від вторинного вихідного матеріалу, що використовується в процесі.

Опис
Технології, які слід розглянути:

- закриті печі;
- ковпаки-уловлювачі із системою видалення димового газу;
- рукавний фільтр.

Технічний опис
Технології запобігання та уловлювання описані у Розділі 2.12.4.3.

Рукавні фільтри описані у Розділі 2.12.5.1.4.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу.
- Вилучення свинцю та олова.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємстві Metallo-Chimique (завод із виплавки вторинної міді) другий етап відновлення використовується після першого етапу відновлення для вилучення переважно міді зі шлаку [90, Traulsen, H. 1998]. На цьому другому етапі в піч можуть бути додані інші шлаки, залишки та брухт, що містять олово та свинець. Свинець та олово (у формі оксиду) відновлюються зі шлаку за допомогою сталевого брухту або жерстяних банок в обертовому конвертері з верхнім дуттям. Таким чином отримують чорновий свинцево-олов'яний сплав. Сплав обробляють кремнієм у струшувальному ковші, що гойдається, для видалення більшої частини міді, нікелю та заліза. Будь-яка мідь, нікель, залізо або цинк, що залишилися, поступово видаляються шляхом додавання в розплав сірки та гідроксиду натрію за нижчої температури. Свинцево-олов'яний сплав, з якого видалена мідь, потім обробляється на спеціальному заводі з рафінування свинцю та олова. Інформація про функціонування підсумована у Таблиці 3.59.

Таблиця 3.59: Дані про ефективність та функціонування щодо процесу вилучення свинцю та олова з проміжних продуктів із вторинної міді

Параметр	Обертовий конвертер з верхнім дуттям (великий)	Обертовий конвертер з верхнім дуттям (маленький)	Струшувальний ківш
Експлуатаційна потужність	120–160 т/завантаження	20 т/завантаження	30 т/завантаження
Первинний відхідний газ (холодильник, циклон, рукавний фільтр)	70 000 $м^3$/год	35 000 $м^3$/год (в тому числі вторинний відхідний газ)	Макс. 46 000 $м^3$/год
Пил	0,5–2 $м^3$/год	0,5–2 $м^3$/год	0,5–2 $м^3$/год
Вторинний відхідний газ (рукавний фільтр)	70 000 $м^3$/год	Немає даних	Немає даних
Пил	0,5–2 $м^3$/год	Немає даних	Немає даних

На підприємстві Aurubis, Люнен, використовується спеціальна обертова піч для свинцевого сплаву [234, UBA (D) 2007] з багатоетапним процесом відновлення для утворення чорної міді, олов'яно-свинцевого сплаву та шлаку силікату заліза зі шлаку з

системи KRS або обертового конвертера з верхнім дуттям. Поряд із розплавленим конвертерним шлаком у якості вихідних матеріалів можуть використовуватися інші проміжні продукти виробництва на місці або від третіх осіб, а також вторинні матеріали. Протягом всього процесу можна завантажувати матеріали або добавки. Склад шлаку регулюється у певних межах для отримання товарного продукту. Після кінцевого етапу гранулювання шлак також можна продавати. Чорна мідь рециркулюється у піч KRS або обертовий конвертер з верхнім дуттям. Технологічні гази та відхідні гази зі вторинних витяжок направляються до систем фільтрування. Уловлений димовий пил або продається, або повертається до ванної печі KRS. Рафінування олов'яно-свинцевого сплаву передбачає наступні етапи:

- розділення та видалення дросу (видалення міді та нікелю);
- видалення міді, цинку та миш'яку, що залишилися, шляхом додавання сірки, хлориду амонію й алюмінію.

Таблиця 3.60: Дані про ефективність та функціонування щодо обертової печі для свинцевого сплаву

Параметр	Обертова піч	Рафінувальний завод
Експлуатаційна потужність	60–80 т/завантаження	30 т/завантаження
Відхідний газ (технологічний та зі вторинного витяжного ковпака)	100 000 $м^3$/год	60 000 $м^3$/год

Відхідні гази печі та газ зі вторинного витяжного ковпака обробляються разом з газами системи KRS (див. Розділ 3.3.4.1).

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Aurubis, Люнен (Німеччина) та Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія).

Довідкова література
[90, Traulsen, H. 1998], [234, UBA (D) 2007], [238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.6 Стічні води

3.3.6.1 Запобігання утворенню стічних вод

Опис
Технології, які слід розглянути:

- багаторазове використання одного та того ж потоку води (каскадна охолоджувальна вода, повторне використання охолоджувальної води або конденсованої пари для технологічних цілей і повторне використання технологічної води (у цьому випадку контактна охолоджувальна вода вважається технологічною водою) для іншого застосування, якщо це можливо);
- відмова від мокрого очищення технологічного газу, якщо це можливо;
- встановлення замкнутої системи охолодження з повітряними холодильниками у якості вторинних теплообмінників;

- мінімізація дренажної води випарних холодильників;
- максимальна рециркуляція для повторного використання потоків води після очищення;
- відокремлення потоків незабрудненої води (дощова вода, безконтактна охолоджувальна вода) від потоків технологічної води.

Технічний опис
Опис загальних інтегрованих у процес заходів з перероблення та повторного використання води можна знайти у Розділі 2.12.6.1.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення кількості води, що підлягає очищенню, і, отже, зменшення енергії на перекачування та менша кількість використовуваних реагентів.
- Зменшення кількості забруднювальних речовин, що скидаються у приймальне водоймище.
- Зменшення передачі тепла у приймальне водоймище (для встановлення замкнутої системи охолодження з повітряними холодильниками як вторинні теплообмінники).

Екологічна ефективність та інформація про функціонування
На підприємстві Umicore, Хобокен, конденсат пари процесу електровідновлення повторно використовується для промивання мідних катодів. Вода, що впорскується для охолодження газів плавильного заводу, конденсується разом з водою із сировини та повторно використовується для швидкого охолодження цього газового потоку. Дощова вода, надлишкова вода для зрошування, вода для охолодження, дренажна вода тощо збираються в окремій каналізаційній системі та обробляються для повторного використання у якості води для зрошування та охолодження, таким чином забезпечуючи 60% загальної кількості води, необхідної для заводу. Кількість дренажної води випарних градирень мінімізується. Вода від промивання вмісту фільтра на установці вилуговування повторно використовується в процесі вилуговування.

На підприємствах KGHM (плавильні заводи у Глогуві 1, Глогуві 2 та Легниці) конденсат пари (що утворюється під час нагрівання електроліту в процесі електролітичного рафінування) повторно використовується для промивання мідних катодів. Цикл охолодження та технологічний цикл закриті, наскільки це можливо. Злив скидається в каналізацію відпрацьованих вод плавильних заводів та, нарешті, на місцеві установки з очищення відпрацьованих вод. Кислотні стічні води спочатку нейтралізуються, дощова вода зберігається, а побутові стічні води проходять попереднє біологічне очищення в резервуарі Імхоффа. Потім усі попередньо очищені потоки та зливи з циклів охолодження змішуються, коагулюються та скидаються у річку. Проте, частина очищених стічних вод використовується.

У Легниці є буферний резервуар, з якого очищені стічні води використовуються для зрошення майданчиків для зберігання відходів, і деяка частина може бути повернена для поновлення технологічних циклів.

У Глогуві 1 і Глогуві 2 третина очищених стічних вод використовується для зрошення складських майданчиків, для поновлення циклу охолодження литих анодів та як підживлювальна вода для деяких інших водяних циклів.

На об'єкті Montanwerke Brixlegg через обмежене використання підземних вод більша частина охолоджувальної води використовується в декількох каскадах. Наприклад, підігріта охолоджувальна вода анодної печі використовується для випаровування кисню та потім спрямовується назад у піч, а надлишки передаються в іншу точку використання.

На підприємстві Aurubis, Гамбург, поверхневі (дощові) води збираються, очищаються шляхом хімічної обробки, а потім використовуються для охолодження та гранулювання шлаку. В Aurubis, Авелліно, дощова вода збирається в резервуари, піддається фізичному очищенню, а потім повторно використовується у якості охолоджувальної води.

На підприємстві Atlantic Copper очищена вода з установки з очищення відпрацьованих вод частково повторно використовується у якості підживлювальної води в процесах очищення газу замість свіжої води.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології багаторазового використання одних і тих самих потоків води, або рециркуляції, або повторного використання потоків води після очищення можуть застосовуватися тільки в тому випадку, якщо дотримуються необхідні критерії для наступного процесу щодо швидкості потоку, температури, складу та кислотності.

Не завжди можна уникнути мокрого очищення технологічного газу, наприклад, коли гази, що підлягають очищенню, містять багато води, кислотного туману або липких речовин.

Встановлення замкнутої системи охолодження з холодильниками повітря у якості вторинних теплообмінників вимагає набагато більше місця для встановлення повітряних холодильників, оскільки вони набагато менш ефективні, ніж випарні холодильники.

Конденсовану пару бажано повторно використовувати для генерації пари. Але коли відстань до парогенератора дуже велика, замість цього рекомендується використовувати його в технологічних цілях.

Економічні аспекти
На деяких наявних заводах впровадження цих технологій може передбачати великі інвестиційні витрати.

Технології багаторазового використання одного та того ж потоку води вимагають додаткових інвестицій у ємності для проміжного зберігання, щоб збалансувати вхідний та вихідний потоки залежних процесів.

Для відокремлення потоків незабрудненої води від технологічної води необхідно враховувати економічні міркування. Інвестиції в окремі каналізаційні системи мають бути збалансовані з кількістю незабрудненої дощової води, яку потенційно можна регенерувати.

Стимул до впровадження
- Мінімізація утворення стічних вод і, отже, зниження витрат на очищення стічних вод.
- Зменшення кількості забруднювальних речовин, що скидаються у приймальне водоймище.

Приклади заводів
Umicore, Хобокен (Бельгія), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 і Легниця (Польща), Aurubis, Гамбург (Німеччина), Aurubis, Авелліно (Італія) та Atlantic Copper, Уельва (Іспанія).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.6.2 Очищення та повторне використання відпрацьованих вод у виробництві первинної та вторинної міді

Опис
Технологіями, які необхідно, розглянути для обробки стічних вод (за винятком охолоджувальної води) перед скиданням, є:

- хімічне осадження;
- седиментація та флотація;
- фільтрування.

Технічний опис
Основні джерела рідких відходів розглядаються у Розділі 3.2.2.4.

Хімічне осадження, седиментація, флотація, фільтрування та технології управління технологічним процесом очищення стічних вод широко застосовуються у кольоровій металургії та вже описані у Розділах 2.12.6.2 та 2.12.3.3.

Досягнуті екологічні переваги

- Видалення з відпрацьованих вод завислих та грубодисперсних часток, металів, кислот, сульфатів та фторидів, що робить їх придатними для скидання або повторного використання.
- Утворення осаду для повторного використання (наприклад, чистий гіпс для продажу, осад із цінними металами, який можна повторно використовувати у виробничому процесі), що дозволяє уникнути утворення відходів, що підлягають утилізації.
- Утворення осаду з високою концентрацією шкідливих металів (кадмій, миш'як), що зменшує кількість відходів, що підлягають утилізації.
- Утворення води, придатної для повторного використання на заводі, наприклад, для зрошення, охолодження, промислового очищення та деяких технологічних процесів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Зменшення викидів металів, завислих твердих часток та інших сполук залежить від умов на конкретному об'єкті. Склад рідких відходів пірометалургійних та гідрометалургійних процесів дуже залежить від виробничого процесу та сировини, що використовується. Проте рідкі відходи заводів із виробництва міді зазвичай містять метали, тобто, мідь, свинець, цинк, олово, нікель, кадмій, хром, миш'як, молібден, ртуть та завислі тверді речовини.

Отримані концентрації металів після очищення сильно залежать від складу вхідних потоків відпрацьованих вод, що, своєю чергою, залежить від складу сировини, що обробляється, та виробничих процесів, що застосовуються. Чим більш комплексними є вхідні відпрацьовані води, тим більше буде реакцій, і, ймовірно, буде складніше видалити забруднювальні речовини. Іноді не всі метали можуть бути видалені з однаковою ефективністю, оскільки на оптимальні умови видалення одного металу може впливати присутність інших металів.

Для оцінки ефективності процесу очищення необхідно враховувати очищення відпрацьованих вод та спрямований відбір проб. Змішані потоки стічних вод (поверхневі стоки, технологічна вода, непряма та пряма технологічна вода), які збираються та очищаються на центральних установках з очищення відпрацьованих вод, зазвичай більш розбавлені, ніж розділені стічні води, що очищаються на спеціалізованих установках з очищення відпрацьованих вод. Концентрована технологічна вода та менш забруднена дощова вода потребують різних видів очищення. Для технологічної води зазвичай застосовується більше етапів видалення металів, тоді як у випадку з дощовою водою концентрація забруднювальних речовин на вході сильно варіюється залежно від мінливих погодних умов.

У наведеній нижче таблиці підсумовані швидкості очищення для різних потоків стічних вод.

Таблиця 3.61: Продуктивність установки з очищення відпрацьованих вод

Джерело	Основний компонент (мг/л)					
	Cu	Pb	As	Ni	Cd	Zn
Концентрована технологічна вода До очищення	≤ 2900	≤ 4500**	≤ 10 000	≤ 4000	≤ 3100	≤ 5000
Після очищення	< 0,26	< 0,3	< 2	< 1	< 0,1	< 2,15
Поверхневі стоки До очищення	≤ 30	≤ 5	≤ 2	≤ 2	≤ 0,5	≤ 10
Після очищення	< 0,5	< 0,5	< 0,09	< 0,5	< 0,11	< 1
Змішані води* До очищення	≤ 37	≤ 33	≤ 24	≤ 27	≤ 75	≤ 8
Після очищення	< 0,7	< 0,25	< 0,17	< 0,5	< 0,021	< 1

* Очищення технологічної води разом з поверхневою водою та/або охолоджувальною водою на одній установці (тобто, зазвичай сильне розведення).
** Стічні води кольорової металургії зазвичай містять сульфат-іони, які утворюють нерозчинний сульфат свинцю (VI). Розчинність Pb зі сполуки складає лише близько 4 мг/л.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

У процесі очищення технологічної води на підприємстві Aurubis, Пирдоп, відбувається збір слабкої кислоти з кислотної установки, зливу з електролітичного рафінування, води з мокрого скрубера від системи очищення вторинного газу плавильного заводу та деякої кількості поверхневих вод, об'єднаний потік обробляють на центральній багатоетапній установці з хімічного очищення відпрацьованих вод, що складається з трьох етапів:

- осадження чистого гіпсу (обробка вапняним молоком, pH 1–1,3, флокулянтом, осадження чистого гіпсу);
- осадження металів (обробка вапняним молоком, $FeCl_3$, H_2O_2, флокулянтом та підвищення pH до 9–10, уловлювання металів осадженням);
- видалення миш'яку (обробка вапняним молоком, $FeCl_3$ та H_2O_2 для уловлювання залишкового миш'яку, pH 6–8).

Склад води на вході варіюється в залежності від якості концентрату, властивостей відхідних газів і роботи систем мокрого очищення газів.

Таблиця 3.62: Склад технологічних вод до та після очищення на підприємстві Aurubis, Пирдоп

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення на вході	Діапазон рівнів викидів *	
			$9^{0\text{-й}}$ процентиль	Максимум
Потік	$м^3$/год	100	Немає даних	Немає даних
Потік	$м^3$/рік	950 000	Немає даних	Немає даних
H_2SO_4	г/л	60	Не повідомлено	Не повідомлено
Cu	мг/л	2100	0,05	0,26
As	мг/л	2200	0,07	0,1
Pb	мг/л	30	0,016	0,3
Ni	мг/л	450	0,15	1
Zn	мг/л	500	0,07	1
Cd	мг/л	200	0,015	0,1
Завислі тверді речовини	мг/л	200	Не повідомлено	50
* Діапазон знаходиться між значеннями $9^{0\text{-го}}$ та $10^{0\text{-го}}$ процентиля виміряних даних. Примітка: складена проба відбирається з води, що скидається, кожні 6 годин (4 складені проби на день). Відбір проб пропорційний часу та виконується автоматичним пробовідбирачем. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]				

Кількість осаду, що утворюється, становить 6–7 т/год (вологість 40–50%), з наступним складом: ~ 30–35% $CaSO_4$, ~ 1% As, ~ 1% Cu, 1–2% Fe, ~ 1% Pb, ~ 0,1% Ni та ~0,1% Cd.

У процесі очищення технологічної води на підприємстві Aurubis, Гамбург, очищають слабку кислоту від очищення відхідних газів заводів з виплавки первинної та вторинної міді, а також додаткові стічні води із заводу з виробництва дорогоцінних металів, хімічного заводу, лабораторні відпрацьовані води, конденсати та з інших дрібних джерел. Потоки безпосередньо пов'язані з двоступеневою очисною установкою, до складу якої входять:

- видалення миш'яку шляхом реакції із залізом (III) та нейтралізації з подальшим осадженням металу;
- стадія доочищення, що складається з осадження сульфідів у присутності заліза (II).

Зміна властивостей газу залежить від якості концентрату та призводить до зміни складу відпрацьованих вод. Крім того, періодичне подання додаткової сировини збільшує різноманітність відпрацьованих вод. Часто процес необхідно адаптувати для оптимізації продуктивності. Адаптація процесу заснована на щоденних пробах та ручному регулюванні параметрів процесу.

Таблиця 3.63: Склад технологічних вод до та після очищення на підприємстві Aurubis, Гамбург

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення на вході	Рівні викидів *
Потік	$м^3$/рік	180 000	Немає даних
H_2SO_4	г/л	50	Не повідомлено
Cu	мг/л	2000	0,0–0,2
As	мг/л	2000	0,06–0,09
Pb	мг/л	500	0,03–0,05
Ni	мг/л	1000	0,05–0,06
Zn	мг/л	1000	0,17–0,2
Cd	мг/л	500	0,01–0,02
Hg	мг/л	Не повідомлено	0,019–0,024
Завислі тверді речовини	мг/л	Не повідомлено	15
* Діапазон знаходиться між значеннями 90-го та 100-го процентиля виміряних даних. Примітка: Моніторинг вод, що скидаються, здійснюється на основі точкових проб: щотижня для Cu, As, Cd та Hg та щомісяця для Pb, Ni та Zn. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]			

Очищення поверхневих стоків зі східної території заводу та злитої води прямого охолодження на заводі з лиття анодів на підприємстві Aurubis, Гамбург, здійснюється іншим заводом. У цьому випадку обробку проводять шляхом коагуляції, а осадження металів — встановленням pH з подальшою флокуляцією та седиментацією.

Зміна характеристик стічних вод на вході викликана зміною погодних умов у поєднанні з переривчастим потоком води прямого охолодження з процесу лиття анодів. Найчастіше для оптимізації продуктивності необхідне адаптування процесу. Адаптація процесу заснована на щоденних пробах та ручному регулюванні параметрів процесу.

Таблиця 3.64: Склад поверхневих стоків зі східної території заводу та злитої води прямого охолодження на заводі з лиття анодів до та після обробки на підприємстві Aurubis, Гамбург.

Параметр	Одиниці вимірювання	Умови на вході, діапазон	Рівні викидів *
Потік	$м^3$/рік	700 000	Немає даних
Cu	мг/л	15–30	0,35–0,5
As	мг/л	< 2	0,05–0,09
Pb	мг/л	< 5	0,06–0,25
Ni	мг/л	< 2	0,124–0,5
Zn	мг/л	1–10	0,3–1
Cd	мг/л	< 0,5	0,016–0,021
Hg	мг/л	Не повідомлено	0,0032–0,021
Завислі тверді речовини	мг/л	Не повідомлено	20
* Діапазон знаходиться між значеннями $9^{0\text{-го}}$ та $10^{0\text{-го}}$ процентиля виміряних даних. Примітка: моніторинг вод, що скидаються, здійснюється на основі точкових проб: щотижня для Cu, As, Pb, Ni, Cd та щомісяця для Zn та Hg. *Джерело*: [378, Industrial NGOs 2012]			

Очищення поверхневих стоків з території заводу з виплавки вторинної міді, установок лиття у форми та заводу з рафінування свинцю на підприємстві Aurubis, Гамбург, здійснюється окремою установкою. У цьому випадку обробку проводять шляхом коагуляції, а осадження металів — встановленням pH з подальшою флокуляцією та седиментацією.

Таблиця 3.65: Склад поверхневих стоків з території заводу з виплавки вторинної міді, установок лиття у форми та заводу з рафінування свинцю до та після очищення на підприємстві Aurubis, Гамбург

Параметр	Одиниці вимірювання	Умови на вході, діапазон	Рівні викидів *
Потік	$м^3$/рік	500 000	Немає даних
Cu	мг/л	15–30	0,18–0,5
As	мг/л	< 2	0,03–0,09
Pb	мг/л	< 5	0,14–0,5
Ni	мг/л	< 2	0,14–0,5
Zn	мг/л	1–10	0,25–1
Cd	мг/л	< 0,5	0,05–0,11
Hg	мг/л	Не повідомлено	0,0065–0,014
Завислі тверді речовини	мг/л	Не повідомлено	50
* Діапазон знаходиться між значеннями $9^{0\text{-го}}$ та $10^{0\text{-го}}$ процентиля виміряних даних. Примітка: моніторинг вод, що скидаються, здійснюється на основі точкових проб — щотижня для Cu, As, Pb, Ni, Cd та щомісяця для Zn та Hg. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]			

На підприємстві Aurubis, Олен, потоки дощової води, охолоджувальної води, води для побутових потреб та технологічної води збираються у загальній каналізаційній системі та обробляються на установці фізико-хімічного очищення відпрацьованих вод. До стічних вод відноситься охолоджувальна вода з процесу лиття анодів та заводу з виробництва катанки.

Промивна вода (після травлення катанки) попередньо обробляється (наприклад, шляхом нейтралізації NaOH), збирається в загальну каналізаційну систему (разом з охолоджувальною водою, технологічною водою та дощовою водою), а потім обробляється на установці фізико-хімічного очищення відпрацьованих вод. Очищення передбачає наступні етапи: сітка та пісковловлювач, буферизація, підкислення, підлуговування, флокуляція, седиментація, нейтралізація чистої води та центрифугування осаду.

Зміна характеристик стічних вод на вході викликана зміною погодних умов у поєднанні з переривчастим потоком води прямого охолодження та іншої технологічної води. Дані про вхідні концентрації відсутні.

Таблиця 3.66: Склад стічних вод після очищення на підприємстві Aurubis, Олен

Параметр	Одиниці вимірювання	Рівні викидів *
Потік	$м^3$/рік	519 000
Cu	мг/л	0,2–0,7
As	мг/л	0,03–0,1
Pb	мг/л	0,01–0,05
Ni	мг/л	0,08–0,15
Zn	мг/л	0,08–0,16
Cd	мг/л	0,001–0,006
Завислі тверді речовини	мг/л	0,2

* Діапазон знаходиться між значеннями $9^{0\text{-го}}$ та $10^{0\text{-го}}$ процентиля виміряних даних.
Примітка: складені проби за 24 години збираються зі стічних вод, що скидаються. Відбір проб пропорційний часу та виконується автоматичним пробовідбирачем. Аналізується одна проба на місяць.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Установка з очищення відпрацьованих вод в Montanwerke Brixlegg призначена для очищення будь-яких стоків технологічної води, які утворюються на виробничих лініях заводу з виробництва сульфату нікелю, заводу з виробництва дорогоцінних металів і заводу з виробництва оксид-хлориду, а також лабораторних стічних вод, щоб забезпечити значення викидів, нижчі за передбачені межі для стічних вод.

Для цього стічні води піддають двоетапному осадженню, у процесі якого сульфіди осаджуються та відокремлюються. Вибір сульфідного осадження обумовлений тим, що сульфіди металів, що утворюються, набагато менш розчинні, ніж, наприклад, відповідні гідроксиди. Установка з очищення стічних вод розрахована на 152 $м^3$/день стічних вод і працює безперервно 24 години на добу. При середній кількості 300 робочих днів на рік час роботи установки становить приблизно 7900 годин роботи на рік.

Таблиця 3.67: Склад стічних вод після очищення на підприємстві Montanwerke Brixlegg

Параметр	Одиниці вимірювання	Рівні викидів
Потік	$м^3$/день	152
pH		7
Матеріал, що піддається фільтруванню	мг/л	15,2
Миш'як	мг/л	< 0,03
Свинець	мг/л	0,03
Барій	мг/л	0,10
Кадмій	мг/л	0,01
Хром	мг/л	0,01
Мідь	мг/л	0,39
Залізо	мг/л	0,16
Нікель	мг/л	0,12
Ртуть	мг/л	< 0,001
Срібло	мг/л	0,006
Цинк	мг/л	0,4
Олово	мг/л	0,01
ХСК	мг/л	120
Адсорбовані органічні галогени	мг/л	0,11
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Для очищення поверхневих та дощових вод на підприємстві Montanwerke Brixlegg на заводі встановлено два седиментаційні басейни. Про експлуатаційні дані седиментаційних басейнів найкраще свідчить зменшення забруднення. За час перебування протягом 30 хвилин видаляється майже 90% осаду. Мастило також видаляється.

На комплексному плавильному заводі Umicore, Хобокен, що обробляє свинець, мідь і первинну та вторинну сировину, що містить дорогоцінні метали, установка з очищення відпрацьованих вод складається з трьох циклів (A, B та каналізаційного: у кожному з них спочатку проводять окреме очищення, а потім вода з циклів A, B та частина каналізаційних вод проходять додаткове очищення перед скиданням):

Зовнішня установка з очищення відпрацьованих вод A, що очищує кислі технологічні води з вмістом As
Вода, що надходить, має pH 1, ~ 1 г/л As і ~ 35 г/л сульфату в змінних концентраціях залежно від технологічних процесів. Також у цьому водному потоці розчиняються Tl, Hg, Cd та інші метали.

На першому етапі додають вапняне молоко та поліелектроліт для осадження гіпсу, фториду кальцію та гідроксидів металів за pH 10,5–11. As осаджується у вигляді арсенату кальцію до рівня < 50 мг/л. Осад видаляють у відстійнику та фільтрують до брикету, що містить до 50% води та багато металів, що не продаються, таких як Cd, Tl і As. Він утилізується на безпечний полігон.

На другому етапі додають $FeCl_3$, вапняне молоко та NaHS для подальшого видалення As, Tl^+ та інших металів за pH 10. Оскільки на цьому етапі до потоку додається вода зовнішнього контуру очищення стічних вод B, осад містить цінні метали. Тому цей осад фільтрується та повертається на плавильний завод.

Після цього етапу pH регулюють вдуванням CO_2. Потім вода скидається у річку.

Зовнішня установка з очищення відпрацьованих вод B, що очищує кислі технологічні води без вмісту As
Вхідна вода має pH 1 та +/- 35 г/л сульфатів.

На першому етапі додають вапняне молоко та поліелектроліт для осадження гіпсу та металів у вигляді гідроксидів за pH 10,5–11. Осад видаляється у відстійнику та містить багато цінних металів, таких як Cu, Pb, In та Te. Тому цей осад повертається на плавильний завод.

Другий етап очищення описано вище.

Внутрішня установка з очищення відпрацьованих вод для очищення каналізаційної води
Вода, що надходить, складається з дощової води, надлишкової зрошувальної води, контактної охолоджувальної води, деякої кількості технологічної води та збирається в загальнозаводську каналізаційну систему. Каналізаційна вода має pH +/-9 і містить багато грубодисперсних зважених часток. Спочатку вона проходить через сітку, де видаляються більші частки. Потім вона стікає у великий басейн, де частинки осідають. Їх видаляють скребком, фільтрують у вигляді брикету та повертають на плавильний завод.

Потім воду обробляють гідроксидом натрію та поліелектролітом для осадження металів. Потім ця вода повторно використовується на заводі для зрушення, охолодження, промислового очищення та деяких процесів. Невикористана повторно вода перекачується на другий етап зовнішньої установки з очищення відпрацьованих вод A для зниження вмісту солі у внутрішньому водяному контурі.

Якість води, що скидається, в діапазоні від 90–го до 100-го процентиля виміряних середніх значень за 24 години наведено в таблиці нижче.

Таблиця 3.68: Склад відпрацьованих вод перед та після очищення на підприємстві Umicore, Хобокен

Параметр	Одиниці вимірювання	Вхідні рівні на установці з очищення відпрацьованих вод A	Вхідні рівні на установці з очищення відпрацьованих вод B	Вхідні рівні на внутрішній установці з очищення відпрацьованих вод	Рівні викидів
Потік	$м^3$/рік	Не повідомлено	Не повідомлено	Не повідомлено	1 000 000
pH		~ 1	~ 1	9	7,5
H_2SO_4	г/л	35	35	Не повідомлено	2,2–2,6
Cu	мг/л	0,08–2,450	0,1–2,900	0,03–37	0,03–0,05
As	мг/л	0,9–10,000	0,2–2,600	0,1–24	0,16–0,17
Pb	мг/л	1,8–1,000	0,4–4,500	0,1–33	0,03–0,04
Ni	мг/л	0,03–450	0,4–270	0,1–27	0,04–0,05
Zn	мг/л	0,1–4,400	0,05–1,100	0,03–8	0,04–0,05
Cd	мг/л	0,2–3,100	0,01–1,850	0,003–75	0,010–0,011
Завислі тверді речовини	мг/л	Не повідомлено	Не повідомлено	Не повідомлено	6,5
Примітка: вхідні концентрації є мінімальними та максимальними значеннями. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]					

Стічні води Metallo-Chimique, Берсе, (суміш води системи комунально-побутового водопостачання, технологічні води, охолоджувальної води, та дощових/поверхневих стоків) централізовані. Тут грубодисперсні фракції, що осаджуються, регулярно видаляються та зберігається в дренажному басейні. Осад повторно вводиться у виробничий процес. На установках з очищення відпрацьованих вод вся вода піддається процесу фізико-хімічному очищенню перед повторним використанням або відведенням. Відбуваються такі етапи:

- додавання трихлористого заліза;
- додавання вапняного молока;
- додавання поліелектроліту.

Зважені частки видаляються зі стічних вод за допомогою відстійника. Осад видаляється за допомогою фільтрпресу. Зневоднений брикет знову вводять у виробничий процес. Перед скиданням вода фільтрується у піщаному фільтрі, а pH регулюється шляхом додавання CO_2. Загальні умови на вході в установки з очищення відпрацьованих вод не контролюються, лише деякі окремі потоки. Проби регулярно відбираються та аналізуються для контролю роботи установок з очищення відпрацьованих вод. Період відбору проб відрізняється для різних параметрів.

Таблиця 3.69: Склад стічних вод після очищення на підприємстві Metallo-Chimique, Берсе

Параметр	Одиниці вимірювання	Рівні викидів *
Потік	$м^3$/рік (2011)	209 902
Потік	$м^3$/день	307–337
Cu	мг/л	0,0257–0,044
Cd	мг/л	0,001–0,0018
Pb	мг/л	0,02–0,029
Zn	мг/л	0,0232–0,066
Ni	мг/л	0,056–0,075
As	мг/л	0,0178–0,0207
Hg	мг/л	< 0,0002
* На основі п'яти середньопропорційних проб за 24 години у 2011 р. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]		

KGHM, Глогув 1, 2 та Легниця утворюються наступні потоки відпрацьованих вод.

- Побутові стоки з їдалень, пралень, громадських та адміністративних будівель тощо, що скидаються в окрему санітарну систему.
- Кислі відпрацьовані води, в тому числі відпрацьована кислота, злив після очищення відхідних газів конвертера та дощові води навколо установки з виробництва сірчаної кислоти, а також відпрацьовані води від очищення електроліту, установки демінералізації води та лабораторії.
- Промислові стічні води, до яких відносяться зливи з циклів циркуляції охолоджувальної води та систем мокрого знепилення, відпрацьовані води від миття підлоги, доріг та інших об'єктів, а також дощові води, скидаються у систему промислових стічних вод. (У Глогуві 2 є окрема каналізація для дощової води).

Усі відпрацьовані води підлягають очищенню на установках з очищення стічних вод. Спочатку кислі потоки нейтралізуються вапняним молоком, стічні води проходять попереднє очищення в резервуарах Імхоффа, а дощова вода зберігається у збірних резервуарах. Потім всі потоки змішуються та коагулюються за допомогою сполуки заліза, вапняного молока та поліелектроліту. Осад, відділений на установці з очищення стічних вод, осаджується в осаджувальних резервуарах, потім фільтрується та піддається захороненню.

Таблиця 3.70: Склад відпрацьованих вод після очищення у Легниці, Глогуві 1 і 2

Параметр	Одиниці вимірювання	Легниця		Глогув 1 і 2		Макс. значення відповідно до дозволів для Легниці, Глогуву 1 і 2
		Рівні викидів *	Періодичність моніторингу	Рівні викидів *	Періодичність моніторингу	
Швидкість потоку	$м^3$/день	6082	Безперервний	11 175	Безперервний	23 250
pH		8,4	Раз на день	8,1	Раз на день	6,5–9,0
Cu	мг/л	0,23	Раз на місяць	0,031	3 рази на тиждень	≤ 0,5
As	мг/л	0,055	Раз на місяць	0,022	3 рази на тиждень	≤ 0,1
Pb	мг/л	0,09	Раз на місяць	0,148	Раз на 2 місяці	≤ 0,5
Ni	мг/л	0,067	Раз на місяць	0,063	Раз на 2 місяці	≤ 0,5
Zn	мг/л	0,428	Раз на місяць	0,037	Раз на 2 місяці	≤ 2,0
Cd	мг/л	0,002	Раз на день	0,0037	Раз на день	≤ 0,4
Hg	мг/л	0,003	Раз на день	0,0005	Раз на день	≤ 0,06
Cr	мг/л	0,011	Раз на місяць	0,012	Раз на 2 місяці	≤ 0,5
Завислі тверді речовини	мг/л	7,41	Раз на місяць	2	3 рази на тиждень	≤ 35

* Середньорічне значення.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Установка з очищення відпрацьованих вод підприємства Atlantic Copper очищає стічні води в основному від газового скруберу електричної печі для очищення шлаку, регенерації іонообмінних смол з установки демінералізації, зони зберігання концентратів, а також зливу скруберів для газу від вогняного рафінування. Установка має три приймальні резервуари та пластинчастий згущувач, у якому здійснюється регулювання pH та додавання коагулянтів, флокулянтів та реагентів. Злив зі згущувача прямує на другий етап осадження та декантації з додаванням реагентів, у тому числі хлоридів заліза, для глибокого очищення від залишкового миш'яку та металів. Злив з останнього прямує у два резервуари, а вода повертається в скрубер для відхідних газів електричної печі. Надлишкова вода зливається. Осади з етапів осадження відправляються у фільтрпрес.

Слабка кислота з кислотної установки та злив з процесу електролітичного рафінування збираються та обробляються на багатоетапній установці з хімічного очищення відпрацьованих вод (гіпсовий завод), що складається з трьох етапів:

- осадження гіпсу (мікрофільтрація та обробка вапняним молоком, доведення pH до 1);
- потім кислоту нейтралізують вапняним молоком до pH 1–1,4 і шляхом осадження у вакуумному фільтрі отримують чистий гіпс > 96% $CaSO_4.2H_2O$;
- осадження металів (обробка вапняним молоком, $FeCl_3$, підвищення pH до 12, уловлювання металів).

На цьому етапі pH розчину підвищується приблизно до 12 і для осадження більшої кількості металів також подаються необхідні реагенти для окиснення та осадження миш'яку та металів, у тому числі хлорне залізо. Під час осадження та декантації твердої фази у згущувачі утворюється шлам, який спрямовується на фільтрпрес для отримання брикету для нейтралізації. Осадження прискорюють за допомогою поліелектролітів (коагулянтів та флокулянтів).

Видалення миш'яку передбачає обробку $FeCl_3$ для уловлювання залишкового миш'яку. На цьому етапі миш'як, що залишився в розчині, видаляється, а кінцевого pH розчину очищених вод підтримується на рівні 7–8. У розчин для глибокого очищення подаються необхідні реагенти, у тому числі хлорне залізо, для видалення залишкового миш'яку та металів у двох резервуарах та освітлювачі.

Шлами з цього етапу осадження спрямовуються на процес осадження металів.

Таблиця 3.71: Склад відпрацьованих вод перед та після очищення на підприємстві Atlantic Copper

Параметр	Одиниці вимірювання	Максимальне значення на вході	Рівні викидів		
			Мін.	У середньому	Макс.
Швидкість потоку	$м^3$/рік			200 000	
Cu	мг/л	2000	0,02	0,05	0,21
As	мг/л	10 000	0,02	0,3	2
Pb	мг/л	300	0,03	0,04	0,08
Ni	мг/л	4000	0,02	0,04	0,13
Zn	мг/л	5000	0,16	0,67	2,15
Cd	мг/л	500	0,01	0,03	0,09
Завислі тверді частки	мг/л	1500	5	16	100
Hg	мг/л		0,015	0,015	0,015
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

Моніторинг вод, що скидаються, здійснюється на основі складених середньопропорційних проб за 24 години. Відбір проб здійснюється автоматичним пробовідбирачем.

Boliden, Гар'явалта, керує мідеплавильними та нікелевими заводами. Забруднені води (дощова вода, тала вода, поверхневий дренажна вода та технологічна вода) обробляються на установках з очищення стічних вод, а потім повертаються у річку. Boliden очищає частину поверхневих вод та відпрацьованих вод підприємства «Норильський нікель». Boliden, Гар'явалта, запустила нову установку з очищення відпрацьованих вод у 2009 році. Інвестиційні витрати склали близько 4 млн євро. Річні експлуатаційні витрати складають близько 800 000 євро.

Установка з очищення відпрацьованих вод Boliden складається з наступних компонентів:

- Первинне відстоювання.
- Осадження: метали осаджуються у вигляді гідроксидів металів за допомогою гідроксиду натрію (pH приблизно 10,5).
- Очищення Actiflo©, що складається з чотирьох етапів:
  - Додається сульфат заліза (коагулянт). Коагулянт нейтралізує поверхневі заряди часток гідроксиду металу та посилює утворення первинних часток.
  - Мікропісок вводиться у потік і перемішується до отримання однорідного розчину. Мікропісок прикріплюється до пластівчастого згустку та збільшує його вагу, тим самим підвищуючи швидкість осідання.
  - У потік додається флокулянт. Флокулянт пов'язує частки гідроксиду металу разом, утворюючи великі пластівчасті згустки з хорошими властивостями осадження.

- Тяжкі пластівчасті згустки осідають на дно відстійника, а чиста вода виходить з відстійника у вигляді зливу. Відстійники обладнані тонкими шарами для поліпшення розділення. Осад із дна відстійника перекачується в гідроциклони, які відокремлюють пісок та повертають його назад у процес. Металевий осад видаляється шляхом первинного відстоювання, звідки перекачується у відстійник для осаду та транспортується на завод зі концентрування шлаку.

Таблиця 3.72: Склад відпрацьованих вод перед очищенням та після нього на підприємстві Boliden, Гар'явалта

Забруднювальна речовина	Одиниці вимірювання	На вході	На виході	
		У середньому	У середньому	90-й процентиль
Швидкість потоку	м³/рік		2 426 300	
Cu	мг/л	3,356	0,115	0,120
Ni	мг/л	5,448	0,146	0,170
Zn	мг/л	1,805	0,031	0,040
Pb	мг/л	0,092	0,009	0,008
As	мг/л	0,474	0,053	0,120
Cd	мг/л	0,272	0,006	0,010
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]				

На підприємстві Boliden, Рьоннскяр, різні технологічні води з усіх виробничих установок (мідеплавильного заводу, конвертерів, електролізера, установки з ф'юмінгування цинку, свинцевого заводу, кислотного заводу, заводу з виробництва порошкового металу) змішуються з дощовою водою та промивною водою після попереднього збору у різних басейнах. Процес очищення складається з двох етапів. На першому етапі метали та миш'як осаджуються за pH 2–4 в реакційних резервуарах з сульфідом, сульфідний шлам відокремлюється в згущувачі та повертається в процес виробництва міді. Другий етап складається з осадження з використанням вапна, де осаджується фторид кальцію. Вапняний шлам піддається захороненню.

Таблиця 3.73: Склад стічних вод після очищення на підприємстві Boliden, Рьоннскяр

Параметр	Одиниці вимірювання	Викиди *		
		Мінімум	Середнє значення	Максимум
Швидкість потоку	м³/рік	НЗ	НЗ	НЗ
Cu	мг/л	0,003	0,031	0,46
Pb	мг/л	0,001	0,009	0,043
Zn	мг/л	0,01	0,48	12
Cd	мг/л	0,0002	0,002	0,013
As	мг/л	0,005	0,23	1,1
Hg	мг/л	0,00005	0,0003	0,0014
* Значення на основі 12 проб на рік. Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]				

На підприємстві Cobre Las Cruces продукти вилучення розчинником (гідрометалургійний процес) обробляються на установці з очищення відпрацьованих вод. На цій установці проводиться фізико-хімічне очищення, що складається з двоетапного процесу, що передбачає нейтралізацію та окиснення з подальшим згущенням та фільтрацією. Застосовуються також дозування вапна та інші добавки (флокулянти). Відпрацьовані води після такої обробки контролюються перед скиданням у водоприймач.

У Таблиці 3.74 показані викиди, виміряні у 2011 р.

Таблиця 3.74: Склад стічних вод після очищення на підприємстві Cobre Las Cruces

Параметр	Одиниці вимірювання	Викиди *		
		Мінімум	Середнє значення	Максимум
Швидкість потоку	$м^3$/рік	НЗ	НЗ	НЗ
ЗЛОС	мг/л	4,1	5,8	9
Cu	мг/л	0,004	0,04	0,0554
Pb	мг/л	0,0025	0,006	0,006
Zn	мг/л	0,021	0,106	0,123
Cd	мг/л	0,0005	0,003	0,005
As	мг/л	0,017	0,03	0,059
Hg	мг/л	0,0005	0,001	0,0015
* Значення засновані на 303 вимірюваннях на рік (складені проби за 24 години). Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [358, CLC 2012]				

Вплив на різні компоненти довкілля
- Утворення відходів для утилізації.
- Збільшення енергоспоживання.
- Використання реагентів, наприклад, хімічних речовин для осадження або біоцидів для підготовки додаткової води для охолодження.
- Перероблення або повторне використання води у багатьох випадках обмежене провідністю розчину.
- Шум, наприклад, від градирень.
- Передача тепла від води в повітря.
- Можливе розмноження легіонел у закритих системах за температури від 25°C до 60°C.

Технології, що застосовуються, повинні враховувати специфіку виробничих процесів та місцеві умови. Крім того, розмір і швидкість потоку приймального водоймища можуть відігравати роль у виборі технологій.

Зменшення об'ємного потоку на користь вищих концентрацій потребує менше енергії для очищення. Очищення висококонцентрованих відпрацьованих вод призведе до вищих концентрацій стічних вод, але з більшою швидкістю зниження, ніж із менш концентрованими потоками, що призведе до кращого загального видалення забруднювальних речовин.

Використання циклів циркуляції охолоджувальної води є енерговитратним і потребує хімічних добавок, тому використання охолоджувальної води з річок або озер, коли це можливо, є дешевшим.

Слід уникати контакту сульфідів з кислотою, щоб запобігти утворенню сірководню. Сульфат заліза може бути доданий після осадження для видалення надлишку сульфіду.

Економічні аспекти
Інвестиційні витрати Aurubis, Пирдоп, становили 10 мільйонів євро; електроенергія: 220 кВт-год, споживання вапна: 0,74 т/т кислоти, $FeCl_3$: 8,4 т/т миш'яку, H_2O_2: 2 т/т миш'яку.

Стимул до впровадження
Скорочення викидів стічних вод відповідно до нормативних вимог.

Приклади заводів
Aurubis, Гамбург (Німеччина) (завод із виплавки первинної міді, завод із виплавки вторинної міді/свинцю, виробництво дорогоцінних металів, обробка міді); Aurubis, Пирдоп (Болгарія) (плавильний завод); Aurubis, Олен (Бельгія) (завод із виплавки вторинного металу, обробка міді); Umicore, Хобокен (Бельгія) (комплексний плавильний завод); Metallo-Chimique, Берсе (Бельгія) (вторинна мідь); Montanwerke Brixlegg (Австрія) (завод

із виплавки вторинної міді; установка з очищення відпрацьованих вод для гідрометалургійного виробництва; два седиментаційних басейни для поверхневих вод); KGHM, Глогув 1, Глогув 2 та Легниця (Польща) (заводи з виплавки первинної міді); Atlantic Copper (Іспанія) (завод із виплавки первинної міді); Cobre Las Cruces (Іспанія) (гідрометалургійний); Boliden, Гар'явалта (Фінляндія) (завод із виплавки первинної міді); та Boliden, Рьоннскяр (Швеція) (завод із виплавки первинної міді, завод із виплавки вторинної міді/свинцю, виробництво дорогоцінних металів).

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.7 Технологічні залишки

3.3.7.1 Варіанти використання або обробки технологічних залишків

Опис
Технологіями, які слід розглянути в порядку пріоритету, є:

- повторне використання у процесі виплавки для вилучення міді та інших металів;
- вилучення металів на зовнішніх заводах;
- обробка для застосування в інших галузях.

Технічний опис
Під час виробництва міді утворюється широкий спектр проміжних продуктів залежно від застосовуваних процесів та сировини. Через таку різноманітність побічних продуктів, що відрізняються один від одного за зовнішнім виглядом і хімічним складом і змінюються з часом, цей розділ містить опис потенційних галузей застосувань, хоча вони можуть не підходити для всіх обставин. Рішення повинно бути визначене для всіх проміжних продуктів відповідно до вищезазначеного пріоритетного порядку.
Більшість проміжних продуктів, що утворюються під час виробництва міді, мають певний вміст міді та інших кольорових металів, що можна вилучити, тому використовуються як вторинна сировина. Димовий пил з усіх джерел може бути повторно використаний у процесі виплавки або проданий третім сторонам. Щоб запобігти утворенню пилу під час обробки, його обробляють обережно, зазвичай у спеціально розроблених системах, або він попередньо обробляється відповідно до вимог подальшої обробки.

Деяку футерівку печей також можна повторно використовувати як масу для впускного отвору або вводити в процеси виплавки разом з сировиною і, таким чином, вона може бути включена в шлак. У інших випадках футерівка утилізується.

Кінцеві шлаки силікату заліза, що утворюються в печах, на установках з ф'юмінгування або в результаті флотації, містять дуже низькі рівні металів, що вилуговуються, та є стабільними. Шлаки використовуються у якості матеріалів для різних промислових галузей застосувань і для заміни природних джерел, наприклад, як допоміжний шар основи або поверхневий шар у дорожньому будівництві, заповнювач для будівництва насипів, закладальний матеріал шахт, у виробництві бетону та в інших сферах застосування заповнювачів, у виробництві клінкеру, або у якості мінеральної добавки до композиційного цементу, або агента абразивноструминної обробки.

Кінцеві шлаки утворюються з різним розміром зерен, тобто від великих шматкових матеріалів, гранул до дрібнозернистого матеріалу, залежно від процесу та галузі застосування. Вони мають чудові механічні властивості, які іноді перевершують властивості конкурентних природних мінералів.

Технології, що застосовуються для зменшення кількості відходів, що відправляються на утилізацію, наведено в Таблиці 3.75 нижче.

Таблиця 3.75: Проміжні продукти, залишки та відходи від процесу виробництва міді

Технологічна установка	Відходи виробництва	Використання/технологія обробки
Системи боротьби з викидами У всіх металургійних процесах	Пил (в тому числі шлам з системи вологого знепилення)	Відновлення металу за допомогою пірометалургійних або гідрометалургійних процесів. Гіпс на продаж. Повторне використання у пірометалургійному процесі у якості джерела кальцію.
	Відпрацьовані каталізатори	Перероблення/регенерація
	Сірчана кислота	Продаж для різних галузей застосування
	Слабка кислота	Інші галузі використання, наприклад, вилуговування, виробництво гіпсу
	Залишки з систем видалення ртуті	Обробка або безпечна утилізація
Металоплавильні печі	Шлак Кінцевий шлак	Обробка у шлаковій печі або на установці флотації шлаку. Застосування у якості допоміжного шару основи або поверхневого шару у дорожньому будівництві, заповнювача для будівництва насипів, у виробництві бетону та в інших сферах застосування заповнювачів, у виробництві клінкеру, або у якості мінеральної добавки до композиційного цементу, або агента абразивноструминної обробки.
	Футерівка печі	Відновлення металів, або повторне використання у якості вогнетривів, або контрольована утилізація
Конвертери	Шлак	Вилучення металів
	Футерівка печі	Відновлення металів, або повторне використання у якості вогнетривів, або контрольована утилізація
Шлакові печі/установка з ф'юмінгування	Кінцевий шлак	Застосування у якості допоміжного шару основи або поверхневого шару у дорожньому будівництві, заповнювача для будівництва насипів, у виробництві бетону та в інших сферах застосування заповнювачів, у виробництві клінкеру, або у якості мінеральної добавки до композиційного цементу, або агента абразивноструминної обробки.
Флотація шлаку	Кінцевий шлак	Застосування для промислових цілей, у виробництві бетону та в інших сферах застосування заповнювачів, у виробництві клінкеру, або у якості мінеральної добавки до композиційного цементу, або у якості компонента для виробництва заліза/сталі. Контрольована утилізація у хвостосховище.
Рафінувальні (анодна) печі	Шлак	Вилучення металів
Печі для плавлення (обробка міді)	Вогнетривка футерівка	Вилучення металів або контрольована утилізація
	Знімання, шлаки	Вилучення металів
	Брухт від виробництва	Вилучення металів
Цех електролізу	Відпрацьований електроліт/злив	Відновлення Cu шляхом електролізу, цементації або за допомогою інших технологій. Відновлення Ni шляхом кристалізації. Повторне використання кислоти, що залишилася, для отримання нового

		електроліту, для виробництва гіпсу або нейтралізація та утилізація.
	Відпрацьовані аноди	Внутрішнє перероблення шляхом переплавлення або застосування у якості охолоджувального матеріалу під час пірометалургійного рафінування міді
	Анодний шлам	Вилучення дорогоцінних та неблагородних металів
Очищення відпрацьованих вод	Чистий гіпс	Повторне використання у пірометалургійних процесах у якості джерела кальцію або продаж у якості побічного продукту
	Забруднений гіпс	Утилізація на спеціально спроєктованих полігонах для захоронення.
	Осад	Відновлення металів за допомогою пірометалургійних та гідрометалургійних процесів або безпечна утилізація у якості відходів
Гідрометалургія	Відпрацьований електроліт	Повторне використання у якості агента для вилуговування
Виробництво напівфабрикатів	Кислотні травильні розчини	Відновлення металів шляхом електролізу, іонного обміну, осадження або іншим шляхом. Повторне використання розчину або скидання після очищення відпрацьованих вод.
Виробництво катанки	Кислотні травильні розчини (якщо застосовується)	Відновлення металів шляхом електролізу, іонного обміну, осадження або іншим шляхом. Повторне використання розчину або скидання після очищення відпрацьованих вод.
	Окалина	Відновлення міді шляхом пірометалургійного процесу
Джерело: [238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]		

Досягнуті екологічні переваги
- Мінімізація матеріалу, призначеного для утилізації.
- Повторне використання ресурсів та відновлення цінних металів.
- Економія природних ресурсів (застосування кінцевого шлаку).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології, описані у цьому розділі, можуть використовуватись на всіх заводах залежно від фізико-хімічних характеристик проміжних продуктів. Технології, що використовуються на заводському рівні, залежать від конкретних місцевих умов, сировини та комбінації процесів, що використовуються.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Економічні міркування.

Приклади заводів
Усі заводи.

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.3.8 Енергія

3.3.8.1 Технологія зниження споживання енергії під час виробництва первинної міді

Опис
Технології, які слід розглянути:

- оптимізація споживання енергії;
- безперервний моніторинг;
- інструменти звітності та аналізу;
- регулярні аудити;

Технічний опис
Деякі технології використовуються у виробництві як первинної, так і вторинної міді.

Оптимізація споживання енергії

- Використання регенеративних пальників, рекуперативних пальників, теплообмінників та котлів-утилізаторів для регенерації тепла.
- Підігрівання паливного газу та повітря для згорання. Тепло відхідних газів можна також використовувати для нагрівання повітря та газу для згорання через теплообмінник.
- Використання печі зваженої плавки знижує витрати стандартного палива завдяки оптимальному використанню теплотворної здатності сульфідних концентратів та органічного вуглецю, присутнього у мідному концентраті.
- Збагачення киснем повітря для згорання для виплавки зменшує споживання викопного палива та пов'язані з ним прямі викиди. Об'єми відпрацьованого газу також зменшуються, що дозволяє використовувати менші вентилятори. Виробництво кисню вимагає використання електроенергії, тому необхідно дотримуватись ретельного балансу енергії та викидів.
- Використання відповідного футерування печі та ізоляції на установках, що використовують високі температури, наприклад, ізоляція парових труб та труб для гарячої води.
- Гарячі технологічні гази з етапів плавлення можуть використовуватися для нагрівання вхідної шихти, залежно від типу використовуваної печі, наприклад, шахтної печі.
- Накривання концентратів під час транспортування та зберігання запобігає накопиченню надлишкової вологи в шихті, а також перешкоджає утворенню пилу.
- Роздільне сушіння концентратів за низьких температур знижує потребу в енергії, оскільки зменшує кількість енергії, необхідної для випаровування води на плавильному заводі, й обсяг пари/газу, що утворюється.
- Використання котлів-утилізаторів для регенерації енергії та утворення пари. Ця пара використовується для нагрівання технологічного повітря або сушарок концентрату, приведення в дію повітродувок або компресорів плавильних заводів, генерації електроенергії або як технологічне тепло для інших заводів.
- Використання надлишкового тепла, що утворюється на етапах виплавки первинного металу або конвертування, для плавлення вторинних матеріалів без використання додаткового палива. Наприклад, тепло у конвертерах Пірса-Сміта використовується для плавлення брухту.
- Виробництво сірчаної кислоти з діоксиду сірки, що виділяється на етапах випалювання та/або виплавки, є екзотермічним процесом та передбачає кілька етапів охолодження газу. Тепло, що утворюється в газах під час перетворення, та тепло, що міститься в отриманій кислоті, можна використовувати для підігріву газу, що спрямовується на установку із виробництва сірчаної кислоти, або для отримання пари та/або гарячої води.
- Використання концентратів, що містять вуглець, призводить до високого вмісту чадного газу у вихлопних газах. Його збирають і спалюють у якості палива (на місцевій електростанції) для утворення пари для централізованого теплопостачання або для

приведення в дію електричних турбін, а також для видалення цієї забруднювальної речовини з вихлопних газів.
- Гази з анодних печей можуть використовуватись для сушіння або на інших етапах технологічного процесу.
- Встановлення високоефективних електричних двигунів, наприклад, для вентиляторів, оснащених приводом з частотним регулюванням.
- Ізоляція та покриття електролізерних резервуарів знижує втрати тепла та споживання тепла, необхідного для підтримки температури.

Безперервний моніторинг;
Часто використовується для найважливіших потоків енергії та процесів горіння на об'єкті. Дані зберігаються протягом тривалого часу, щоб можна було проаналізувати типові ситуації.

Інструменти звітності та аналізу
Інструменти звітності часто використовуються для перевірки середнього споживання енергії в основних технологічних процесах. Система управління споживанням енергії, яка контролює енергію, що використовується, пропонує можливість порівняння фактичних даних з даними за попередні періоди.

Енергоаудити
Ці аудити є найважливішим інструментом для виявлення економічно вигідних можливостей економії енергії.

Досягнуті екологічні переваги
Мінімізація споживання енергії.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємствах Aurubis у Гамбурзі та Пирдопі котел-утилізатор використовується для регенерації тепла процесу зваженої плавки концентрату. Пара використовується в парових сушарках концентрату, в цеху електролізу та для нагріву різних хімічних процесів, а також для опалення будівель. Тепло, що виділяється в конвертерах, використовується для плавлення брухту. На кислотній установці подвійного контактування/подвійної абсорбції теплообмінники регенерують тепло від виробництва H_2SO_4 з SO_2.

На KGHM, Глогув 1 та Легниця, гази з шахтних металоплавильних печей (що містять близько 10% CO) направляються на місцеві електростанції для спалювання, видалення CO та регенерації енергії. Відведені гази із секцій завантаження та випускання шахтних печей використовуються як повітря для згорання на місцевих електростанціях.

У Глогуві 1, Глогуві 2 та Легниці тепло, що утворюється в конвертерах (у виробництві первинного металу), використовується для плавлення брухту (який може бути доданий до шихти).

У Глогуві 1, Глогуві 2 та Легниці на установках з виробництва сірчаної кислоти теплообмінники регенерують тепло від процесу перетворення та використовують його для підігріву газу, що спрямовується на установку з виробництва сірчаної кислоти.

У Легниці вентиляційні гази з секцій завантаження, випускання та спускання шлаку анодних печей частково використовуються як повітря для згорання в пальниках анодних печей. Підігріте повітря у трубах холодильників конвертерів, що використовують зовнішнє повітря, використовується для підігріву знепилених димових газів шахтних печей, що спрямовуються на спалювання на електростанцію.

У Глогуві 2 котел-утилізатор використовується для регенерації тепла з процесу зваженої плавки концентрату для отримання пари та гарячої води.

Пара, що утворюється на електростанціях та котлах-утилізаторах (серед інших джерел), використовується для нагрівання електроліту, вивантаження чорного лугу і, в Легниці, у колоні для випаровування процесу абсорбції/десорбції на поліефірній основі.

На підприємстві Boliden котел-утилізатор регенерує тепло від виплавки та конвертування концентрату. Відпрацьоване тепло використовується під час сушіння концентрату для

економії енергії та зменшення викидів SO_2, газу та пилу в процесі сушіння. Частина гарячих відхідних газів анодної печі використовується для сушіння концентратів.

На підприємстві Atlantic Copper котел-утилізатор регенерує тепло від плавки концентрату. Пара використовується для сушіння концентратів, для цілей нагрівання на заводі та для виробництва електроенергії. Технологічне тепло конвертерів використовується для плавлення брухту. Газоподібні продукти згоряння електростанції також використовуються для сушіння концентратів. Система управління енергоспоживанням спрямована на постійне підвищення енергоефективності.

Вплив на різні компоненти довкілля
Заходи щодо зниження вмісту вологи матеріалів мають бути збалансовані з необхідністю підтримки певного вмісту вологи у матеріалах з метою запобігання викидам пилу.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ці технології застосовуються залежно від типу печі, методів усунення забруднення довкілля, що використовуються, наявності палива, складу сировини та віку установки. Наприклад, часто застосовуються котли-утилізатори, що використовують гарячі гази, що утворюються під час плавки сульфідних руд. Особливу увагу слід приділити запобіганню впливу високих концентрацій пилу та корозії.

Використання відхідних газів для регенерації енергії на електростанціях застосовується до газів з високою концентрацією чадного газу (близько 10% CO).

У деяких випадках вміст пилу у відхідних газах не дозволяє використовувати теплообмінники.

Охолодження перед рукавним фільтром є важливим, оскільки воно захищає фільтр від високих температур.

Економічні аспекти
Описані вище заходи вимагають значних інвестицій (наприклад, матеріали для ізолювання/футерування), але вони окупаються в довгостроковій перспективі.

Стимул до впровадження
Мінімізація витрат на енергетичні ресурси.

Приклади заводів
Aurubis, Гамбург (Німеччина), Aurubis, Пирдоп (Болгарія), KGHM, Глогув 1, Глогув 2 та Легниця (Польща), Boliden, Рьоннскяр (Швеція), iden, Гар'явалта (Фінляндія) та Atlantic Copper, Уельва (Іспанія).

Довідкова література
[238, ECI 2012] [383, Copper subgroup 2012]

3.3.8.2 Технологія зниження споживання енергії під час виробництва вторинної міді

Опис
Технології, які слід розглянути:

- оптимізація споживання енергії;
- безперервний моніторинг;
- інструменти звітності та аналізу;
- регулярні аудити;

Технічний опис
Деякі технології використовуються у виробництві як первинної, так і вторинної міді.

Оптимізація споживання енергії
- Використання регенеративних пальників, рекуперативних пальників, теплообмінників та котлів-утилізаторів для регенерації тепла.
- Зменшення вмісту води у вихідному матеріалі. Попереднє сушіння сировини знижує споживання енергії під час виплавки, оскільки випаровування води за низької температури вимагає менше енергії, ніж обробка за високої температури. Ці заходи мають бути збалансовані з необхідністю підтримки певного вмісту вологи у матеріалах для запобігання викидам пилу.
- Використання ефективного футерування та ізоляції печі на установках, що використовують високі температури. Ізоляція парових труб та труб для гарячої води.
- Підігрівання паливного газу та повітря для згорання. Тепло відхідних газів можна також використовувати для нагрівання повітря та газу для згорання через теплообмінник.
- Гарячі технологічні гази з етапів плавлення можуть використовуватися для нагрівання вхідної шихти печі, залежно від типу печі. Прикладом може бути використання шахтної печі, у якій підігрів шихти відбувається всередині печі.
- Рециркуляція відпрацьованих газів через киснево-паливний пальник забезпечує значну економію енергії. Пальник регенерує відпрацьоване тепло газу, використовує енергію, що міститься в забруднювальних речовинах, і видаляє їх.
- Використання РТО як допалювача зменшує кількість енергії, необхідної для зменшення викидів органічного вуглецю.
- Використання печі витримки для металоплавильної печі періодичної дії, коли потрібна буферна ємність між стадіями процесу. Через періодичний характер роботи та різну тривалість технологічних циклів обладнання на різних етапах (наприклад, металоплавильні печі, конвертери, анодні печі) метал весь час необхідно підтримувати в розплавленому стані. В іншому випадку чорну мідь або конвертерну мідь необхідно переплавляти для використання в наступній печі/конвертері, що пов'язане з набагато вищим споживанням енергії.
- Збагачення киснем повітря для згорання для виплавки зменшує загальне споживання викопного палива та пов'язані з ним прямі викиди. Об'єми відпрацьованого газу також зменшуються, що дозволяє використовувати менші вентилятори. Виробництво кисню вимагає використання електроенергії, тому необхідно дотримуватись ретельного балансу енергії та викидів.
- Встановлення високоефективних електричних двигунів, наприклад, для вентиляторів, оснащених приводом з частотним регулюванням.
- Використання котлів-утилізаторів для регенерації енергії та утворення пари. Ця пара використовується для нагрівання технологічного повітря або парових сушарок, приведення в дію повітродувок або компресорів плавильних заводів, генерації електроенергії або як технологічне тепло для інших заводів.
- Пара, отримана шляхом регенерації надлишкового тепла з анодної печі, використовується для нагрівання електроліту на рафінувальних заводах та/або для виробництва електроенергії на когенераційних установках.
- Ізоляція та покриття електролізерних резервуарів знижує втрати тепла та споживання тепла, необхідного для підтримки температури.
- Використання надлишкового тепла, що утворюється в процесі виплавки або конвертування, для плавлення брухту різної якості без використання додаткового палива.

- Використання переробленої міді у процесі виплавки для пропорційного покращення енергетичного балансу. Належну увагу слід приділяти відмінностям у якості та наявності вторинних матеріалів.
- Під час виплавки електронного брухту вміст горючого пластику сприяє отриманню енергії, яка використовується в процесі виплавки, та знижує кількість необхідного викопного палива.

Енергія, необхідна для виплавки певного вихідного матеріалу, залежить від складу, тому склад шихти можна оптимізувати для отримання максимальної кількості тепла від екзотермічної реакції. Проте, це не вважається превентивним заходом щодо зниження споживання енергії, оскільки склад вторинного матеріалу залежить від зазначених вище процесів, наявності на ринку вихідних матеріалів та встановленої системи боротьби з викидами.

Безперервний моніторинг;
Часто використовується для найважливіших потоків енергії та процесів горіння на об'єкті. Дані зберігаються протягом тривалого часу, щоб можна було проаналізувати типові ситуації.

Інструменти звітності та аналізу
Інструменти звітності часто використовуються для перевірки середнього споживання енергії в основних технологічних процесах. Система управління споживанням енергії, яка контролює енергію, що використовується, пропонує можливість порівняння фактичних даних з даними за попередні періоди.

Енергоаудити
Ці аудити є найважливішим інструментом для виявлення економічно вигідних можливостей економії енергії.

Досягнуті екологічні переваги
Метою оптимізації споживання енергії є мінімізація споживання енергії в рамках обмежень, властивих системі, і, таким чином, зменшення пов'язаних із цим прямих та непрямих викидів.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Обробка електронного брухту потребує додаткового обладнання що відповідає екологічним нормам.
- Заходи щодо зниження вмісту вологи матеріалів мають бути збалансовані з необхідністю підтримки певного вмісту вологи у матеріалах з метою запобігання викидам пилу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На підприємстві Aurubis, Люнен, тепло від печі KRS та анодної печі регенерується у котлі-утилізаторі та використовується для нагрівання електроліту.

На підприємстві Aurubis, Олен, на заводі Contimelt гарячі гази з шахтної печі ASO використовуються для підігріву шихти, а котел-утилізатор утворює пару. На заводі Contirod вихідний матеріал (мідні катоди) печі Asarco підігрівається відхідними газами в шахтній печі. Вихлопні гази підігрівають повітря для згорання для пальників через теплообмінник. Закрита система завантаження запобігає витоку тепла/газів з установки. Відпрацьоване тепло лінії видавлювання установки Conform використовується для опалення виробничої будівлі.

На підприємстві Aurubis, Авелліно, відпрацьоване тепло шахтної печі регенерується для підігрівання природного газу.

На підприємстві Umicore, Хобокен, вміст води у вихідному матеріалі плавильного заводу максимально знижений шляхом змішування сухої сировини з вологою замість використання додаткової води. Введення електронного брухту в плавильний завод максимальне. Встановлені високоефективні електричні двигуни для вентиляторів, насосів тощо, а також приводи з частотним регулюванням. Ізоляція використовується для печі та парового котла. Температура процесу контролюється, а подача енергії регулюється для мінімізації споживання енергії. На установці електровідновлення підтримується високий електричний ККД > 95%.

На підприємстві Montanwerke Brixlegg котел-утилізатор регенерує тепло від відхідних газів анодної печі; РТО використовується для відхідних газів з шахтної печі.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Серед перелічених технологій зниження споживання енергії будуть застосовуватися вибрані технології та заходи залежно від типу печі, методів усунення забруднення довкілля, що використовуються, наявності палива, складу сировини та віку установки.

Наприклад, у деяких випадках вміст пилу у відхідних газах не дозволяє використовувати теплообмінники. Охолодження перед рукавним фільтром є важливим, оскільки воно захищає фільтр від високих температур. Це означає, що розрив між температурами випромінювання як методу регенерації тепла (+/- 600°C) та входом у систему фільтрації має бути подоланий шляхом упорскування води для подальшого охолодження газів.

Економічні аспекти
Описані вище заходи вимагають значних інвестицій (наприклад, матеріали для ізолювання/футерування), але вони окупаються в довгостроковій перспективі.

Стимул до впровадження
Мінімізація витрат на енергетичні ресурси.

Приклади заводів
Aurubis, Люнен (Німеччина), Aurubis, Олен (Бельгія), Aurubis, Авелліно (Італія), Umicore, Хобокен (Бельгія) та Montanwerke Brixlegg (Австрія),

Довідкова література
[238, ECI 2012], [383, Copper subgroup 2012]

3.4 Перспективні технології

Плавка у рідкій ванні

Повідомлялося [135, Gershel, T. 1998], що ведеться робота з розробки та вдосконалення технологій плавки у рідкій ванні. Плавка у рідкій ванні може запропонувати недорогі установки через потенційно високу швидкість реакції на сучасних заводах у поєднанні з герметичними або напівгерметичними печами. Надійність заводу має бути доведена у довгостроковій перспективі, і, якщо вони стануть доступними, слід вивчити дані деяких китайських та російських установок, що використовують печі Baiyin або Ванюкова. Перспективні технології зазначені у Таблиці 3.76.

Таблиця 3.76: Перспективні технології плавки у рідкій ванні

Технологія	Коментарі
Безперервна виплавка/конвертування: Комбінація реактора Noranda та конвертерної печі Mitsubishi	Результати введення в експлуатацію в 1999 році очікують на оцінку

Гідрометалургійний процес

Використання гідрометалургійних процесів, таких як біовилуговування, також є перспективними, вони придатні для змішаних оксидних/сульфідних руд, що містять низькі концентрації дорогоцінних металів. Бактерії, що окиснюють залізо та сульфіди, можуть бути використані для полегшення процесу вилуговування.

Процес Outotec HydroCopper®

Процес Outotec HydroCopper®, у якому використовується система вилуговування на основі хлору, наявний на рівні демонстраційного заводу. Деякі процеси розробляються для обробки концентратів та пилу на основі вилуговування, наприклад, процеси вилуговування-вилучення розчинником-електровідновлення (L-SX-EW (leaching-solvent extraction-electrowin)), [308, Haavanlammi 2007], [309, Pekkala 2007].

4 ПРОЦЕСИ ОТРИМАННЯ АЛЮМІНІЮ З ПЕРВИННОЇ ТА ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ, У ТОМУ ЧИСЛІ ВИРОБНИЦТВО ГЛИНОЗЕМУ І АНОДІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЮ

4.1 Прикладні процеси та технології

4.1.1 Глинозем

Глинозем зазвичай отримують з бокситів за надійно усталеним процесом Байєра, як показано на Рисунку 4.1. У цьому процесі використовуються різні термодинамічні властивості системи каустичної соди — гідроксиду алюмінію. У бокситах є три основні сполуки на основі алюмінію: тригідрат оксиду алюмінію (гіббсит), моногідрат γ-оксиду алюмінію (беміт) та моногідрат α-оксиду алюмінію (діаспор). Розчинність кожної форми гідрату оксиду алюмінію сильно залежить від температури. Отже, в процесі Байєра сполуки алюмінію розчиняються в зоні вилуговування за температур до 280 °C, а за нижчих температур розчинений гідроксид алюмінію осаджується у вигляді твердої речовини в зоні осадження, тобто приблизно за 55–70 °C і, таким чином, алюмінієві сполуки можуть бути видалені з процесу.

У цьому процесі каустична сода тече у циклі та подається з подрібненим бокситом, а потім нагрівається до температури вилуговування. Сполуки глинозему бокситу розчиняються за цих підвищених температур і тисків у вилужниках. Після цього нерозчинений матеріал з бокситів, наприклад, червоний шлам, видаляється з процесу за допомогою згущувачів і/або фільтрів. Потім перенасичений розчин охолоджують у присутності дрібних часток тригідрату оксиду алюмінію, щоб викликати кристалізацію. Тригідрат оксиду алюмінію (також іменований гідратом алюмінію) кристалізується в зоні осадження і може бути видалений за допомогою фільтрів з циклу Байєра. Розчин гідроксиду натрію використовується для розчинення більшої кількості бокситів і цикл починається знову. На останній стадії технологічного процесу гідроксид алюмінію перетворюється на глинозем шляхом кальцинації.

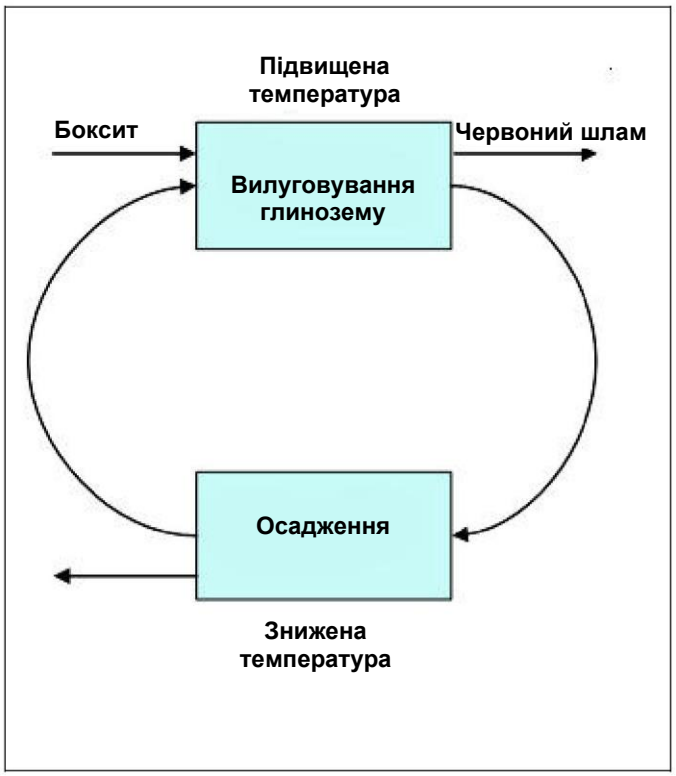


Рисунок 4.1: Загальний принцип процесу Байєра

Хоча основний процес є стандартним для всієї галузі, існують відмінності в умовах і обладнанні, що використовується, зокрема, у вилужниках і кальцинаторах. Ці відмінності переважно впливають на кількість енергії, яка використовується в процесі [75, Nordheim, E. 1998].

Вилуговування глинозему

Насамперед боксит подрібнюють, щоб зробити його придатним для перекачування та збільшити поверхню для вилучення. Боксити подрібнюють у кульових або стрижневих млинах або їх комбінації з додаванням каустичної соди (рідкої). Отримана суспензія потім зазвичай зберігається в резервуарах для суспензій. У вилужники подається ця бокситова суспензія та додатковий розчин для досягнення оптимальних характеристик розчинення.

Бокситна суспензія нагрівається до температури вилуговування, яка варіюється від 100 °C до 320 °C залежно від якості бокситу, за якої розчиняються алюмінієва сполука. Гаряча суспензія охолоджується у резервуарі для охолодження. Пара, що утворюється, використовується для підігрівання бокситової суспензії та, таким чином, регенерується тепло. Для досягнення кінцевої температури вилуговування використовується первинна енергія, непрямо або прямо, шляхом введення гострої пари. Конденсат використовується для різних цілей промивання, наприклад, для видалення розчинної каустичної соди із залишків бокситів та гідроксиду алюмінію.

Завдяки реакції, що відбувається під час вилуговування соди та сполук діоксиду кремнію, що містяться в бокситі, содаліт осаджується і видаляється з процесу з бокситовим залишком. Кількість содаліту залежить від вмісту діоксиду кремнію в бокситі, форми діоксиду кремнію та умов екстракції. Також в залежності від якості бокситу, додають вапно для видалення ванадію та фосфату з розчину та збільшення виходу екстракції.

Видалення червоного шламу або залишків бокситу.

(Див. також довідковий документ про Поводження з відходами та порожніми породами гірничодобувної промисловості [332, COM 2009]). Залишок бокситу, зазвичай відомий як червоний шлам, є твердим матеріалом, що залишається після вилучення з бокситу, і він не розчиняється в розчині. Його видаляють з технологічних розчинів за допомогою згущувачів. Під час використання цих згущувачів швидкість потоку розчину знижується і твердий залишок осаджується. Деякі рафінувальні заводи відокремлюють грубодисперсні частки залишку, відомі як пісок, перед застосуванням згущувачів, що дозволяє уникнути ерозії на наступних етапах. Цей пісок часто використовується для будівництва дороги на об'єкті.

Відокремлений залишок потім промивається конденсатом, який тече в зустрічному напрямку через лінію промивних пристроїв. Перед кожним промивним пристроєм суспензія з попереднього промивного пристрою і злив з наступного промивного пристрою змішуються й осаджуються у промивному пристрої. Таким чином, знижується концентрація лугу на кожному етапі промивання. Чим більше промивних пристроїв встановлено, тим нижча кінцева концентрація лугу в бокситовому залишку.

Удосконалення конструкції згущувачів з використанням глибоких згущувачів дозволили деяким заводам краще контролювати вміст твердих часток та лугу. На деяких рафінувальних заводах останнім етапом вилучення лугу є етап фільтрування (це найбільш ефективний спосіб вилучення лугу та остаточного зневоднення залишку), на якому залишок промивається конденсатом, а фільтрувальний осад зберігається у спеціальній зоні утилізації. Таким чином, концентрація вільного лугу може бути знижена до дуже низького рівня. Використовуються або барабанні фільтри, або пластинчасті та рамні фільтри, іноді послідовно. У разі використання фільтрування під високим тиском твердий залишок, що утворюється, має дуже низький вміст води та може зберігатися у твердій формі або економічно транспортуватися для використання в різних інших галузях.

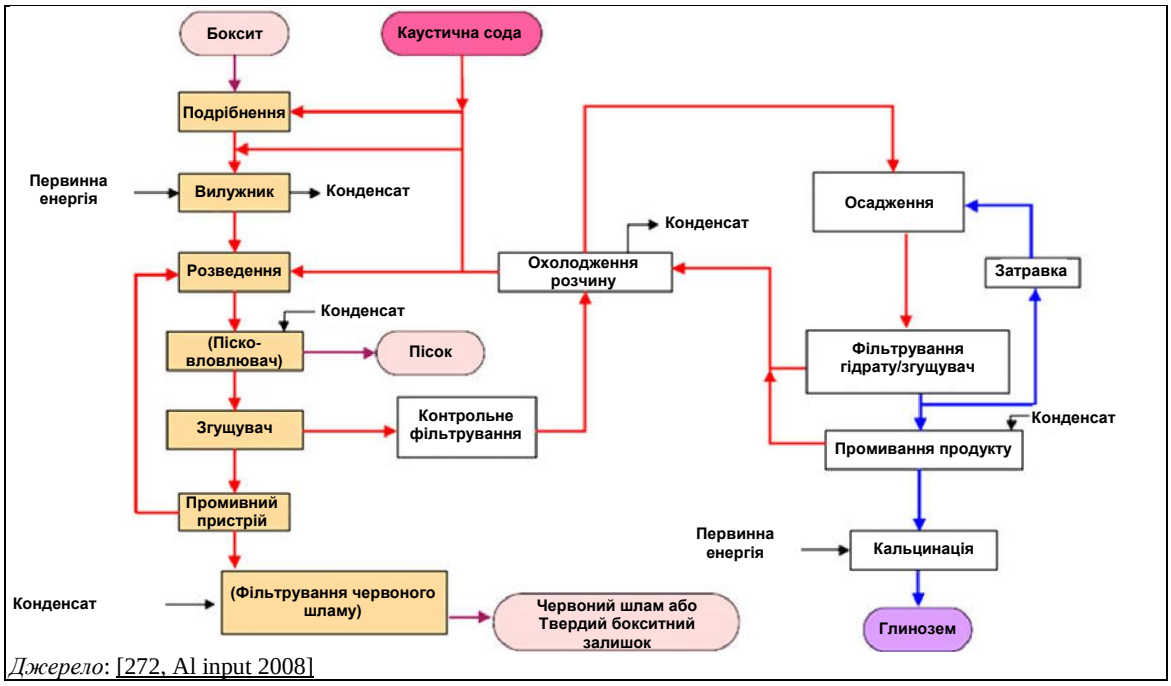
Осадження та кальцинація

Спочатку злив з відстійників фільтрується, щоб видалити з розчину найдрібніші тверді частки. Потім розчин охолоджують до температури осадження, і осаджування починають шляхом додавання гідроксиду алюмінію у якості затравки. На деяких заводах Байєра гідратна суспензія проходить через каскад резервуарів, де гідрат осаджується у кожному резервуарі. Наприкінці каскаду твердий гідрат видаляють із розчину за допомогою фільтрування або згущувачів. Потім відокремлений гідрат промивають конденсатом, після чого його можна піддати кальцинації. Вільний від твердих часток розчин після

проходження в деяких випадках через випарну установку подається в зону вилуговування, де він знову проходить через цикл.

На етапі кальцинації гідрат нагрівають до температури близько 1000 °C. У цих умовах гідроксид алюмінію перетворюється на глинозем. Цей процес можна проводити в псевдозріджених шарах, що циркулюють, а також стаціонарних або обертових кальцинаторах. Кальцинатори з псевдозрідженим шаром, що циркулює, використовуються для глинозему плавильних сортів. Обертові кальцинатори менш енергоефективні, ніж кальцинатори з псевдозрідженим шаром, і зазвичай працюють за вищих температур (1200–1300 °C) для виробництва глинозему з вищим вмістом α-оксиду алюмінію[3], який потрібний для виробництва спеціального глинозему. Глинозем плавильних сортів зазвичай має вміст α-оксиду алюмінію близько 5 % у порівнянні зі значенням > 95 % для спеціального глинозему з обертового кальцинатора. Для кальцинації можна використовувати газ або мастило.

Типова технологічна схема процесу Байєра показана на Рисунку 4.2, у дужках зазначені необов'язкові етапи процесу.



Джерело: [272, Al input 2008]

Рисунок 4.2: Процес Байєра

Домішки від процесу, такі як оксалати та карбонати, зазвичай видаляються у побічних потоках за допомогою різних технологій. Обидва види солі утворюються на етапі вилуговування і походять з органічного та карбонатного вмісту бокситів; крім того, карбонати виникають внаслідок реакції з вуглекислим газом під час процесу. Сіль утворюється як залишок або побічний продукт. Якщо виробництво глинозему ґрунтується на бокситах з високим вмістом ванадію, сіль може бути додатково використана для отримання пентооксиду ванадію для сталеплавильної промисловості. Цей процес може мати проблеми, пов'язані зі стічними водами, оскільки сіль також містить миш'як, який переноситься в розчин від вилуговування, а потім стічні води.

4.1.2 Аноди для виробництва алюмінію

Вугільні аноди, що виробляються для виплавки первинного алюмінію, зазвичай виробляються на тому самому об'єкті, де знаходиться і сам плавильний завод. Однак у деяких випадках вони можуть вироблятися на автономних заводах з виробництва анодів. Виробництво анодів аналогічне виробництву вугільних та/або графітових електродів та форм, але є суттєві відмінності у відсотковому вмісті кам'яновугільного пеку, температурі обпалювання та градієнті та інших параметрах процесу. Також анодні заводи включають

[3] Альфа-фаза є найбільш стабільною кристалографічною формою оксиду алюмінію.

перероблення анодних недогарків. Коротке порівняння показано у Таблиці 4.1.

Таблиця 4.1: Порівняння процесів обпалювання

Параметр	Виробництво анодів	Перший етап обпалювання вугільного електрода
Температура обпалювання (°C)	800–1200	800–1100
Вміст пеку (%)	13–18	До 40
Градієнт нагрівання (°C/год)	10–14	1–2
Питомий об'єм газу ($м^3$/год на тонну виробленої продукції на рік)	5000	50–110
Джерело: [318, Hagen et al. 2007]		

Тут повідомляється про виробництво анодів для виробництва первинного алюмінію. Виробництво вугільних електродів описано у Главі 10.

У процесах використовуються кокс, пек і очищені анодні недогарки для виробництва мас, з яких потім формуються анодні блоки. На етапах зберігання та поводження з сировиною використовуються закриті системи подання та транспортування коксу та вбудовані пилові фільтри. У системах подання та зберігання кам'яновугільного пеку використовується деаерація резервуара та конденсатори для дихання резервуара під час використання рідкого пеку та силоси для твердого пеку. У деяких випадках для обробки газів можна використовувати каталітичний термічний окисник (КТО) або регенеративний термічний окисник (РТО). Також використовується інша вторинна сировина, від дрібнодисперсного пилу до великих окремих одиниць. Вторинну сировину, що містить водорозчинні компоненти, такі як невелика кількість фторидів із перероблених продуктів, зберігають під навісом. Деякі вторинні матеріали повинні бути попередньо оброблені у середовищі та шляхом магнітного розділення для усунення забруднення залізом. Формуються паста Содерберга та попередньо обпалені аноди, останні обпалюються та готові до використання на відповідних підприємствах.

Основний процес виробництва зелених анодів показано на Рисунку 4.3.

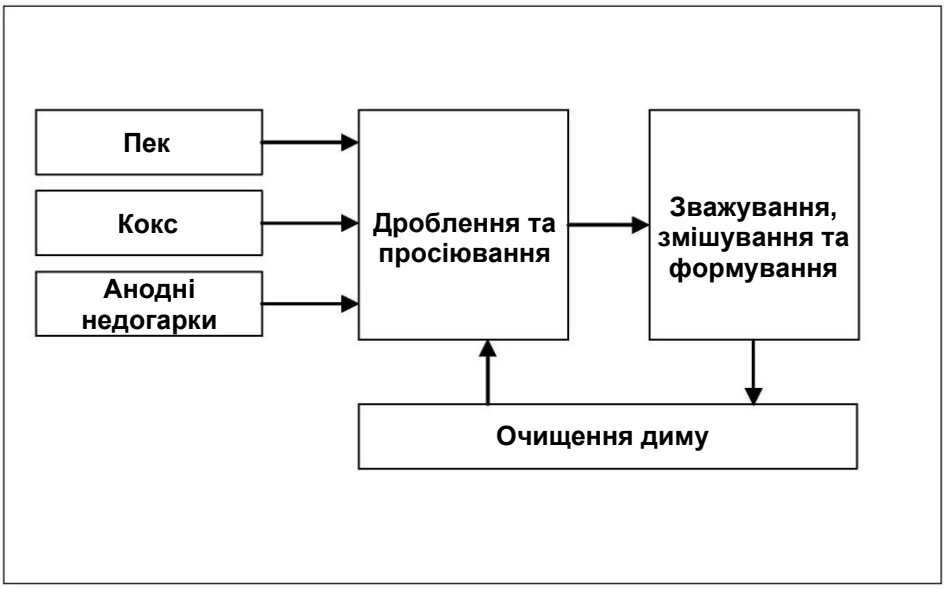


Рисунок 4.3: Виробництво зелених анодів

Виробництво зеленої пасти

Виробництво зеленої пасти є початковим етапом для виробництва всіх вугільних анодів. Всі зелені пасти виготовляються із суміші обпаленого нафтового коксу, очищених та перероблених анодних недогарків та кам'яновугільного пеку, що діє як в'яжуча речовина. Нафтові кокси є залишком дистилювання неочищеного мастила і тому можуть бути забруднені такими речовинами як метали (наприклад, нікель) і сполуками сірки.

Кокс і твердий пек зазвичай транспортуються герметичними конвеєрами або пневматичними системами транспортування у щільній фазі та зберігаються в силосах.

Рідкий пек транспортується в розплавленому стані та передається шляхом перекачування насосами, а зберігається в резервуарах, що обігріваються. Вентиляційні гази резервуарів містять пари вуглеводнів і зазвичай очищаються в системі обробки парів пеку у змішувально-пресовому відділенні (зазвичай це сухі коксові скрубери, КТО/РТО або комбінація цих систем). Використовуються конденсатори або масляні скрубери [75, Nordheim, E. 1998], а також деаерація газів резервуару. Нафтовий кокс та анодні недогарки подрібнюють, підігрівають, а потім змішують з пеком у змішувачах з обігрівом. Співвідношення коксу та пеку регулюється залежно від галузі застосування та для того, щоб можна було обробляти пасту та формувати блоки.

У випадку з пастою Содерберга суміш виготовляється для того, щоб її можна було додати в кожух анода. Перевага віддається сухій анодній пасті (з нижчим вмістом пеку) для мінімізації кількості вуглеводнів, що виділяються під час використання [6, McLellan and Partners Ltd 1993]. Зелені форми формуються шляхом пресування зеленої пасти у формах для створення «брикетів» та подаються у верхній частині анода, де металеві ніпелі використовуються для електричного з'єднання.

Попередньо обпалені аноди

Ці аноди виготовляються із суміші нафтового коксу та 13–18 % кам'яновугільного пеку та залишкового матеріалу анодних недогарків [75, Nordheim, E. 1998].

Виробництво анодів передбачає дроблення, подрібнення, підігрівання та змішування сировини. Потім змішані матеріали формуються в зелені аноди, зазвичай з використанням вібропресу. Потім зелені аноди обпалюють у кільцевих печах, що містять велику кількість колодязів, в яких знаходяться аноди. Стіни з вогнетривкої цегли відокремлюють колодязі. Димові гази передаються з колодязя до колодязя через вбудовані у вогнетривку цеглу газові канали. Зелені аноди укладаються в анодну піч рядами. Шари коксової засипки розділяють аноди та запобігають окисненню. Цей кокс частково витрачається в циклі нагрівання та охолодження з розрахунку 12–18 кг на тонну анода, а кокс, що залишився, використовується повторно. У будь-який момент колодязі в окремих секціях печі заповнюються, нагріваються, охолоджуються або спорожнюються [91, OSPARCOM 1992].

Гаряче повітря пропускається через повітроводи з допомогою рухомих пальників, що працюють на газі, а аноди обпалюються за 1100 °C за відсутності повітря. Повітроводи знаходяться під негативним тиском для утримування диму. У кінці циклу нагрівання повітропроводи підключаються до повітродувок для охолодження секції. Гаряче повітря, що виходить з секції печі, що охолоджується, потім рециркулює через пальники або інші секції печі для підігрівання цієї частини системи.

Схему печей для обпалювання показано на Рисунку 10.6.

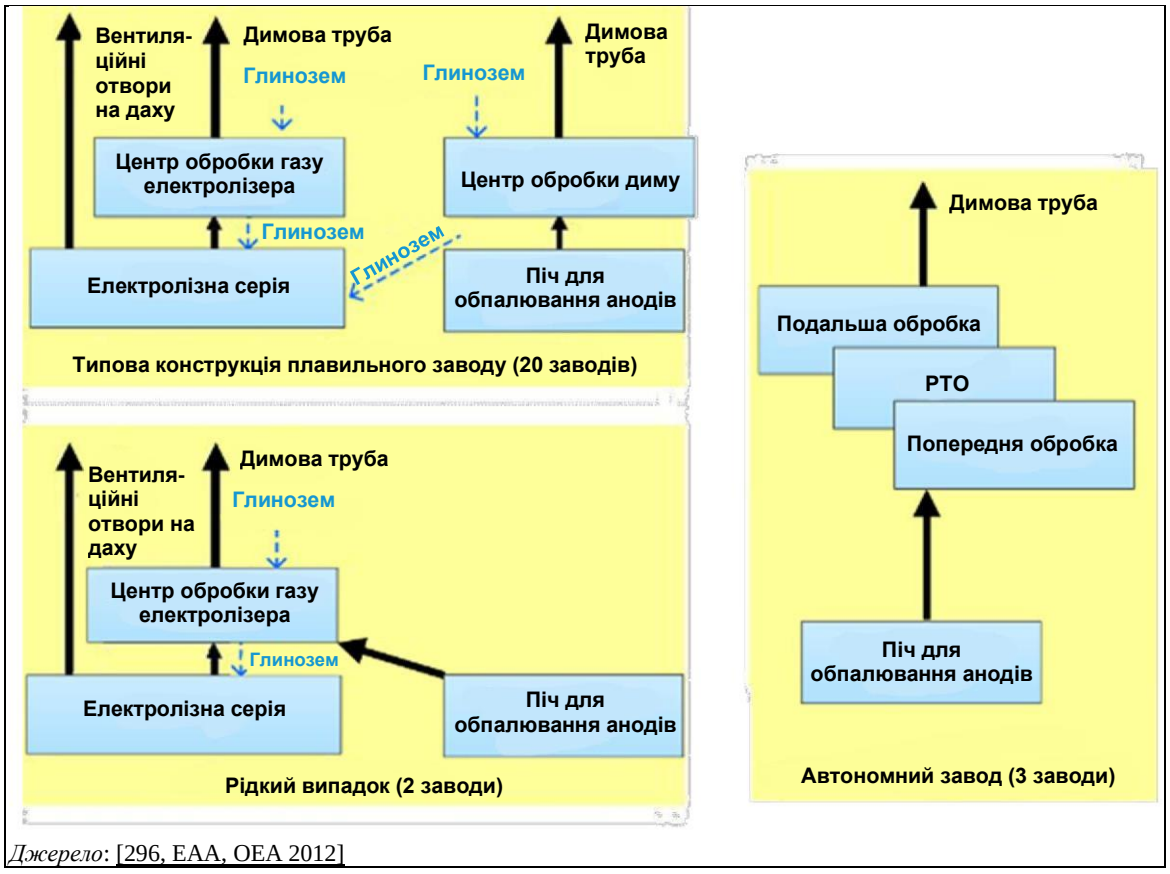
Для обпалювання анодів використовуються печі двох типів: відкриті та закриті кільцеві печі. У відкритих печах використовується горизонтальний повітровод, а у закритих — вертикальний. Відкриті печі становлять понад 60 % потужності та використовуються на нових заводах. Горизонтальні повітроводи відкритої печі є окремими та паралельними, що дозволяє оптимізувати цикл нагрівання для кожного повітроводу та, таким чином, знизити витрати палива [91, OSPARCOM 1992]. Використання декількох камер у печі дозволяє використовувати тепло однієї секції в інших секціях.

У процесі обпалювання кам'яновугільний пек перетворюється на кокс, що робить матеріал електропровідним. Під час обпалювання відбувається втрата маси приблизно на 5–10 % [75, Nordheim, E. 1998], а процес обпалювання займає приблизно від 14 до 21 дня.

У найбільш поширеному випадку, коли виробництво анодів відбувається на майданчику заводу з виплавки первинного металу, глинозем використовується у спеціальному центрі обробки диму для очищення димів шляхом адсорбції ПАВ, фторидів з анодних недогарків та деяких ЛОС. Ці технології описані в Розділі 4.3.2.3.

У деяких випадках дими печі поєднуються з газами з електролізної серії для очищення глиноземом у загальному центрі обробки газів і димів.

Регенеративні допалювачі (або регенеративні термічні окисники) є кращим варіантом для автономних установок з виробництва анодів для обробки газів з печей для обпалювання. Технології описані в Розділі 4.3.2.3.
Технологічну схему трьох можливих варіантів, описаних вище, показано Рисунку 4.4.



Джерело: [296, EAA, OEA 2012]

Рисунок 4.4: Конфігурації печей для обпалювання анодів та приблизна кількість заводів

Після охолодження аноди вивантажуються з печей та складуються. За необхідності їх доставляють на завод з прикріплення обпалених анодів до стрижнів, де вони поєднуються з алюмінієвими стрижнями за допомогою сталевих штирів. Цей процес дозволяє підвішувати змонтовані аноди (анодні збірки) до пристроїв для підвішування анодів електролітичних камер. Аноди витрачаються під час електролізу і повинні бути замінені після того, як витрачено близько 80 % анодів. Частина анодів, що залишилася, називається «анодним недогарком». [6, McLellan and Partners Ltd 1993], [28, OSPARCOM 1997]. Недогарки (20 % від вихідної маси анода) повторно використовуються для виробництва анодів після видалення залишкового електроліту. Стрижні відновлюються для подальшого використання, хоча невелика їх частина здається на брухт у разі корозії.

Залишковий електроліт після очищення недогарків охолоджується, потім подрібнюється у спеціальних системах обігу електроліту та, нарешті, рециркулюється в електролітичні камери.

4.1.3 Первинний алюміній

Первинний алюміній отримують з оксиду алюмінію (глинозему), [6, McLellan and Partners Ltd 1993], [97, Lijftogt, J.A. et al 1998], [312, VDI 2008] у двоетапному процесі, починаючи з бокситів.

- Перший етап: виробництво глинозему із бокситів.
- Другий етап: виробництво первинного алюмінію з глинозему, зазвичай на ділянці, яка відрізняється від ділянки, на якій здійснюється перший етап виробництва, в основному з логістичних причин та через наявність електроенергії.

Деякі глиноземи, відомі як спеціальні глиноземи, не проходять другий етап процесу, якщо вони здебільшого призначені для виробництва металів.

Алюміній отримують шляхом електролітичного відновлення оксиду алюмінію (глинозему), розчиненого у ванні розплавленого металу, що складається переважно з фториду натрію-алюмінію (кріоліту) за температури близько 960 °C. Кожна електролітична камера (також відома як «електролізер») містить вугільний катод, ізольований вогнетривкою цеглою всередині прямокутної сталевої оболонки, та вугільні аноди, підвішені до пристрою для підвішування анодів [312, VDI 2008]. У електролізному корпусі камери з'єднані послідовно, утворюючи серію електричного відновлення (серію камер або електролізерну серію). Постійний струм проходить від вугільних анодів через ванну і шар металу до катода, а потім через комплект провідників електроенергії, відомих як «струмопровідні шини», до наступної камери [6, McLellan and Partners Ltd 1993], [97, Lijftogt, J.A. et al 1998].

Глинозем додають у камери для підтримки вмісту глинозему на рівні 2–6 % у ванні розплавленого металу. На сучасних заводах додавання добавок управляється комп'ютером. Сполуки фтору додаються для зниження температури плавлення у ванні, що дозволяє камерам працювати за нижчої температури. Фторид алюмінію (AlF_3), найбільш поширена добавка, також нейтралізує оксид натрію, присутній як домішка у вихідному глиноземі. Фторид алюмінію можна додавати окремо від глинозему, а добавки можна контролювати на основі алгоритму характеру потоку камери [233, COM 2008]. Більшість камер в зараз експлуатуються з вмістом AlF_3 у ванні, що значно перевищує стехіометричний склад кріоліту. Проте, викиди фторидів збільшуються в міру збільшення надлишку AlF_3 у ванні [6, McLellan and Partners Ltd 1993], [97, Lijftogt, J.A. et al 1998]. У разі зменшення вмісту глинозему в електроліті нижче 1–2 % виникає так званий анодний ефект. Під час анодного ефекту замість розкладання глинозему кріолітна ванна розкладається на іони металу та фториду, які вступають в реакцію з анодним масивом та утворюють газоподібні викиди ПФО.

Рідкий алюміній осідає на катоді в нижній частині камери. Розплавлений алюміній періодично відводиться із камер за допомогою вакуумних сифонів у тиглі. Під час електролізу кисень з глинозему з'єднується з вугільним анодом з утворенням вуглекислого газу та чадного газу. Таким чином, вугільні аноди постійно витрачаються у процесі.

Системи камер різняться залежно від типу анода та способу подання глинозему, як показано на Рисунку 4.5 [6, McLellan and Partners Ltd 1993], [16, HMIP (UK) 1994] [97, Lijftogt, J.A. et al 1998]. Існує два основних типи електролітичних камер: камера Сьодерберга та камера попередньо обпалених анодів. У камері Сьодерберга є лише один безперервний анод, що регенерується шляхом додавання вуглецевих матеріалів у верхній частині, тоді як він витрачається у нижній частині; у камері попередньо обпалених анодів необхідно замінити кілька анодів, коли вони витрачені приблизно на 80 %.

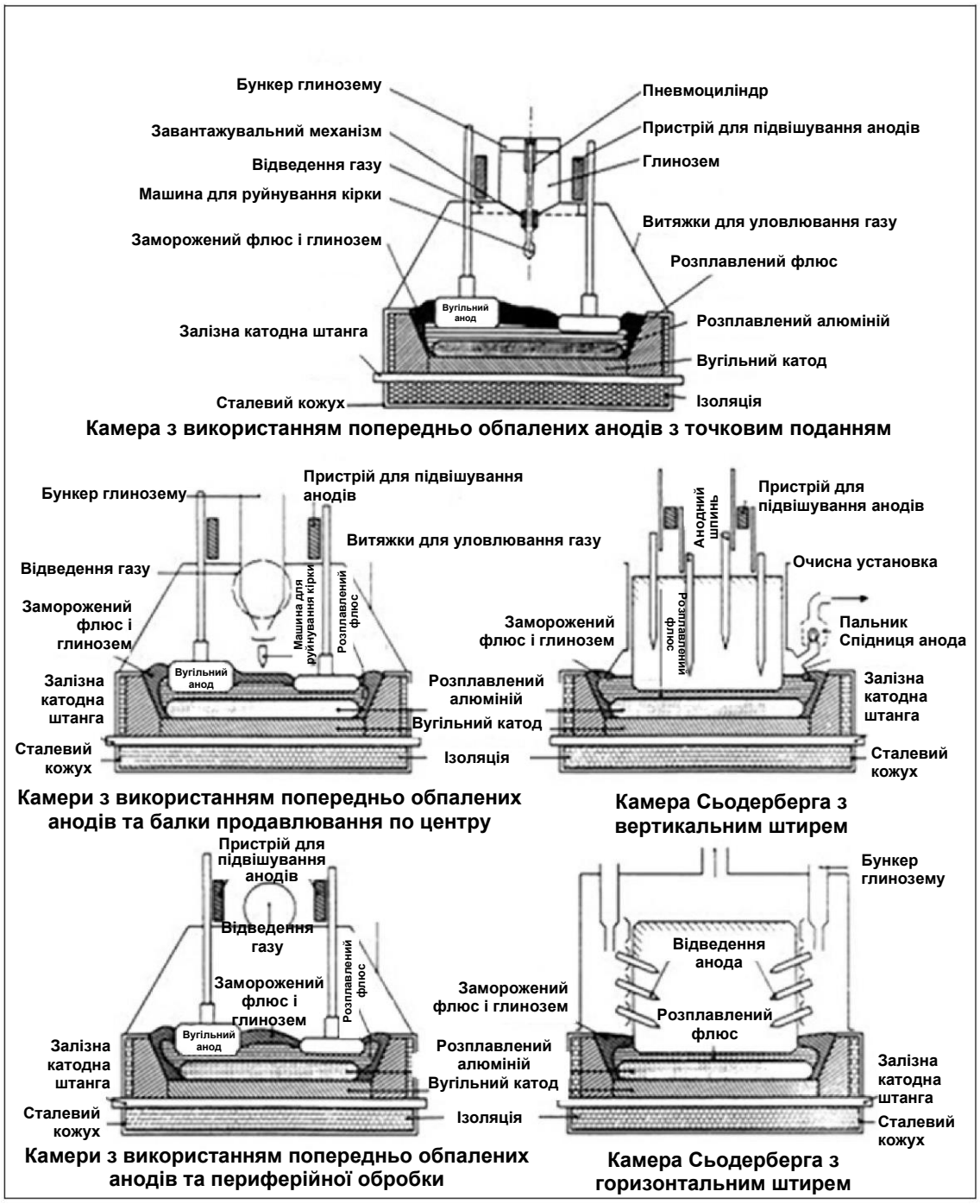


Рисунок 4.5: Електролітичні камери для первинного алюмінію

а) камери Сьодерберга

У технології Сьодерберга використовується безперервний анод, який виготовляється *на місці* з пасти обпаленого нафтового коксу та кам'яновугільного пеку та обпалюється через тепло, що виділяється ванною розплавленого металу, та електричного струму, що проходить через анод. Струм подається до анода Сьодерберга через шпильки, які необхідно виймати та переміщати вище в аноді у міру того, як анод витрачається. Коли це відбувається, більша кількість пасти проходить через кожух анода, що забезпечує процес, який не вимагає заміни анодів. Глинозем періодично додають у камери Сьодерберга через отвори, зроблені шляхом руйнування кірки глинозему і замороженого електроліту, що покриває ванну розплавленого металу. На модернізованих заводах використовуються автоматичні системи точкового подання, що усуває необхідність регулярного руйнування кірки. До нижньої частини кожуху анода прикріплено газову спідницю для уловлювання газів. Дими уловлюються та спалюються у пальниках для зменшення викидів смол та ПАВ.

Також можна уловлювати та очищати вентиляційні гази електролізного корпусу.
Модернізована технологія Сьодерберга полягає в оснащенні камер механізмами точкового подання, вдосконаленими пальниками та сухою пастою. Точкове подання глинозему усуває необхідність регулярного руйнування кірки, яке було необхідно в попередній технології, і згодом знижує викиди фторидів і пилу, пов'язані з цими операціями. Використання сухої пасти з нижчим вмістом пеку у поєднанні зі зниженням температури у верхній частині анода, що досягається шляхом збільшення висоти анода, знижує викиди ПАВ у верхній частині анода. Викиди ПАВ можуть поглинатися сухою пастою в вищій частині кожуху анода або, за необхідності (тобто за високої густини струму та високої температури анода), уловлюватися покриттям анода [365, Karuppannan et al. 2002].

b) Камери з використанням попередньо обпалених анодів
Технологія попереднього обпалювання використовує кілька анодів, які виготовляються із суміші обпаленого нафтового коксу, чистих та перероблених анодних недогарків та кам'яновугільного пеку. Аноди формуються в блоки та обпалюються на окремому анодному заводі. Завод з виробництва анодів часто інтегрований у завод з виробництва первинного алюмінію.

Аноди підвішені в камерах за допомогою підвісок, прикріплених до пристроїв для підвішування анодів, які також служать електричним провідником. Аноди поступово опускаються в міру їхньої витрати та замінюються до того, як стрижні будуть знищені ванною розплавленого металу. Залишки анодів, відомі як анодні недогарки, очищаються від матеріалу ванни та переробляються на анодному заводі.

Камери попередньо обпалених анодів зазвичай мають від 12 до 40 окремих анодів, які замінюються через рівні проміжки часу. У великому електролізному корпусі заміна анода є частим явищем і передбачає зняття екранів кришки камери, відомих як «ковпаки». Це може призвести до збільшення дифузних викидів, якщо одночасно зняти кілька ковпаків. Проте, витік з обслуговуваної камери зазвичай незначний (залежно від рейтингу витяжної системи), а загальна швидкість видалення з інших камер не знижується. На деяких заводах використовується автоматична система для збільшення швидкості видалення повітря в періоди, коли ковпаки відкриті.

Камери попередньо обпалених анодів можуть бути одного з трьох типів, залежно від того, як додається глинозем.
- **Камери з використанням попередньо обпалених анодів та периферійної обробки (SWPB — Side-worked prebaked anode cells)**, де глинозем подається до камер після руйнування кірки по колу між корпусом електролізера та анодним обладнанням. Під час цієї операції слід відкрити ковпаки для уловлювання газу, що охоплюють всю довжину камер. У деяких випадках замість них використовуються воронки для уловлювання газу в центральному каналі або між анодами, відомі як «міні-ковпаки».
- **Камери з використанням попередньо обпалених анодів та балки продавлювання по центру (CWPB — Centre-worked prebaked anode cells)**, де глинозем подається після руйнування кірки вздовж центральної лінії.
- **Камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням (PFPB — Point feed prebaked anode cells)**, де глинозем подається після руйнування кірки у вибраних точках на центральній лінії камери.

Як камери з використанням попередньо обпалених анодів та балки продавлювання по центру, так і камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням можна використовувати без відкриття ковпаків для уловлювання газу. Камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням найчастіше використовуються і дозволяють краще контролювати процес. Справді, у Європі більше немає заводів з камерами з використанням попередньо обпалених анодів та балки продавлювання по центру або з камерами з використанням попередньо обпалених анодів та периферійної обробки (2013 р.).

Огляд технологій виплавки алюмінію наведено у Таблиці 4.2.

Таблиця 4.2: Категорії виплавки алюмінію

Технологія камери	Тип камери	Конфігурація анода	Конфігурація подання глинозему	Акронім	Розбивка у Європі
Камера з використанням попередньо обпалених анодів	З балкою продавлювання по центру	Вертикальна	Центральне подання і пробійник блокового типу	CWPB (*)	Немає
		Вертикальна	Точкове центральне подання	PFPB	90 %
	З периферійною обробкою	Вертикальна	Ручне бічне подання	SWPB (*)	Немає
Камера Сьодерберга	Вертикальний штир	Вертикальна	Ручне бічне подання	SWVSS (*)	Немає
			Точкове подання	PFVSS	10 %
	Горизонтальний штир	Горизонтальна	Ручне бічне подання	HSS (*)	Немає
			Подання з пробійником блокового типу		
			Точкове подання		
(*) Більше не експлуатується в Європі. *Джерело:* [366, International Aluminium Institute 2013]					

Система уловлювання газів відводить технологічні гази в систему боротьби з викидами, в якій використовуються сухі глиноземні скрубери для видалення та регенерації HF та фторидів. Скрубер також видаляє залишкові смоли у разі використання установки Сьодерберга, але не видаляє діоксид сірки. Фторований глинозем, що виходить зі скруберів, відокремлюється від газового потоку за допомогою фільтрів і зазвичай повертається безпосередньо в камери. Оскільки ефективність витяжних ковпаків та очищення газу на сучасних заводах висока, вентиляційні гази електролізного корпусу найчастіше викидаються через вентиляційні отвори на даху. Уловлювання та очищення у мокрому скрубері вентиляційних газів електролізного корпусу може здійснюватися, якщо концентрація забруднювальних речовин в електролізному корпусі висока [312, VDI 2008].

Катод при цьому не витрачається, але з часом зношується. Вуглецеві блоки абсорбують електроліт і через чотири-вісім років повинні бути замінені через ерозію, набухання й утворення тріщин, що може призвести до проникнення розплавленого електроліту й алюмінію у катодну провідну штангу і сталеву оболонку. Невеликі кількості ціанідів утворюються в результаті реакції між азотом та вуглецем. Залишок катода відомий як відпрацьоване футерування електролізера, і для цього матеріалу використовується кілька способів утилізації та перероблення [41, Ausmelt Ltd. 1996], [97, Lijftogt, J.A. et al 1998] і вони описані у Розділі 4.2.3.4.

Розплавлений алюміній періодично відводиться із камер за допомогою вакуумного сифона в тиглі. Тиглі з сифонованим алюмінієм з камер відновлення передаються на ливарний завод, а алюміній зливають у нагріті печі витримки.

4.1.3.1 Плавлення та обробка розплавленого металу

Рідкий метал від електролізу витримують в індукційних або відбивних печах витримки. Відбивні печі витримки можуть бути оснащені регенеративними пальниками для підігрівання повітря для згорання і, таким чином, економії енергії. Легування здійснюється в цих печах шляхом додавання необхідного металу (Si, Mg, Pb, Sn, Zn, Cu, Zr, Sr) або лігатури металу з алюмінієм (Ti, Cr, Fe, Mn, Ni). Також вводяться інші добавки для вдосконалення зернистості металу; титан або борид титану є найпоширенішими. Гомогенізація може бути досягнута шляхом переміщення розплаву за допомогою мішалок або перемішувальних машин. Електромагнітні або механічні насоси для рідкого металу також можуть використовуватися для досягнення циркуляції розплаву та покращення гомогенізації легованого металу у відбивних печах.

Температура лиття контролюється у печах витримки.

Метал обробляється для видалення металевих домішок, таких як натрій, магній та кальцій, а також неметалевих часток та водню. Ця обробка виконується у два етапи: на першому

етапі в піч додають флюсові солі, що складаються з фториду алюмінію, хлориду магнію або хлориду калію, для видалення металевих домішок, а на другому етапі у розплавлений метал впорскують газ, зазвичай у вбудованому реакторі. Газ для обробки, що використовується, варіюється в залежності від домішок; аргон або азот використовуються для видалення водню, а суміші хлору та аргону або азоту використовуються для видалення металевих домішок групи лужних та лужноземельних металів. Потім метал фільтрується перед литтям.

Об'єкти з виробництва первинного алюмінію плавлять промисловий метал та брухт. До брухту, що плавиться на цих об'єктах, відноситься внутрішній брухт компанії від екструзії та прокатки без таких речовин, як фарба або пластмаса (в тому числі повернені клієнтами продукти без фарби або пластмаси та брухт з об'єктів, що належать тій самій компанії), і брухт, куплений на ринку, який не містить речовин, таких як фарба, пластмаса або мастило. Цей брухт можна плавити двома способами: або в печі перед додаванням рідкого металу від електролізу, або шляхом додавання його в піч, яка вже містить рідкий метал.

Знімання/дрос утворюються в результаті реакції продуктів продування та окиснення розплавленого алюмінію на поверхні розплаву. Цей дрос знімається. Герметизовані контейнери або дросові преси, азотна або аргонова подушка або ущільнення можуть використовуватися для мінімізації подальшого окиснення знімання/дросу [103, COM 1998]. У цій главі терміни «знімання» та «дрос» є взаємозамінними. Обидва або переробляються на місці для відновлення алюмінію, або переробляються вторинною алюмінієвою промисловістю. Залишок, що залишається після вилучення алюмінію з дросу або знімання з ливарних цехів для первинного алюмінію, зазвичай піддається захороненню.

4.1.3.2 Лиття

Сляби, т-подібні виливки або бруски відливають у вертикальних ливарних машинах з прямим охолодженням, у яких використовуються металеві форми з водяним охолодженням та охолоджувальним рольгангом у нижній частині форм. Рольганг опускається у міру формування виливка. Бруски та сляби з меншим поперечним перерізом також можуть бути отримані шляхом горизонтального лиття з прямим охолодженням. Інші методи лиття передбачають використання металевих форм (статичних або рухомих) і безперервне лиття тонких листів, а також катанки, [6, McLellan and Partners Ltd 1993]. На цьому етапі також утворюються невеликі додаткові кількості знімання/дросу, які видаляються з поверхні розплавленого металу.

4.1.4 Вторинний алюміній

Вторинний алюміній отримують шляхом плавлення брухту. Двома основними особливостями виробництва вторинного алюмінію є різноманітність використовуваної сировини та, відповідно, різноманітність печей, що використовуються [113, ALFED 1998]. Брухт класифікується за рядом критеріїв, таких як джерело, домішки та вихід металу, відповідно до стандарту ЄС EN 13920. Існують інші категоризації, такі як Регламент Ради (ЄС) № 333/2011, а також національні або галузеві специфікації, які мають свої власні критерії класифікації. Тип сировини та її попередня обробка використовуються для визначення найбільш відповідного типу печі, флюсу та систем боротьби з викидами, які будуть використовуватися для певного типу брухту, виходячи з його розміру, вмісту оксидів та ступеня забруднення, а також інших факторів [142, Boin, U. et al. 1998], [312, VDI 2008].

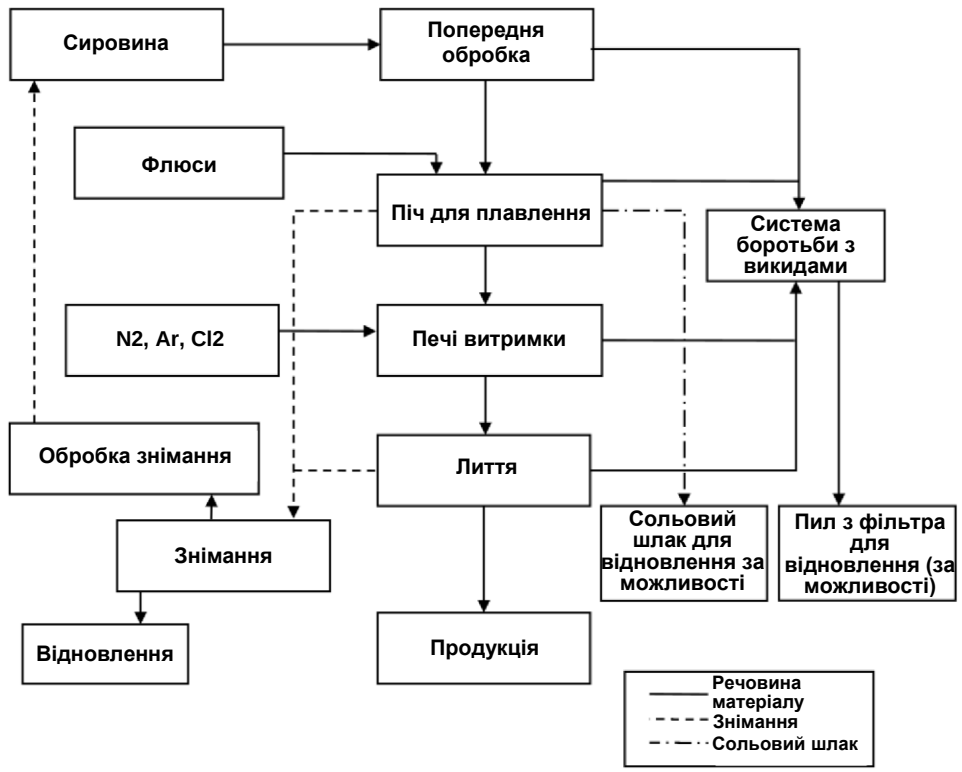
4.1.4.1 Виробничі процеси

Метали спочатку сортуються на ливарні сплави та деформовні сплави. Більша частина брухту деформовних сплавів переплавляється в камерних або подових печах. Ливарні сплави переважно переплавляються в (іноді нахильних) обертових барабанних печах. Вибір відповідних процесів обробки, типу печі та інших необхідних технологічних етапів (витримки, легування, обробки розплаву) залежить насамперед від типу та складу використовуваної сировини, а також від необхідної якості продукту. Прямі порівняння потужності, наприклад, різних плавильних заводів марні, оскільки процеси оптимізовані

для їх конкретного застосування. Проте, промисловий досвід виявив типові галузі застосування, які дозволяють практично вибрати плавильні заводи для конкретного застосування. Типові етапи процесу передбачають попередню обробку, завантаження, плавлення, знімання шлаку, витримку, обробку розплавленого металу та лиття. В результаті параметри процесу, що стосуються викидів заводу (наприклад, температура газів, забруднення неочищеного газу), схильні до сильних коливань. Зіставлення даних також ускладнюється тим, що вимірювання здійснюються у різних місцях.

Сольові шлаки виникають, коли сольові суміші використовуються для покриття розплавленого металу для запобігання окисненню, збільшення виходу та збільшення термічної ефективності. Ці шлаки зазвичай утворюються в обертових печах і мають несприятливий вплив на довкілля, якщо вони відкладаються на землі. Кількість сольового шлаку, що утворюється, значно варіюється і залежить від типу матеріалу, печі, ступеня забруднення алюмінію тощо. Існують варіанти безсольового плавлення в деяких печах з використанням різних типів вихідних матеріалів, а також є варіанти перероблення всіх компонентів сольового шлаку] [312, VDI 2008].

Вибір використовуваної технології процесу варіюватиметься від заводу до заводу. Кількість факторів, що впливають на вибір процесу, означає, що існує потенціал для багатьох життєздатних стратегій, які можуть застосовуватись за аналогічних обставин. Типовий процес виробництва вторинного алюмінію показано на Рисунку 4.6.



Джерело: [272, Al input 2008]

Рисунок 4.6: Типовий процес виробництва вторинного алюмінію

4.1.4.1.1 Попередня обробка

Типовими джерелами алюмінієвого брухту є виробничий брухт, використані банки від напоїв, фольга, вироби, отримані шляхом вдавлювання, комерційний брухт, стружка та старий прокатаний або литий метал. Крім того, алюміній також вилучають зі

знімання/дросу та сольових шлаків. Можуть бути присутні різні забруднення, і це враховується під час вибору типу попередньої обробки або конструкції печі [75, Nordheim, E. 1998]. Брухт зазвичай спочатку сортують за типами сплавів для отримання бажаного сплаву з мінімальним рівнем повторної обробки [113, ALFED 1998] [118, Laheye, R. et al. 1998].

Брухт, такий як використані банки від напоїв і стружка є основними джерелами сировини, але вони можуть бути забрудненими. Як наслідок, з них іноді необхідно зняти покриття або знемаслити їх перед плавленням, щоб покращити швидкість їх плавлення (і термічну ефективність) та знизити ймовірність викидів [118, Laheye, R. et al. 1998], [119, McLellan 1998]. Плавлення очищеного матеріалу може зекономити енергію та зменшити утворення знімання/дросу.

4.1.4.1.2 Процес плавлення

Діапазони типових параметрів печі, процесу та викидів (неочищений газ) різних заводів з плавлення алюмінію показані в Таблиці 4.28 [312, VDI 2008].

Обертові або відбивні печі (також відомі як печі із закритим колодязем, камерні або подові печі) використовуються для плавлення широкого спектра вторинної сировини. Обертові печі можуть мати механізм нахилу. Механізм нахилу в деяких випадках дозволяє підвищити ефективність плавлення сировини, що містить невелику кількість алюмінію, в тому числі знімання/дрос, а кількість флюсу, необхідного для цих матеріалів, також може бути зменшено, [142, Boin, U. et al. 1998], [256, Winter 2007]. Індукційні печі та шахтні печі (Meltower) використовуються для плавлення чистіших сортів алюмінію. Відбивні печі часто мають бічний колодязь. Насосна система (механічна або електромагнітна) іноді використовується для подання розплавленого металу через бічний колодязь та завантажувальний колодязь для полегшення плавлення дрібних часток.

Електромагнітні насоси не мають частин, що рухаються, і покладаються на зовнішню котушку для створення електромагнітної сили; перемішування здійснюється у завантажувальному колодязі та печі. Використовуються інші насоси, що мають термостійкі внутрішні деталі та металеві «спінери» [142, Boin, U. et al. 1998].

Використання відбивної печі з боковим колодязем або камерної печі із завантажувальним колодязем та насосною системою дозволяє збільшити кількість сортів брухту, включно з фольгою та дрібною стружкою, які можна переплавляти у цих печах. Це також може зменшити втрату металу під час окиснення без використання великої кількості солі або іншого покриття [118, Laheye, R. et al. 1998] [119, McLellan 1998], [120, McLellan 1998].

У відбивних печах (печах із закритим колодязем, камерних або подових печах) також може використовуватися похилий під у зоні подання металу, куди можна поміщати одиниці, що містять великі шматки заліза. Алюміній виплавляється із залізного субстрату, який залишається у поді. Таким чином, забруднення розплаву залізом мінімізується [75, Nordheim, E. 1998], [113, ALFED 1998].

Низка різних флюсів, які зазвичай є сумішшю солей, використовується у вторинній алюмінієвій промисловості для полегшення обробки металу різними способами. Прикладом може бути використання сольового розплаву (суміш хлоридів натрію і калію та деяких фторидів) для зменшення окиснення, поглинання домішок і підвищення термічної ефективності. Гази печі містять хлориди та хлороводень, отримані із солі. Застосовуються також вогнетривкі флюси та фторовані флюси. Сольовий шлак випускається окремо від металу. Кількість використовуваного покриття з соляного флюсу може змінюватись в залежності від використовуваної печі та вмісту оксидів у сировині. Попередня обробка вихідного матеріалу може знизити використання солі. Також повідомлялося, що до 1,1 кг солі на кг неметалічних компонентів використовується для стаціонарної обертової печі, і <0,5 кг на кг для нахильної обертової печі [142, Boin, U. et al. 1998], [312, VDI 2008].

4.1.4.1.3 Обробка розплавленого металу та процес лиття

Метал може випускатися з плавильної печі, де легувальні добавки вводяться безпосередньо в систему лиття, або через систему передачі в піч витримки (де можуть бути введені інші легувальні добавки). Потім метал очищають або в печі витримки, або у вбудованому реакторі для видалення газів та інших металів. Магній та інші домішки можуть бути присутніми у вторинному алюмінії, і їх кількість також може знадобитися зменшити. Для видалення магнію розплавлений алюміній обробляють сумішами газоподібного хлору; також використовуються фторид натрію-алюмінію та фторид калію-алюмінію [113, ALFED 1998]. Останній матеріал є побічним продуктом виробництва деяких лігатур.

Алюміній легко окиснюється, і це є важливим фактором у виробничих процесах. Під час плавлення алюмінію утворюється оксидний шар відомий як знімання/дрос. Його знімають із поверхні металу перед литтям.

Великі виливки, бруски та сляби відливають так само як описано для лиття первинного алюмінію в Розділі 4.1.3.2. Форми використовуються для лиття різних виливків меншого розміру (наприклад, для постачання ливарній промисловості), які можуть бути виготовлені з великої кількості різних сплавів в залежності від кінцевого застосування. Ливарні сплави можна розливати в попередньо нагріті тиглі та використовувати для перевезення розплавленого алюмінію автомобільним транспортом у спеціальних теплоізольованих контейнерах до кінцевих споживачів.

4.1.5 Сольовий шлак

У виробництві вторинного алюмінію обертові печі або нахильні обертові печі [256, Winter 2007] використовуються для плавлення різних сортів брухту, а також знімання/дросу. Для полегшення цього процесу зазвичай використовується сольовий флюс, оскільки він зменшує окиснення та сприяє видаленню деяких домішок (наприклад, Mg, Ca, Li). Використаний сольовий флюс, що випускається з печі, називається сольовим шлаком. На момент написання (2014 р.) в країнах ЄС-28 щорічно виробляється та обробляється один мільйон тонн сольового шлаку.

Запатентований сольовий флюс є сумішшю NaCl, KCl і невеликої кількості фториду кальцію (CaF_2). Також можуть бути додані деякі інші фториди до 5 %. Сольовий шлак містить велику кількість оксидів алюмінію та різних домішок, які флюс відокремив від розплавленого металу. Усього 4–10 % загальної маси сольового шлаку становить металевий алюміній (див. Таблицю 4.3).

Таблиця 4.3: Типовий склад сольового шлаку

Зміст	Стандартне значення (%)	Діапазон (%)
Al, металевий	6	4–10
Водорозчинні солі	37	20–55
Оксиди металів, невідновлені метали та нерозчинні солі	55	35–75

Існує кілька установок, в яких сольовий шлак може бути вилучений за допомогою процесу промивання та кристалізації, який поділяє компоненти сольового шлаку на основі їх власних різних фізичних характеристик. Є достатні потужності для відновлення сольового шлаку з виробництва вторинного алюмінію, що працюють у країнах ЄС-28. У процесі утворюються перероблені алюмінієві гранули та сіль. Фракція оксидів металів (в основному оксиди алюмінію, кальцію та магнію) може бути додатково оброблена та промита для отримання дрібнодисперсного оксиду алюмінію, який може бути проданий цементній промисловості [359, Tsakiridis 2012].

4.1.5.1 Відновлення сольового шлаку

Сольовий шлак може бути повністю відновлений для виробництва товарної продукції без утворення будь-яких залишків, за винятком деякої кількості активованого вугілля (якщо воно взагалі використовується). Існує два типи процесів відновлення: процес повної перероблення та процес часткової перероблення. У процесі повного перероблення всі компоненти сольового шлаку повністю відновлюються, і стічні води не утворюються. Діють три процеси часткового перероблення.

- Один є частиною заводу з виробництва добрива, що відновлює тільки KCl і гранули алюмінію, тоді як інші компоненти (хлорид натрію й оксиди) використовуються для рекультивації відвалів поташевих хвостів. У цьому процесі в основному використовуються ті самі основні етапи, що і в процесі повного перероблення (механічна попередня обробка, вилуговування з очищенням відпрацьованих газів, поділ твердої та рідкої фаз і кристалізація). У цьому випадку лише вміст KCl (10–20 % у типовому сольовому шлаку) переробляється як сольовий продукт. Після подальшої обробки на етапі внутрішнього рафінування солі на заводі з виробництва поташу він продається підприємствам з виробництва добрив. Вміст водорозчинного NaCl (20–40 % у типовому сольовому шлаку) залишається під час вилуговування [360, Germany 2013]. Стічні води можуть утворюватися під час очищення газів.
- В іншому процесі часткового перероблення, крім відновлення солі, всі етапи процесу аналогічні до процесу повної перероблення [233, COM 2008]. Технологічна вода та стічні води з фільтра газоочищення прямують у стару шахтну систему, що закінчується виходом у море. У цій шахтній системі частки, що залишилися, осідають на землю. Розрахунковий термін утримання технічної води, що надходить у шахту, до виходу у море становить два роки.
- У третьому випадку алюміній та інші металеві продукти відновлюються за допомогою електромагнітної та механічної обробки, а залишки утилізуються [361, Spain 2013].

Процес повного перероблення є комбінацією різних фізико-хімічних етапів відновлення алюмінієвого сольового шлаку. На кожному етапі процесу для поділу фракцій матеріалу використовуються три основні компоненти сольового шлаку:

- металевий алюміній (4–10 % у типовому сольовому шлаку), нерозчинний у воді; під час дроблення пластична природа алюмінію означає, що дрібні частки пресуються в пластівці з більшою площею поверхні, які можна видалити шляхом просіювання;
- оксидні компоненти (35–75 % сухих твердих речовин у типових сольових шлаках), нерозчинні у воді та крихкі; дроблення має тенденцію розбивати їх на більш дрібні частки;
- лужні хлориди (20–55 % у типовому сольовому шлаку), добре розчинні у воді та також крихкі.

Також технічно можливо відновити пил, що утворюється в процесі попередньої обробки алюмінієвих шлаків і брухту, а також пил від фільтрації печей, і це вже здійснюється на деяких заводах. Це показує, що всі тверді відходи, що утворюються під час виробництва вторинного алюмінію, можуть бути перероблені. Промивна вода зазвичай повертається в апарати для розчинення, щоб компенсувати воду, що випарувалася в процесі. Типовий вміст нерозчинної, неметалічної частини сольового шлаку показано у Таблиці 4.4.

Таблиця 4.4: Типовий вміст нерозчинної неметалічної частини сольового шлаку

Компонент	% мас. (1)	Компонент	% мас. (1)
Al_2O_3	60–75	TiO_2	0,5–1,5
MgO	3–14	MnO	< 0,3
SiO_2	3–12	Na_2O	< 1,0
CaO	1,5–5	K_2O	< 1,2
Fe_2O_3	1,5–3,0	Cl^-	< 0,8
Пов'язана вода	7–16		
(1) Стосується сухих речовин. *Джерело:* [272, Al input 2008]			

4.2 Поточні рівні викидів та споживання

4.2.1 Глинозем

Матеріальні та енергетичні витрати на процес є значними. Для виробництва однієї тонни глинозему потрібно приблизно дві тонни бокситів, що, своєю чергою, дає близько 0,53 тонни алюмінію. Вугільні аноди витрачаються, і на тонну виробленого алюмінію використовується приблизно 0,4–0,45 тонни вуглецю. Енерговитрати також є високими та можуть становити приблизно 30 % виробничих витрат. Діапазони витрат для виробництва глинозему показані у Таблиці 4.5.

Таблиця 4.5: Діапазони витрат для виробництва глинозему

Параметр	Стандартний діапазон (кг/т глинозему)
Боксит	2065–2275
NaOH (50 %)	30–70
CaO	30–80
Вода	1000–5000
Енергія (ГДж/т)	7,6–11,7
Джерело: [272, Al input 2008]	

Виробництво глинозему потребує енергії для вилуговування та кальцинації. На енергію, що використовується, в основному впливають походження і хімічний склад бокситів, тип використовуваних вилужників і тип використовуваних кальцинаторів. Використовувані кількості NaOH та CaO також пов'язані зі складом бокситу.

Зниження потреби в енергії в основному пов'язане з використанням трубчастих вилужників, які можуть працювати за вищих температур з використанням теплообмінного середовища сольового розплаву та які дозволяють заводам працювати зі споживанням енергії менше ніж 10 ГДж на тонну. Проте, використання трубчастих вилужників на практиці неможливе для наявних заводів як з міркувань вартості, так і з міркувань простору.

4.2.1.1 Викиди у повітря від виробництва глинозему

Під час обпалювання бокситів відбуваються викиди пилу, SO_2, CO_2 та NO_X. Методом усунення забруднення довкілля, що застосовується, є рукавний фільтр або електростатичний фільтр.

4.2.1.2 Червоний шлам

Одним з основних результатів процесу Байєра є «червоний шлам», який є твердим матеріалом, що залишається після вилучення бокситу і не розчиняється в розчині. Конкретна кількість та склад червоного шламу сильно залежать від якості бокситів. Вироблена кількість варіюється від 600 кг на тонну Al_2O_3 до 1500 кг на тонну Al_2O_3, і, отже, це є основною вимогою щодо утилізації. Поточна практика полягає у розміщенні червоного шламу на об'єкті або поруч із ним у спеціально спроєктованих закритих ставках. Зайва вода зі ставків зазвичай повертається у процес.

Деякі рафінувальні заводи використовують фільтрування під високим тиском як останній етап обробки червоного шламу. Виходом цієї операції є твердий бокситовий залишок, який можна легко і безпечно транспортувати на великі відстані і який можна використовувати в різних сферах застосування, наприклад, цементній промисловості для виробництва клінкеру, в керамічній промисловості як альтернативна сировина або у будівництві доріг [247, France 2008]. Виробництво товарної продукції від цього процесу описано в Розділі 4.4.

На одному об'єкті червоний шлам ресуспендується до 20–25 % твердих речовин за допомогою прісної морської води та вільної води з хвостосховища, а потім перекачується до хвостосховища. Нейтралізація шламу здійснюється шляхом десульфуризації димових газів у процесі мокрого очищення, а також завдяки вмісту магнію хлориду в прісній морській воді, що додається в систему [295, Gaver C. Jr 2013]

Попри багаторазові промивання, розчин, залучений до червоного шламу, все ще містить невелику кількість каустичної соди (гідроксиду натрію), що викликає підвищений рівень pH і глинозему. Більша частина каустичної соди перетворюється на карбонат натрію і бікарбонат натрію на хвостосховищі.

4.2.1.3 Викиди у воду

Виробництво глинозему з бокситів здійснюється у закритій системі для виключення викидів у воду. Вода, що міститься в червоному шламі або використовується для транспортування червоного шламу до місця утилізації, є сильно лужною і перекачується назад на завод і використовується повторно. [75, Nordheim, E. 1998].

4.2.2 Аноди для виробництва алюмінію

Виробництво вугільних анодів для виробництва алюмінію в першу чергу є джерелом утворення пилу та викидів у повітря. Коли для зменшення викидів застосовуються методи усунення забруднення довкілля, може бути вплив на різні компоненти довкілля. У Розділах з 4.2.2.2 до 4.2.2.4 нижче описані найбільш актуальні екологічні проблеми, пов'язані з виробництвом вугільних анодів для виробництва первинного алюмінію.

4.2.2.1 Огляд масового потоку та дані про вхідний/вихідний потік

Енергія, що використовується у виробництві анодів, становить 2000–2400 МДж на тонну анода, що припадає на паливо, яке використовується. Коксова засипка витрачається із розрахунку ~ 12–18 кг на тонну анода. [116, VDI 1998]

4.2.2.2 Викиди у повітря під час виробництва анодів

Можливі викиди в повітря вуглеводнів та ПАВ, діоксиду сірки, пилу та фторидів (тільки у разі використання анодних недогарків у виробництві анодів). На утворення SO_2 впливає паливо та сировина, тоді як утворення NO_X визначається температурою горіння.

Викиди можуть виходити з процесу або у вигляді викидів з димових труб, або у вигляді дифузних викидів, залежно від віку заводу та використовуваної технології. Викиди з димових труб зазвичай контролюються безперервно або періодично, а працівники на об'єкті або консультанти за межами об'єкта повідомляють про них компетентні органи. Передбачено обхід установок очищення диму у разі виходу з ладу скрубера або під час періодів технічного обслуговування.

Коли новий завод з виробництва анодів пов'язаний із заводом з виплавки первинного алюмінію, технологічні гази від заводу можуть бути об'єднані з газами електролітичної камери для процесів очищення з використанням глинозему. На наявному заводі гази обробляються окремо в сухому скрубері з використанням глинозему. Застосовується рукавний фільтр, а зібраний глинозем використовують в електролітичних камерах. Пил від обробки та механічних процесів, таких як подрібнення, змішування та формування, збирається у тканинних фільтрах [75, Nordheim, E. 1998], [88, Nordheim, E. 1998], [272, Al input 2008] Коли в газі присутні пари пеку, можна використовувати сухі коксові скрубери, КТО або РТО.

Базовий процес обпалювання анодів та пов'язане з ним очищення диму заводів з виплавки алюмінію, що виробляють первинний алюміній шляхом електролізу, показані на Рисунку 4.7.



Джерело: [272, Al input 2008]

Рисунок 4.7: Процес обпалювання анодів та очищення диму

У Таблиці 4.6 показані масові неочищені викиди від виробництва анодів, коли воно пов'язане з заводом з виплавки первинного алюмінію.

Таблиця 4.6: Неочищені гази від виробництва анодів на заводі, пов'язаному із заводом з виплавки первинного алюмінію

Компонент	Склад неочищеного газу (кг/т алюмінію [1]))	Примітки
Фториди (газоподібні)	0,05–0,6	Викиди твердих фторидів зазвичай незначні
ПАВ	0,15–0,5	Розрахункове значення засноване на втраті ваги приблизно на 5 % під час обпалювання
Вуглеводні	25–40	
Пил	5–10	Розрахункове значення
([1]) Для процесу, пов'язаного з виробництвом первинного алюмінію, з неочищеними газами, що містять різні забруднювальні речовини, і у якому вловлені викиди обробляються у тому ж глиноземному скрубері/тканинному фільтрі, що використовується для газів електролізу. *Джерело:* [272, Al input 2008]		

Викиди для різних систем боротьби з викидами показані в Таблиці 4.7 та Таблиці 4.8.

Таблиця 4.7: Діапазони концентрації викидів для процесів виробництва анодів

Джерело	Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Концентрація діапазон значень (мг/нм^3)
Зберігання матеріалу та обробка коксу	Циклон	Пил	20–60
	Тканинний фільтр	Пил	1–20
Зберігання матеріалу та обробка пеку	Сухий скрубер для парів пеку або КТО або РТО (якщо пилу немає) або охолодження та конденсатор	Вуглеводні	< 25
Подрібнення, змішування та формування	Тканинний фільтр	Пил	< 5
Випікання	Відкриті печі: Сухе очищення глиноземом і видалення пилу в тканинному фільтрі	Пил	< 10
		HF Загальний F	< 0,5 < 0,8
		ПАВ (OSPAR 11)	0,2–0,5
		BaP	< 0,5 (мкг/нм^3)
	Закриті печі: Електростатичний фільтр та скрубер Регенеративний термічний окисник (РТО) з адсорбцією HF	Пил	< 5
		Вуглеводні	< 2 (всього) ([1])
		ПАВ	0,05–2,5 ([2])
		HF	< 5
		SO_2	< 250
		NO_X	< 150

([1]) Вуглеводні, що піддаються конденсуванню, та леткі вуглеводні. Також можуть зазначатися як ЗЛОС, виміряні ПІД з обмеженням 50 мг/м^3.
([2]) Відбір проб ПАВ здійснюється відповідно до стандарту BS ISO 11338, а подальший аналіз повідомляє про 16 ПАВ.
Джерело: [272, Al input 2008], [345, UBA (D) 2009]

Таблиця 4.8: Діапазони питомих показників викидів від виробництва попередньо обпалених анодів

Компонент	Стандартний діапазон
Фториди (кг/т)	0,01–0,1
Пил (кг/т)	0,01–1,0
BaP (г/т)	0,0015–3,0
SO_2 (кг/т)	0,1–6,0
NO_X (кг/т)	0,1–0,4
Джерело: [272, Al input 2008]	

4.2.2.2.1 ЛОС, вуглеводні та ПАВ

Паста для анодів виготовляється з нафтового коксу, очищених анодних недогарків та кам'яновугільного пеку. Викиди вуглеводнів у вигляді смол можуть відбуватися під час доставлення, транспортування, змішування та обпалювання. Близько 40 % кам'яновугільного пеку випаровується під час обпалювання і більше ніж 95 % летких вуглеводнів вигоряє за високої температури печі. Таким чином, обпалювання призводить до залишкових викидів вуглеводнів та ПАВ через їхню присутність у кам'яновугільному пеку. ПАВ є потенційно небезпечними для довкілля, а також усередині промислових підприємств. Таким чином, викиди контролюються за допомогою різних типів описаного очисного обладнання. Перевага віддається конвенції EPA 16 щодо звітності ПАВ, оскільки вона сумісна з вимогами звітності PRTR. Проте, європейська алюмінієва промисловість приходить до згоди щодо використання BaP як індикатора для всіх інших ПАВ, оскільки це сумісне з європейським законодавством щодо якості навколишнього повітря.

4.2.2.2.2 Пил

У процесі виробництва викиди пилу відбуваються на усіх етапах процесу (зберігання, транспортування, дроблення, змішування й обпалювання). Викиди переважно викликані пилом, що утворюється у процесі дроблення, та газами карбонізації. Етапи механічної обробки зазвичай є закритими та вентилюються [116, VDI 1998]. Джерело пилу та його характеристики впливають на метод усунення забруднення довкілля, що використовується для його видалення; вугільний пил може бути дуже дрібнодисперсним і абразивним.

4.2.2.2.3 Газоподібні продукти згорання

Гази, що утворюються у процесі згорання газу або мазуту, виділятимуться в результаті процесу. До них відносяться потенційні викиди оксидів вуглецю та оксидів сірки та азоту. Часто практикується оптимізація умов спалювання та використання пальників з низьким рівнем виходу NO_X, а вибір палива залежить від умов на об'єкті.

4.2.2.2.4 Діоксид сірки

Сировина, з якої виготовляються аноди, містить сірку, і паливо, що використовується для нагрівання, також може містити сірку. Це призводить до невеликого викиду діоксиду сірки під час обпалювання [6, McLellan and Partners Ltd 1993]. Викиди SO_2 знаходяться в діапазоні від 0,5 кг (газ) до 2 кг (мазут) на тонну алюмінію залежно від палива. Це набагато менше, ніж викиди діоксиду сірки, що утворюються в результаті електролізу під час витрати анода.

4.2.2.2.5 Фториди (виробництво анодів з використанням анодних недогарків)

Фториди виділяються, коли анодні недогарки з процесу електролітичного виробництва алюмінію використовуються в суміші для виробництва анодів. Анодні недогарки злегка забруднені фторидами з електроліту. Викиди часток фториду з заводів для обпалювання анодів незначні. Викиди HF в результаті обпалювання анода (у разі очищення) становлять близько 1 % викидів, що утворюються під час електролізу алюмінію [97, Lijftogt, J.A. et al 1998].

4.2.2.2.6 ПХДД/Ф

Остання інформація (до 2009 р.) про результати випробувань джерел викидів та установок з боротьби з викидами в цьому секторі вказує на те, що ПХДД/Ф не застосовні до традиційних процесів виробництва вуглецю. Це необхідно перевіряти, якщо використовуються сполуки хлору або добавки.

4.2.2.3 Викиди у воду

Виробництво вугільних анодів за своєю суттю є сухим процесом, хоча для підвищення однорідності суміші можна додавати невелику кількість води. Скидання технологічних стічних вод зазвичай обмежується охолоджувальною водою, хоча у більшості процесів використовується закрита система охолодження. Дощові стоки з поверхонь та дахів можуть містити вугільний пил та супутні матеріали. Відкрите зберігання сировини та осадження твердих викидів є джерелом потенційного забруднення. Типові значення цього забруднення для процесів, пов'язаних з виробництвом первинного алюмінію, становлять < 0,03 кг/т для завислих твердих частинок і < 0,02 кг/т для розчинених фторидів [97, Lijftogt, J.A. et al 1998]. Передовою практикою є використання вакуумних систем для транспортування матеріалів та закритих силосів для зберігання, щоб зменшити забруднення стічних вод.

Системи непрямого водопостачання також можуть використовуватися для охолодження димових газів, щоб зробити їх придатними для очищення за допомогою звичайних технологій (тобто тканинних фільтрів, електростатичних фільтрів). [97, Lijftogt, J.A. et al 1998].

4.2.2.4 Технологічні залишки

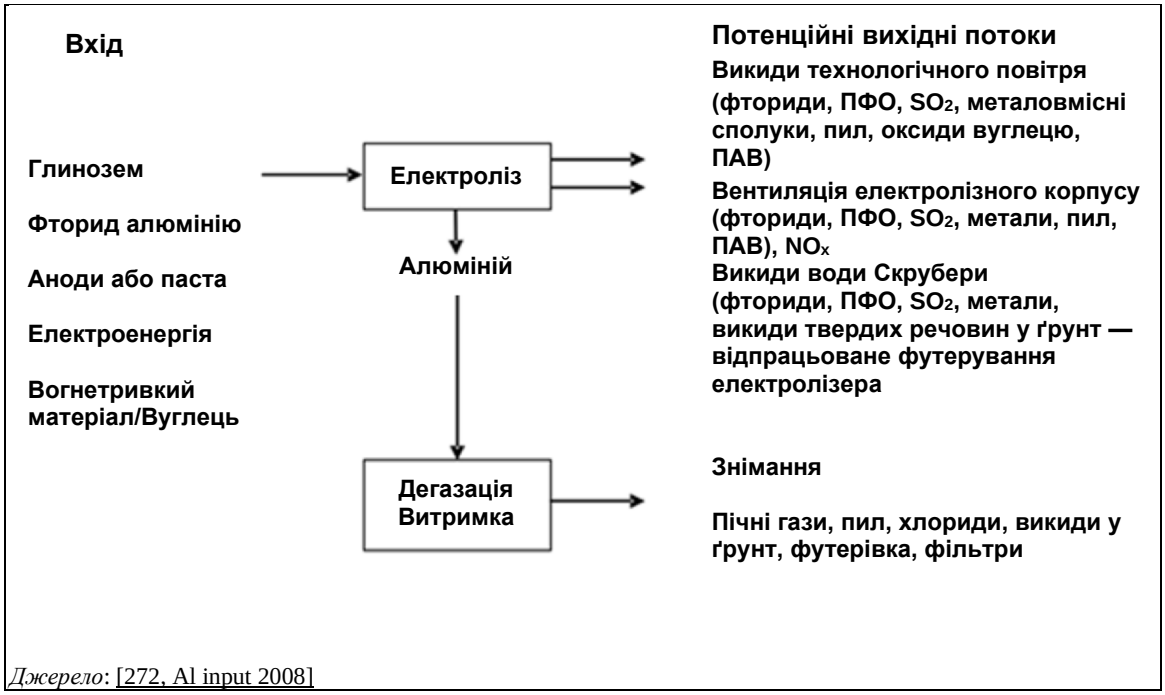
Вогнетривка цегла з обпалювальних печей може бути повторно використана для інших цілей після очищення або утилізована як відходи. Типовий строк служби футерування печі для попередньо обпалених анодів становить близько 100 циклів, що відповідає приблизно 10 кг цегли на тонну виробленого анода.

До інших залишків відноситься матеріал, що видаляється в процесі формування разом із фракціями смоли або пеку. Залежно від матеріалу вони зазвичай підходять для перероблення в процесі у якості сировини або в інших процесах у якості палива або карбюрованого палива.

4.2.3 Первинний алюміній

4.2.3.1 Огляд масового потоку та дані про вхідний/вихідний потік

Вхідні та вихідні потоки виробництва первинного алюмінію показані на Рисунку 4.8.



Джерело: [272, Al input 2008]

Рисунок 4.8: Вхідні та вихідні потоки виробництва первинного алюмінію

На етапі електролізу алюмінію споживається велика кількість енергії: від 53 ГДж на тонну для найефективніших камер з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням (включно з виробництвом анодів) до 61 ГДж на тонну для деяких традиційних камер Сьодерберга. Енерговитрати також є високими та можуть становити до 50 % виробничих витрат. Енергетичні потреби також залежать від геометрії камери, конфігурації струмопровідних шин та інших чинників, які впливають на магнітне зрушення шару рідкого металу. Діапазони вхідних потоків для електролізу, споживання енергії та використовуваної сировини показані в Таблиці 4.9.

Таблиця 4.9: Вхідні потоки для електролізу

Параметр	Попереднє обпалення	Сьодерберг
Глинозем (кг/т Al)	1910–1960	
Аноди нетто (кг/т Al)	410–450	НД
Анодна маса (кг/ т Al) ([1])	НД	470–530
Al F_3 (кг/ т Al)	13–30	18–25
Строк служби катодів (роки)	5–8	4–6
Сила струму (кА)	90–360	
Енергія для виробництва глинозему (ГДж/т Al)	< 10	< 10
Питоме споживання енергії для електролізу (кВт-год/кг Al)	13,2–15,0	14,5–17,0 ([2])
Загальна електроенергія (кВт-год/кг Al) ([3])	13,6–15,7	15,1–17,5

([1]) Виражається як загальна кількість пасти Сьодерберга. У випадку з камерами Сьодерберга показники являють собою валове споживання вуглецю, оскільки втрати від процесу обпалювання відбуваються під час електролізу.
([2]) У процесі Сбодерберга ці показники враховують все споживання енергії, тоді як у процесі попереднього обпалювання передбачене додаткове споживання в обпалювальній печі.
([3]) Включно з втратами у випрямлячі, контролем забруднення та додатковим споживанням. Примітка: дані про споживання енергії видаються на основі конвенцій, що використовуються у промисловості.
НД = немає даних.
Джерело: [272, Al input 2008];

Виробництво алюмінію із переробленого металу використовує лише 5 % енергії первинного виробництва [28, OSPARCOM 1997]. Дані щодо споживання у ливарному цеху наведено у Таблиці 4.10.

Таблиця 4.10: Дані щодо споживання у ливарному цеху

Параметр	Діапазон значень
Знімання/дрос, що утворюється (кг/т Al)	10–50
Флюси (кг/т Al)	0–1,5
Гази (кг/т Al)	0–0,04
Стружка тощо (кг/т Al)	0–3
Вода (кг/т Al)	200–10 000
Енергія на гомогенізацію (МДж/т Al)	500–1200
Енергія ливарного цеху (МДж/т Al)	300–2500 ([1])

([1]) За винятком переплавлення холодного металу
Джерело: [272, Al input 2008]

Слід зазначити, що повітряний потік, що проходить через вентиляційні отвори на даху, може бути набагато більшим (зазвичай у 5–15 разів більше), ніж потік газу, який відсмоктується з електролізерів і спрямовується до центрів обробки газу.

4.2.3.2 Викиди в повітря

Викиди від виробництва алюмінію шляхом електролізу переважно належать до викидів у повітря. Існує три різні джерела викидів у повітря в результаті цього процесу:

- технологічні гази з електролітичних камер;
- вентиляція електролізного корпусу;

- дегазація та лиття.

Можливі викиди на етапі електролізу:

- Вуглекислий газ (CO_2) та чадний газ (CO) (враховуються як CO_2 у наведених далі даних про викиди), пов'язані з витратою анодів;
- перфторовані органічні (ПФО) сполуки у зв'язку з анодними ефектами;
- пил, переважно пов'язаний з поводженням з глиноземом і фторованими продуктами, з місцевості навколо електролізерів або систем обробки;
- фториди як газоподібні, так і у вигляді твердих часток, на поверхні ванни;
- діоксид сірки (SO_2) та інші сполуки сірки, що утворюються переважно в результаті витрати анодів, а також через вміст сірки в коксі та піку;
- смоли та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) у випадку використання електродів Сьодерберга;
- металовмісні сполуки;
- Оксиди азоту (NO_X).

Викиди з електролітичних камер та через вентиляцію електролізерного корпусу пов'язані один з одним ефективністю уловлювання димових газів з камер [28, OSPARCOM 1997], [97, Lijftogt, J.A. et al 1998], [226, Nordic Report 2008], [357, VDI 1998]. Повідомляється, що питома швидкість викиду газу з електролітичних камер через витяжну систему становить 80 000–120 000 $Нм^3$ на тонну алюмінію [348, Solios 2010].

Потенційні викиди на етапах дегазації та лиття:

- пилу;
- органічні речовини, хлориди та фториди, пов'язані з використанням флюсувальних матеріалів;
- SO_2 в залежності від використовуваного палива;
- NO_X, залежно від типу пальника.

4.2.3.2.1 Уловлювання газів

На уловлювання газів впливає технологія та конструкція використовуваних електролізерів. Більша частина газів, що виділяються з електролізерів, виникає під час руйнування кірки та заміни анодів. Отже, спосіб руйнування кірки та подання глинозему в електролізер істотно впливає на кількість газів, що викидаються з електролізера.

Заводи, що працюють у системах точкового подання, розбивають електролізери через певні «точки», в яких розташовані машини для руйнування кірки та завантажувальні механізми. Цей тип заводів забезпечує набагато вищу ефективність уловлювання, ніж звичайні електролізери Сьодерберга або електролізери з використанням попередньо обпалених анодів та периферійної обробки, де глинозем подається не безперервно, а в камери після руйнування кірки по колу і де витяжні ковпаки, розташовані по всій довжині камери, мають бути відкриті.

Сьогодні всі європейські заводи, що використовують технологію попереднього обпалювання або технологію Сьодерберга, застосовують системи точкового подання.

а) Камери з використанням попередньо обпалених анодів
Камери повністю закриті та мають систему видалення диму. Типовий діапазон ефективності видалення для камер з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням (PFPB) становить 95–98,5 % і до > 99 % за умови використання посиленої системи всмоктування (BSS), залежно від конструкції витяжної системи, ефективності кришки камери та розташування витяжної та фільтрувальної систем. [357, VDI 1998]

b) Камери Сьодерберга

У звичайній електродній системі Сьодерберга було зроблено кілька вдосконалень з метою зниження анодного ефекту та викидів від електролізерів до рівня, порівнянного із загальним викидом за електролізерів з використанням попередньо обпалених анодів, включно з обпалюванням аноду. Основними характеристиками є:

- автоматичне та закрите точкове подання глинозему та контроль електролізу;
- удосконалене покриття кірки ванни;
- використання сухої пасти з меншим вмістом смоли;
- удосконалений пальник для спалювання ПАВ та інших вуглеводнів у вихлопних газах електролізера;
- для електролізерів з високою густиною струму повне покриття ковпаком верхньої частини анода, який підключений до окремої системи видалення газу та сухого глиноземного скрубера;
- для електролізерів з меншою густиною струму збільшена висота анода для створення міцного бар'єру у верхній частині анода, що діє як фільтр для викидів ПАВ.

Ці удосконалення призводять до значного збільшення ефективності вловлювання газів [28, OSPARCOM 1997], [226, Nordic Report 2008]. Діапазон, що зустрічається на вдосконалених заводах Сьодерберга, дорівнює ефективності уловлювання до 95 % на основі концентрації HF, залежно від рівня модифікації. Це також залежить від ступеня випаровування з ванни HF, який не може бути уловлений (зазвичай нижче в камерах Содерберга через хімічний склад ванни) [75, Nordheim, E. (EEA) 1998], [233, COM 2008]. Можна здійснювати постійний моніторинг концентрації HF в атмосфері електролізного корпусу за допомогою системи безперервного моніторингу незамкнутого контуру.

Таким чином, викиди з електролізних корпусів камер Сьодерберга є значними, і ці процеси можуть передбачати системи мокрого очищення, такі як мокрі скрубери з морською водою для видалення фторидів та ПАВ з вентиляційного повітря електролізних корпусів. Камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням за своєю природою більш ефективні у вловлюванні технологічних газів, але залежать від хорошої конструкції, технічного обслуговування та технік експлуатації.

4.2.3.2.2 Фториди

Під час електролізу з електролізерів виділяються газоподібні та тверді фториди; 50–80 % фториду є газоподібним HF, а решту складають тверді фториди (переважно фторид алюмінію та кріоліт). HF утворюється в результаті реакції фториду алюмінію та кріоліту з воднем, що подається в електролізер у вигляді зв'язаної води в оксиді алюмінію, у вигляді залишкового водню в анодах та у вигляді вологи у повітрі. Оскільки сучасні електролізери часто працюють з високим стехіометричним надлишком AlF_3 (10–13 %), утворення фторидів з роками збільшилося, і вловлювання диму стало більш важливим[97, Lijftogt, JA. et al 1998].

Загальні викиди фториду з електролізерів варіюються від 20 до 50 кг на тонну алюмінію. За ефективності уловлювання > 98 % та ефективності очищення 99,8–99,9 % в установках сухого очищення викиди димових газів можуть становити 0,06–0,3 кг загального фториду на тонну алюмінію. Глинозем використовується як очисний матеріал. Глинозем зазвичай збирається разом із технологічним пилом у тканинному фільтрі, а потім використовується безпосередньо в електролітичних камерах. Фториди, уловлені в глиноземі, утворюють фторид алюмінію і фторид натрію (після реакції з будь-яким оксидом натрію, присутнім у глиноземі) і роблять внесок у кількість кріоліту у ванні камери. Більшість заводів, на яких працюють глиноземні скрубери, утворюють надлишок кріоліту внаслідок реакції фторидів із вмістом натрію у глиноземі, і він продається як надлишкова концентрація у ванні. Він не утворюється постійно, тому що його утворення залежить від вмісту натрію в глиноземі, який може змінюватися з часом або у разі зміни постачальників [348, Solios 2010].

Невловлені викиди викидаються в атмосферне повітря електролізного корпусу та викидаються через систему вентиляції. Якщо не застосовується мокрий скрубер для вентиляції даху або посилена система всмоктування, загальні викиди (з димової труби та даху) газоподібних фторидів можуть становити 0,4–0,8 кг на тонну алюмінію, що дає загальний викид фторидів (в тому числі твердих часток фторидів, з димової труби та даху) у діапазоні 0,46–1,1 кг на тонну алюмінію [28, OSPARCOM 1997]. Ці викиди належать до

заводів, на яких об'єм всмоктування в електролізери є постійним і де не передбачена можливість його збільшення під час фаз відкриття ковпака для заміни анода або випуску металу. Були розроблені системи тимчасового підвищення об'єму всмоктування, широко відомі як посилені системи всмоктування (BSS). Посилена система всмоктування (BSS) може знизити викиди з вентиляції даху до рівнів близько 0,25 кг F/т Al плюс 0,05 кг F/т Al (димова труба), таким чином, у сумі виходить 0,30 кг F/т Al.

Декілька заводів з виплавки алюмінію, що працюють в Норвегії та Швеції, використовують мокрі скрубери (які використовують морську воду або каустичну соду) на додаток до сухих скруберів для видалення діоксиду сірки (SO_2) з вихлопних газів камери (а в одному випадку також з вентиляційного газу даху) [28, OSPARCOM 1997]. [97, Lijftogt, J.A. et al 1998]. Слід враховувати вплив на різні компоненти довкілля внаслідок використання мокрих скруберів.

Фториди та хлориди також виділяються на етапах дегазації та рафінування. Кількість і компоненти викидів залежать від використовуваних агентів для дегазації та рафінування.

4.2.3.2.3 Перфторовані органічні (ПФО) сполуки

Під час анодного ефекту утворюються ПФО тетрафторметан (CF_4) та гексафторетан (C_2F_6). Вони виділяються у співвідношенні CF_4:C_2F_6 приблизно 10:1. Їх неможливо видалити з газового потоку за допомогою наявних технологій після їх утворення [28, OSPARCOM 1997].

Кількість ПФО, що утворюються, безпосередньо пов'язана з частотою і тривалістю анодних ефектів, а також з перенапругою, що досягається під час них. Гази утворюють електроізоляційний шар під анодом. Ця ізоляційна плівка збільшує напругу камери з 4–5 вольт до 8–50 вольт, що значно впливає на ефективність процесу. Контроль напруги камери та добавок глинозему є основним фактором контролю анодних ефектів [6, McLellan and Partners Ltd 1993].

Викиди ПФО на сучасних заводах можна мінімізувати через використання напівбезперервного точкового подання глинозему та вдосконалення контролю технологічного процесу. Ці заводи можуть працювати з частотою анодного ефекту < 0,1–0,5 на електролізер на день і тривалістю анодного ефекту 0,5–2 хвилини, що призводить до викидів ПФО в діапазоні від 0,01 кг до 0,1 кг на тонну алюмінію [75, Nordheim, E. 1998] [97, Lijftogt, J.A. et al 1998]. Викиди ПФО можна розрахувати за допомогою методів викликаної поляризації. Викиди ПФО в діапазоні від 0,01 до 0,1 кг на тонну алюмінію приблизно відповідали б перенапругам до 1 мВ. Багато старих заводів використовують анодні ефекти для контролю вмісту глинозему у ванні, і, отже, викиди ПФО можуть бути набагато вищими. Використання сучасних систем управління та автоматичного точкового подання глинозему як у камерах з використанням попередньо обпалених анодів, так і в камерах Сьодерберга мінімізує кількість та тривалість анодних ефектів [28, OSPARCOM 1997], [75, Nordheim, E. 1998]. У деяких випадках автоматизована система гасіння анодного ефекту також може використовуватися у поєднанні із системою управління, наприклад, за допомогою зміни висоти анода або стисненого повітря.

Наприкінці 1990-х років європейська алюмінієва промисловість доклала значних зусиль щодо зниження викидів ПФО. Були вжиті просунуті заходи управління процесом, щоб точно контролювати напругу в камері та вміст глинозему в камері й, отже, уникати анодних ефектів та обмежувати тривалість будь-якого з них.

Викиди ПФО регулюються відповідно до еталонних показників Фази III EU ETS.

4.2.3.2.4 Смола та ПАВ

Викиди смоли та ПАВ під час електролізу на заводах з попереднього обпалювання незначні через те, що аноди обпалюються протягом окремої операції. Крім того, тільки дуже невелика кількість смоли та ПАВ може виділятися з обмеженої кількості заводів з попереднього обпалювання, які використовують подову масу для з'єднання анодних штирів та захисних комірів. Вимірювання під час запуску нових камер та на заводах з використанням комірної пасти показують, що викиди є незначними [97, Lijftogt, J.A. et al 1998].

Установки, до яких входить завод з виробництва анодів, матимуть джерело смол та ПАВ на цьому етапі процесу. Є лише два приклади технологічних газів з анодного заводу, які використовують той самий глиноземний скрубер та тканинний фільтр, що використовується в електролітичному процесі. Результати, отримані на цих заводах, не показують відмінності у продуктивності установки з очищення, коли включені анодні технологічні гази. Таким чином, можна зробити висновок, що глиноземний скрубер ефективний під час видалення смоли та ПАВ з анодного заводу або камер Сьодерберга. Відпрацьований глинозем зі скруберів використовується як сировина для камер (але не для покриття ванни).

На старих заводах електростатичні фільтри також використовуються для видалення смоли. Мокрі скрубери для вентиляційних газів також видаляють деяку кількість ПАВ, особливо пилову фракцію, хоча зниження вмісту SO_2 (а іноді й фторидів) зазвичай є рушійною силою для впровадження цієї технології.

На заводах Сьодерберга під час електролізу (витрати анода) та під час процесу самообпалювання анода виділяються смола та ПАВ. Викиди відбуваються під час випаровування пасти та залежать від конструкції анода, якості пасти та методів експлуатації. Викиди можна зменшити двома різними шляхами:

- викиди від процесу електролізу вловлюються, спалюються і, зрештою, видаляються в сухих скруберах;
- викиди від процесу обпалювання знижуються через використання сухої пасти у поєднанні з верхнім кожухом анода або з ковпаком у верхній частині анода.

Належна звітність про викиди ПАВ викликає труднощі, оскільки ефективність уловлювання та аналітичні похибки на фракціях з меншою молекулярною масою можуть бути високими. У всьому світі використовується безліч різних стандартів та списків. Європейська алюмінієва промисловість приходить до згоди щодо використання BaP як індикатора для всіх інших ПАВ.

4.2.3.2.5 Діоксид сірки та сполуки сірки

Аноди, що використовуються, мають вміст сірки в діапазоні від 1 % до більше ніж 3,5 %. Сірка виділяється у вигляді карбонілсульфіду (COS), який вступає в реакцію з киснем, що призводить до викиду діоксиду сірки та чадного газу. Через відмінності у вмісті сірки в анодах викиди діоксиду сірки з технологічним газом з камер можуть становити від 10 до 25 кг на тонну алюмінію на рік при витраті анода 0,43 тонни на тонну алюмінію для заводу з попереднього обпалювання та 0,48–0,50 тонни на тонну алюмінію для заводу Сьодерберга. Повідомляється, що для COS ~ 10–20 % сірки в аноді перетворюється на карбонілсульфід, що еквівалентно 2 кг на тонну алюмінію для анодів, що містять 2,5 % сірки [348, Solios 2010]. З точки зору концентрації викиди через технологічне повітря з камер мають типовий діапазон концентрацій від 50 мг/Нм^3 до 400 мг/Нм^3 [28, OSPARCOM 1997], [97, Lijftogt, JA. et al 1998]. Ці значення залежать від питомого потоку, витрати анода та відсоткового вмісту сірки в анодах. Значення з точки зору концентрації для камер Содерберга вищі, оскільки потоки значно нижчі у порівнянні з потоками заводів попереднього обпалювання. Повідомлялося, що баланс маси, заснований на вмісті сірки в анодах і глиноземі, що використовується, використовується як метод в декількох країнах для оцінки викидів SO_2.

У Норвегії та Швеції, де технологічний газ піддається мокрому очищенню, викиди SO_2 знижуються до рівня 1–2,5 кг на тонну алюмінію. Діапазон концентрацій у викидах в повітря становить 5–40 мг/Нм^3. Під час використання мокрих скруберів необхідно враховувати вплив на різні компоненти довкілля у кожному конкретному випадку.

Глинозем, що використовується, може впливати на викиди SO_2. Наприклад, глинозем, обпалений з використанням тяжкого мазуту, може мати вміст сірки до 300 часток на мільйон і, отже, викиди SO_2 на 10–15 % вище [367, Authier-Martin et al. 2001].

Викиди SO_2 через вентиляцію електролізного корпусу варіюватимуться від 0,2 кг до 0,6 кг на тонну (концентрація: 0,1–3 мг/Нм^3), залежно від ефективності уловлювання.

Повідомлялося, що сірка в анодах може мати сприятливий вплив на придушення несприятливого впливу натрію, що міститься в анодних недогарках для перероблення [75, Nordheim, E. 1998] [88, Nordheim, E. 1998]

Європейський кокс, хоч і має стабільну якість і хорошу густину, має недолік, що полягає в тому, що аноди, виготовлені виключно з цього коксу, мають коротший термін служби та можуть викликати проблеми в роботі плавильного заводу через надмірну реакцію з вуглекислим газом, явище, яке називається утворенням пилу. У сучасному плавильному заводі з комп'ютерним управлінням, де нормою є стабільна експлуатація, максимальна потужність та економічна ефективність, це неприйнятно.

Кокс із низьким вмістом сірки з Латинської Америки та Китаю демонструє те саме явище і також має низьку густину. Реакційна здатність CO_2 пригнічується присутністю сірки у підвищених кількостях, тому вважається бажаним та вигідним змішувати європейський обпалений нафтовий кокс з обпаленим коксом із вищим вмістом сірки зі США. Це загальновизнана та загальноприйнята практика на європейських плавильних заводах, яка обмежує нижчий рівень вмісту сірки в анодах, що використовуються у Європі. Тим часом деякі плавильні заводи випробовують обпалений пековий кокс у поєднанні з обпаленим нафтовим коксом, що підвищує густину і знижує вміст сірки. Високий вміст сірки зменшує вірогідність утворення пилу, тому деякі вважають цей кокс кращим за всі інші. Проте, через вищий вміст сірки кокс західного узбережжя США не зміг досягти значних успіхів на європейських ринках.

4.2.3.2.6 Пил

Глинозем та тверді матеріали ванни (кріоліт, хіоліт, дроблений електроліт, суміш анодного покриття тощо) є основними видами пилу, що виділяється під час електролізу. Глинозем, який використовується для видалення фторидів із вихлопних газів, називається вторинним або фторованим глиноземом і також викидається, якщо система уловлювання пилу є неефективною. Цей вторинний глинозем містить деяку кількість HF, адсорбованого на поверхні.

Загальні викиди пилу варіюються і залежать від типу процесу, що застосовується, і типу глинозему, але коливаються від 0,6 кг до 10 кг на тонну алюмінію. Типові концентрації пилу для вентиляції електролізного корпусу складають від 0,5 мг/Нм^3 до 5 мг/Нм^3, тоді як концентрація пилу в технологічному повітрі коливається від 150 мг/Нм^3 до 500 мг/Нм^3 до очищення та від 1 мг/Нм^3 до 20 мг/Нм^3 після очищення [97, Lijftogt, J.A. et al 1998].

Лиття є ще одним джерелом утворення пилу (і металів), а дими ливарного цеху іноді уловлюються та очищаються у рукавному фільтрі. Гази, що викидаються з ливарного цеху на заводах з виплавки первинного металу, були розраховані та показані в Таблиці 4.11 [28, OSPARCOM 1997]. Розрахунок був заснований на концентрації компонентів у газах камери та ефективності уловлювання ковпаків та витяжної системи. Цей розрахунок важливий для встановлення значущості невловлених викидів. Для зменшення невловлених викидів використовується ефективна система уловлювання диму. Більшість плавильних заводів здійснюють регулярний моніторинг її ефективності.

Таблиця 4.11: Викиди у повітря з ливарних цехів з лиття первинного алюмінію

Параметр	Викиди (кг/т алюмінію)
Пил	0,01–0,1 ([1])([2])
NO_X	< 0,1–0,4
SO_2	0–1,8 ([2])
([1]) Залежно від фільтрувальної системи. ([2]) Залежно від палива, що використовується. *Джерело:* [272, Al input 2008]	

Були проведені деякі дослідження на наявність ПХДД/Ф у димах від процесу лиття, оскільки використання хлору для дегазації та наявність вуглецю в газоподібних продуктах згорання може призвести до їх утворення. Усі вимірювання в ливарних цехах заводів з виплавки первинного металу показують рівні значно нижчі за 1 г/рік. Регулярні вимірювання на французькому плавильному заводі показують типові значення близько 0,05 г/рік.

4.2.3.2.7 Метали

Відомо, що метали зустрічаються у слідових концентраціях у сировині (глинозем, фторид алюмінію, кокс і пек) і тому можуть виділятися під час електролізу. Теллур вилучається з глинозему, виробленого на одній установці, і тому є потенційним забруднювачем. Інші леткі метали також присутні та можуть викидатися з електролізного корпусу та ливарного цеху. Є лише обмежений обсяг інформації щодо впливу на довкілля, але слідові концентрації металів не вважаються значними викидами. [97, Lijftogt, JA. et al 1998], [367, Authier-Martin et al. 2001].

4.2.3.2.8 Оксиди азоту

Оксиди азоту (NO_X) утворюються під час електролізу через наявність азоту в аноді, який може окиснюватися до NO_X. Вміст азоту в анодах зазвичай становить від 0,2 % до 0,4 %. Коли азот повністю перетворюється на NO_X, викиди можуть становити від 0,5 кг до 2 кг NO_2 на тонну алюмінію (що передбачає концентрації від 5 мг/Нм^3 до 20 мг/Нм^3 в димовій трубі для потоків 100 000 Нм^3/год, і концентрації до 25 мг/Нм^3 для потоків 80 000 Нм^3/год). Фактична кількість викидів NO_X все ще є предметом обговорення. Контрольні вимірювання на двох заводах попереднього обпалювання в Норвегії показали рівні викидів від 0,1 до 0,2 кг NO_2 на тонну алюмінію [97, Lijftogt, JA. et al 1998]. Газоподібні продукти згорання від пальників, що використовуються в печах витримки та плавильних печах ливарного цеху, також містять оксиди азоту.

4.2.3.2.9 Чадний газ

Чадний газ (CO) утворюється під час електролізу в результаті зворотної реакції розчиненого в електроліті металевого алюмінію з CO_2, що утворюється на аноді ($2Al + 3CO_2 \rightarrow Al_2O_3 + 3CO$), що знижує ефективність камери. На сучасному плавильному заводі утворення CO до будь-якого повторного окиснення до CO_2 становить близько 100–150 кг на тонну алюмінію. Утворення CO також збільшується під час анодного ефекту [6, McLellan and Partners Ltd 1993], [97, Lijftogt, JA. et al 1998].

4.2.3.2.10 Вуглекислий газ

Вуглекислий газ (CO_2) утворюється під час електролізу в результаті реакції вугільного анода з киснем, що утворюється в результаті електролізу, та в результаті вторинної реакції з повітрям. Ефективний завод попереднього обпалювання споживає близько 0,43 тонни вугільних анодів на тонну алюмінію, що відповідає від 1,4 до 1,7 тонни CO_2 на тонну алюмінію. Проте, ці викиди набагато нижчі, ніж викиди CO_2 від спалювання викопного палива, коли воно використовується для виробництва електроенергії, необхідної для електролізу [75, Nordheim, E. 1998]. Вуглекислий газ також виділяється з пальників, що використовуються в печах витримки та плавильних печах.

4.2.3.2.11 Короткий огляд основних забруднювачів повітря

Короткий огляд значущості основних забруднювачів повітря та джерел їх викидів, як описано вище та на основі на літературних даних, наведено у Таблиці 4.12

Таблиця 4.12: Значення потенційних викидів від виробництва первинного алюмінію

Компонент	Димові гази з електролітичних камер	Вентиляція електролізного корпусу	Дегазація та витримка
Фториди (газоподібні та загальний F)	•	•••	• (хлориди)
ПФО	•••	•	НЗ
Смоли та ПАВ ([1])	•	••	НЗ
SO_2 (без скруберів) ([2]) та COS	••([1])	НЗ	•
Вуглекислий газ	••	НЗ	НЗ
Пил	•	•	НЗ

([1]) Смоли та ПАВ стосуються процесів Сьодерберга та процесів попереднього обпалювання, у які інтегрований процес виробництва електродів. Вони також можуть бути актуальними для невеликої кількості заводів, що використовують пасту для з'єднання анодних штирів та захисних комірів.
([2]) Мокрі скрубери зазвичай використовуються після сухого очищення у Скандинавії для видалення SO_2 і зазвичай пов'язані з використанням морської води у якості очисного матеріалу.
Примітка: ••• Більш значущі — • Менш значущі
НЗ = не застосовується.

Загальні обсяги викидів в повітря від заводів з виплавки первинного алюмінію наведені в Таблиці 4.13 та Таблиці 4.14. Діапазони являють собою варіації з точки зору технології, віку та розміру заводу.

Таблиця 4.13: Загальні обсяги викидів (дах + димова труба) у повітря від заводів з виплавки первинного алюмінію з прямими викидами через вентиляційні отвори в атмосферу і без мокрого очищення

Параметр	Попереднє обпалення	Модернізований завод Сьодерберга
Загальні фториди (кг/т Al)	0,46–1,1	0,5–1,5
Пил (кг/т Al)	0,6–1,7	0,9–4,0
SO_2 (кг/т Al)	10–25	10–25
BaP (г/т Al)	Не повідомлено	5–15
Джерело: [296, EAA, OEA 2012]		

Таблиця 4.14: Загальні обсяги викидів (дах + димова труба) у повітря від заводів з виплавки первинного алюмінію з посиленою системою всмоктування (BSS) для газів електролізера (завод попереднього обпалювання) або мокрим очищенням газу з вентиляційних отворів даху (модернізований завод Сьодерберга)

Параметр	Попереднє обпалення	Модернізований завод Сьодерберга
Загальні фториди (кг/т Al)	0,25–0,45	0,30–0,60
Пил (кг/т Al)	0,2–0,6	0,8–1,4
SO_2 (кг/т Al)	10–25	
BaP (г/т Al)	Не повідомлено	5–15
Джерело: [296, EAA, OEA 2012]		

Під час застосування мокрого скрубера для газу з електролізерів можуть бути досягнуті показники, зазначені у Таблиці 4.15.

Таблиця 4.15: Викиди SO_2 у повітря від заводів з виплавки первинного алюмінію з мокрим очищенням, що застосовується для газу з електролізерів

Параметр	Попереднє обпалення	Модернізований завод Сьодерберга
SO_2 (кг/т Al)	1–2,5	0,8–2,5
Джерело: [296, EAA, OEA 2012]		

Значущість неконтрольованих викидів з вентиляції електролізного корпусу заснована на 98 % уловлюванні диму з камер. Звичайні камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням можуть забезпечити цю ефективність, але коли досягається нижча ефективність, наприклад, у камерах з використанням попередньо обпалених анодів та периферійної обробки або камерах Сьодерберга, актуальність вентиляції електролізного корпусу зростає [75, Nordheim, E. 1998], [97, Lijftogt, J.A. et al 1998].

4.2.3.3 Викиди у воду

Виробництво первинного алюмінію за своєю природою є сухим процесом. Скидання стічних вод зазвичай обмежується охолодною водою, дощовою водою, що стікає з поверхонь і дахів, а також морською водою від очищення газів вентиляції електролізного корпусу. Дощові стоки можуть бути забруднені відкритим зберіганням сировини та відкладенням твердих речовин. Типові значення для такого забруднення становлять < 0,03 кг/т алюмінію для завислих твердих часток і < 0,02 кг/т алюмінію для розчинених фторидів. Крім того, значну кількість стічних вод може бути скинуто в результаті використання мокрих систем для контролю забруднення повітря [97, Lijftogt, J.A. et al 1998].

На виробництво анодів може припадати деяка кількість стічних вод, що складаються з охолоджувальної води, що використовується для охолодження зелених анодів і зеленої пасти Сьодерберга або димових газів. Крім того, процес охолодження може виконуватися з використанням систем непрямого водопостачання, що призводить до скидання охолоджувальної води, хоча на сучасних плавильних заводах ця вода рециркулюється, що призводить до майже нульового скидання. Системи непрямого водопостачання також можуть використовуватися для охолодження димових газів, щоб зробити їх придатними для очищення за допомогою звичайних технологій (тканинних фільтрів, електростатичних фільтрів) [97, Lijftogt, J.A. et al 1998].

Етап електролізу є сухим процесом, і стічні води не утворюються безпосередньо. Забрудненню дощової води запобігають за допомогою технологій, описаних у Розділі 0.

На сучасних плавильних заводах із сухими глиноземними скруберами скидання води зазвичай становить лише 1 $м^3$ на тонну алюмінію. На заводах, де вода використовується одноразово як охолодний агент, переважно для зниження витрат на електроенергію для випарних градирень, обсяг скидання води може досягати 100 $м^3$ на тонну алюмінію.

Викиди у воду від заводів з електролізу первинного алюмінію, що використовують мокрі скрубери для вентиляційного повітря або мокрі скрубери для SO_2, показані в Таблиці 4.16.

Таблиця 4.16: Технологічні викиди у воду від заводів з електролізу первинного алюмінію, що використовують мокрі скрубери для вентиляційного повітря або мокрі скрубери для SO_2

Параметр	Сьодерберг
Вода (кг/т Al)	0,5–1,5
Завислі тверді речовини (кг/т Al)	0,5–2,0
ПАВ (Борнефф 6) (г/т Al)	6–15
Джерело: [272, Al input 2008]	

ПАВ, що викидаються у воду, можна зазначити як шість сполук зі списку Борнеффа [28, OSPARCOM 1997], [125, Euroalliages (B) 1998].

4.2.3.4 Технологічні залишки

Виробництво металів пов'язане з утворенням кількох побічних продуктів, залишків та відходів, які також перелічені у Європейському каталозі відходів. Найбільш важливі залишки, характерні для процесу, описані в Розділах 4.2.3.4.1 та 4.2.3.4.2 нижче.

Основними джерелами відходів з процесу електролізу є відпрацьовані матеріали для футерування електролізера.

4.2.3.4.1 Відпрацьоване футерування електролізера

За звичайного для сучасних заводів терміну служби катода від п'яти до восьми років кількість утвореного відпрацьованого футерування електролізерів становить 20–50 кг на тонну виробленого алюмінію. Відпрацьоване футерування електролізерів зазвичай складається з двох окремих фракцій та сталевих катодних штанг. Є два види відходів: вугільна частина (перша фракція) та вогнетривкий матеріал (друга фракція). Вугільна частина є фактичним катодом з електролітичної камери, а решта є різними типами ізоляційного матеріалу [272, Al input 2008].

Дві фракції часто розділяються під час демонтування катода. Відпрацьований катод також містить деяку кількість матеріалу ванни, сталеві стрижні, що використовуються для проведення електроенергії до вугільного катода, і часто пластівці металевого алюмінію від проникнення металу в катод. Ці частини або повторно використовуються безпосередньо на заводі, або, у випадку зі сталевими стрижнями, відправляються за межі заводу на перероблення. Вугільна частина відносно однорідна, тоді як вогнетривка частина може складатися з декількох різних типів вогнетривких матеріалів або інших типів ізоляції.

У Таблиці 4.17 наданий аналіз типового відпрацьованого футерування електролізера.

Таблиця 4.17: Склад відпрацьованого футерування електролізера

Складова	Вугільне футерування (1-ша фракція)	Ізоляція (2-га фракція)
	Діапазон (% ваг.)	
$A1_2O_3$	0–10	10–50
C	40–75	0–20
Нд	8–17	6–14
F	10–20	4–10
CaO	1–6	1–8
SiO_2	0–6	10–50
Металевий Al	0–5	0
CN (загальний)	0,01–0,5	0–0,1
CN (вільний)	0–0,2	0–0,05
Джерело: [131, Nordheim 1998]		

Компонентами, що мають велике значення, пов'язаними з цим матеріалом, є розчинний фторид і розчинний ціанід. Крім того, будь-яке змочування цього матеріалу призведе до утворення лужної витяжки та виділення невеликої кількості NH_3 та горючих газів. ПАВ не вважаються проблемою, оскільки вугільне футерування вже було карбонізоване за температур вище 1250 °C, а будь-яка набивна подова маса була нагріта до температури вище 900 °C в електролітичній камері. Згадані компоненти переважно пов'язані з вугільною частиною відпрацьованого футерування електролізера та вогнетривкими частинами, що знаходяться в безпосередньому контакті з нею. Як видно з Таблиці 4.17, вміст цих компонентів менший у вогнетривкій частині або інших видах ізоляції.

Відпрацьоване футерування електролізера можна використовувати повторно, обробляти, частково обробляти або утилізувати [131, Nordheim 1998]

Повторне використання
Доступні шляхи відновлення для більшості європейських плавильних заводів:

- повторне використання у виробництві цементу;
- повторне використання у якості вторинної сировини (мінеральна вата, відновлення сольового шлаку тощо);
- повторне використання у якості палива;
- повторне використання у якості карбюризатора (сталеливарна промисловість).

Процес обробки
- Низькокаустичне вилуговування та вапнування Rio Tinto Alcan;

- Піч Ausmelt/ISASMELT;
- Процес виробництва феросплавів Elkem [226, Nordic Report 2008]
- Перспективна технологія, розроблена BEFESA, описана у Розділі 4.4.

Утилізація
Попередня обробка з подальшою утилізацією на майданчику для утилізації, що відповідає Директиві ЄС 1999/31/ЕС.

4.2.3.4.2 Інші матеріали

Знімання/дрос від процесів поводження та обробки становить 15–30 кг на тонну виробленого алюмінію. Цей матеріал містить 30–80 % алюмінію. Охолодження під захисним шаром інертного газу запобігає окисненню. Знімання/дрос використовується як сировина у виробництві вторинного алюмінію. Відпрацьовані фільтри після обробки металу зазвичай утилізуються. Відпрацьовані фільтри після обробки металів, як правило, утилізуються. Можуть бути присутні тверді відходи, що утворюються на газоочисних установках (пил та осад) [75, Nordheim, E. 1998].

У рідких випадках утилізуються й анодні недогарки з деяких заводів, якщо вони не відповідають стандартам якості. Якщо на об'єкті немає анодного заводу, анодні недогарки можна використовувати в сталеливарній промисловості як замінник коксу, що знижує потребу у первинному коксі.

Відпрацьовані анодні залишки дробоструминної обробки та очищення, що містять переважно вуглець та матеріал ванни камери, також обробляються на більшості плавильних заводів, а також пил від матеріалів від підмітання підлог та очищення підвалів, які складаються в основному із суміші глинозему та частинок матеріалу ванни. Ці матеріали часто переробляються всередині компанії або утилізуються, якщо вони не відповідають мінімальним стандартам якості.

Футерування печей від металевих ковшів та печі для обпалювання анодів можуть бути відновлені або утилізовані. Вогнетривка цегла з обпалювальних печей може бути повторно використана для інших цілей після очищення або утилізована як відходи. Типовий строк служби футерування печі для попередньо обпалених анодів становить близько 100 циклів, що відповідає приблизно 10 кг цегли на тонну виробленого анода.

Належна практика поводження з відходами та використання методів відновлення дозволяють скоротити кількість відходів, що спрямовуються на утилізацію. Варіанти та кількості показані в Таблиці 4.18 та Таблиці 4.19.

Таблиця 4.18: Варіанти зменшення відходів на заводі з виплавки первинного алюмінію

Джерело	Варіанти використання/обробки
Алюміній	Відновлення
Пил із фільтра	Повторне використання у процесі
Цегла	З анодних печей, повторне використання
Сталь	Відновлення
Вугільний пил (анодний завод)	Повторне використання або захоронення, залежно від вмісту золи
Джерело: [272, Al input 2008]	

Таблиця 4.19: Питома кількість відходів від виробництва первинного алюмінію

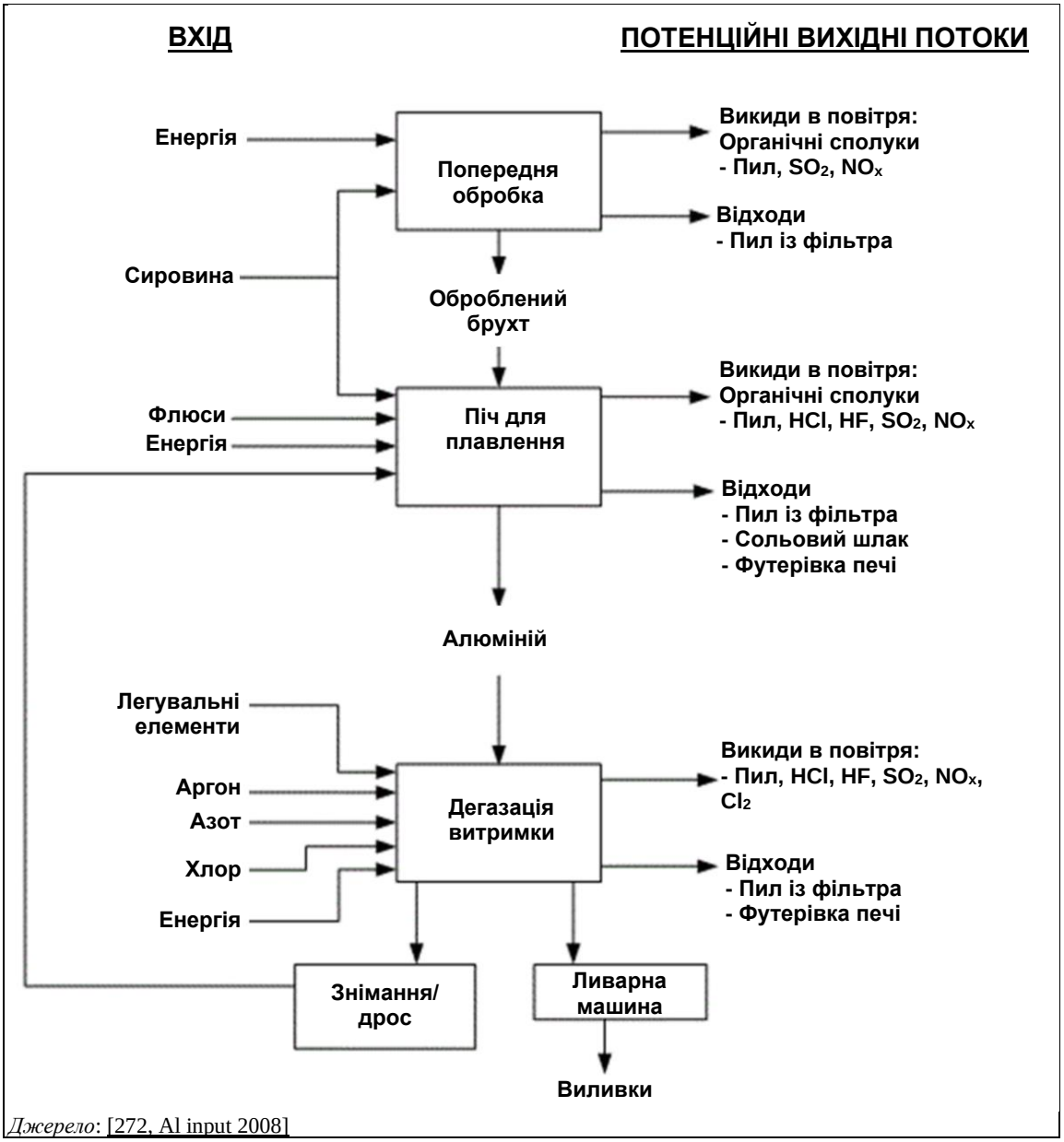
Джерело ([1])	кг/т алюмінію
Знімання/дрос Al	15–30
Інші шкідливі відходи	7–15
Нешкідливі відходи	12–14
([1]) За умови, що зовнішній брухт не плавиться. *Джерело:* [272, Al input 2008]	

Сталь з анодного заводу зазвичай переплавляють в індукційній печі та заново відливають для використання у технологічному процесі. Плавлення сталі, забрудненої фторидами, є ще одним потенційним джерелом цих викидів, і потрібні відповідні заходи з їх уловлювання та усунення.

4.2.4 Вторинний алюміній

Тип і якість брухту мають великий вплив на значущість викидів. Можливі викиди у повітря пилу, металовмісних сполук, Cl_2, HCl, NO_X, SO_2 та HF, а також продуктів неповного згоряння, таких як ПХДД/Ф та інших органічних сполук, з плавильних та термічних печей. Можливе утворення ПХДД/Ф у зоні згорання та в охолодній частині системи очищення відхідних газів (синтез de novo).

На Рисунку 4.9 наданий огляд типових даних про вхідні та вихідні потоки заводу з виробництва вторинного алюмінію.



Джерело: [272, Al input 2008]

Рисунок 4.9: Вхідні та вихідні потоки виробництва вторинного алюмінію

Викиди можуть виходити з процесу або у вигляді викидів з димових труб, або у вигляді дифузних викидів, залежно від віку заводу та використовуваної технології. Можна здійснювати постійний моніторинг викидів з димових труб, наприклад, пилу, або періодичний, наприклад, ПХДД/Ф, а результати повинні повідомлятися компетентним органам персоналом на об'єкті або консультантами за межами об'єкта.

Аміак та інші гази можуть виділятися внаслідок реакції з вологістю повітря, внаслідок неправильного зберігання або обробки, а також під час транспортування знімання/дросу [32, Mantle et al. 1998]. Пил також утворюватиметься під час поводження та обробки знімання/дросу. Можливі викиди у воду завислих твердих часток, металів та масел у разі неправильного зберігання продуктів та матеріалів.

4.2.4.1 Викиди в повітря

Потенційні викиди у повітря показані в Таблиці 4.20 і складають:

- пил, PM_{10} та PM_5;
- металовмісні сполуки;
- органічні сполуки (ЗОВ та ПХДД/Ф) та CO;
- оксиди азоту (NO_X);
- діоксид сірки (SO_2);
- Хлор, хлороводень та фтороводень (Cl_2, HCl і HF).

Значна частка викидів цих речовин обумовлена забрудненням вихідного матеріалу та палива, що використовуються. Деяка кількість пилу утворюється з дрібнодисперсного пилоподібного брухту та пари солі REFERENCE BOOKMARK 8151 [75, Nordheim, E. 1998]

Таблиця 4.20: Значущість потенційних викидів у повітря

Компонент	Попередня обробка	Плавлення	Обробка розплавленого металу та дегазація
HCl, HF та Cl_2	••	••	•••
Метали та сполуки	••	••	••
Оксиди азоту	•	••	• (газоподібні продукти згорання)
SO_2	• (з відповідним паливом)	• (з відповідним паливом)	• (газоподібні продукти згорання)
Органічні сполуки (CO, ЗОВ, ПХДД/Ф)	•••	•••	НЗ
Пил	•••	•••	••
Примітка: ••• Більш значущі — • Менш значущі НЗ = не застосовується.			

4.2.4.1.1 Уловлювання та запобігання викидам

На підприємствах з переплавлення/перероблення алюмінію дифузні викиди переважно виникають під час зберігання, обробки та завантаженні/розвантаженні матеріалів, що виділяють пил (наприклад, шлаку), і внаслідок недостатнього уловлювання відхідних газів печі, особливо коли піч відкрита (наприклад, для завантаження, обробки розплаву, випускання шлаку, зняття шлаку та лиття). Дифузні викиди, що утворюються у процесі завантаження, обробки розплаву, випускання шлаку, зняття шлаку і лиття, згодом викидаються із будівель, тобто через відкриті двері або вентиляційні отвори у даху (дахові ліхтарі), якщо немає витяжних пристроїв достатньої потужності [234, UBA (D) 2007].

Видалення диму є важливим елементом виробництва вторинного алюмінію, оскільки пил та дим можуть утворюватися із забруднювальних речовин у сировині, а також на етапах горіння та плавлення [32, Mantle et al. 1998]. Наявність кількох можливих точок викидів у печі також має велике значення, і слід розглянути питання уловлювання викидів з таких точок. Крім того, можна використовувати різні системи зменшення дифузних викидів на

етапі завантаження процесу. Наприклад, для запобігання викидам під час завантаження можна використовувати стикувальні машини, які щільно прилягають до завантажувального вікна.

Ще одним важливим фактором є спалювання органічних покриттів у печі попередньої обробки або в плавильній печі. Для обробки цих викидів можуть бути розроблені системи видалення та очищення. Дифузні викиди можуть бути значними, якщо системи уловлювання диму не спроєктовані належним чином.

4.2.4.1.2 Пил і метали

Пил утворюється переважно через склад вихідного матеріалу (знімання/дрос і дрібнодисперсний брухт) і сольових пар. Неповне згорання палива також може сприяти викиду пилу. Пил також утворюється під час поводження з матеріалами, наприклад зберігання, вантажних робіт та завантаження вихідних матеріалів, таких як брухт, флюси та знімання/дрос. Пил також утворюватиметься під час попередньої обробки знімання/дросу, наприклад, холодного помелу. Механічна обробка сольового шлаку на місці, така як дроблення, також призводить до утворення пилу.

Пил і метали зустрічаються разом і можуть утворюватися з газоподібних продуктів згорання або з брухту або флюсів, що використовуються. Деякі метали, присутні як забруднювальні речовини в сировині, такі як Cu, Mg, Zn і Hg, будуть випаровуватися під час плавки й утворювати пил.

Утворення диму пов'язане з присутністю органічного вуглецю і хлориду і може призвести до утворення ПХДД/Ф, які потім також будуть пов'язані з частками [312, VDI 2008].

Матеріали для обробки, такі як вапно, бікарбонат натрію та вуглець, вводяться в потік неочищеного газу для зниження викидів кислих газів та ПХДД/Ф та видаляються фільтрами разом з пилом. У більшості установок для видалення пилу використовуються (високоефективні) рукавні фільтри; викиди варіюються від 0,6 мг/Нм^3 до 5 мг/Нм^3. Часто їм передує іскрогасник або охолоджувальна камера для захисту фільтра. Викиди металів залежать від використовуваної сировини та досягнутого рівня запиленості.

У Таблиці 4.21 наведено огляд викидів пилу від виробництва вторинного алюмінію.

Таблиця 4.21: Викиди пилу від виробництва вторинного алюмінію

Джерело	Контроль відходів	Пил (мг/нм^3)
		Мін. – макс.
Механічна обробка (дроблення, помел) матеріалу (брухт, дрос), вантажні роботи, транспортування ([1])	Рукавний фільтр	< 1–5
Сушарка для стружки	Рукавний фільтр	< 1–5
Різні типи печей	Рукавний фільтр	< 1–5
([1]) Під вантажними роботами мається на увазі завантаження та розвантаження вантажівок з сольовим шлаком та дросом. Під транспортуванням маються на увазі пункти конвеєрної передачі. [296, EAA, OEA 2012]		

4.2.4.1.3 Органічні сполуки (ЗОВ, ПХДД/Ф) та CO

Неповне згорання палива або органічний вміст вихідного матеріалу може призвести до викиду органічних сполук. Забезпечення ефективного керування пальником та піччю використовується для оптимізації горіння. Необхідно враховувати пікові швидкості горіння органічних сполук, якщо вони подаються у піч. Повідомляється, що попереднє очищення брухту видаляє більшу частину органічного матеріалу та підвищує швидкість плавлення [119, McLellan 1998]. Використання хлору та хлоридів (сольовий флюс) забезпечує джерело хлору і, отже, можливість утворення ПХДД/Ф у зоні згорання та в охолодній частині системи очищення відхідних газів (синтез de novo).

Використання сучасних регенеративних пальників допоможе запобігти або мінімізувати синтез de novo. Ефективне фільтрування пилу видаляє органічні сполуки та ПХДД/Ф, пов'язані з пилом; вуглець може бути доданий для підвищення ефективності очищення. Допалювання відхідних газів також може здійснюватися для руйнування органічних сполук, що утворюються в печі або на етапах попередньої обробки.

У Таблиці 4.22 наданий огляд викидів ПХДД/Ф та ЗЛОС від виробництва вторинного алюмінію.

Таблиця 4.22: Викиди ПХДД/Ф та ЗЛОС від виробництва вторинного алюмінію

Джерело	Контроль відходів	ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)	Джерело	Контроль відходів	ЗЛОС ([1]) (мг/нм^3)
		Мін. – макс.			Мін. – макс.
Різні типи печей	Вдування активованого вугілля та рукавний фільтр	< 0,1-0,44	Сушарка для стружки	Допалювач	< 1-32
Різні типи печей	Допалювач/вдування активованого вугілля та рукавний фільтр	< 0,01-0,22	Різні типи печей	Допалювач	0,5-18
([1]) Пікове значення безперервного вимірювання. *Джерело:* [296, EAA, OEA 2012].					

4.2.4.1.4 Діоксид сірки та оксиди азоту

Обидві ці сполуки утворюються через вміст сірки та азоту в сировині, паливі та системах спалювання, що використовуються в печах. Наприклад, сольові флюси можуть містити сульфат. Для мінімізації викидів можна використовувати пальники з низьким рівнем виходу NO_X та паливо з низьким вмістом сірки. Використання киснево-паливних пальників допоможе зменшити утворення термічних NO_X, але існує ймовірність того, що збагачення киснем може мати протилежний ефект через високі температури експлуатації. Так само підігрівання повітря для згорання також збільшує концентрацію NO_X, яка вимірюється як NO_2. Вищі концентрації пов'язані з нижчими об'ємами газу та загальними кількостями. Підігрівання повітря для згорання у регенеративних або рекуперативних пальниках також може збільшити викиди NO_X. Правильна кореляція між викидами NO_X та ефектом кисневого палива або збагачення киснем може бути розрахована лише порівнянням кількості забруднювальних речовин, що викидаються на тонну алюмінію, виробленого за кожен цикл.

Викиди SO_2 завжди залежить від типу використовуваного палива, що залежить від наявності палива у регіоні, де працює завод. Середньорічний викид SO_2 не перевищує 100 мг/Нм^3.

У Таблиці 4.23 наведено огляд викидів NO_X (вимірюваних як NO_2) від виробництва вторинного алюмінію.

Таблиця 4.23: Викиди NO_X (вимірювані як NO_2) від виробництва вторинного алюмінію

Джерело	NO_X (мг/нм^3)
	Мін. – макс.
Сушарка для стружки, звичайний пальник	10-150
Різні типи печей, киснево-паливний пальник	1-300
Різні типи печей, звичайний пальник	< 1-200
Різні типи печей, регенеративний пальник	72-340
Джерело: [296, EAA, OEA 2012].	

4.2.4.1.5 HF, HCl та хлор

Хлор можна використовувати для обробки розплавленого алюмінію перед литтям, щоб видалити водень, магній та інші домішки. Одним з можливих застосувань обертових печей є видалення магнію без подальшого використання хлору. Це корисно, оскільки надлишок хлору може зрештою викидатися у вигляді хлору або хлориду алюмінію. Останній може гідролізуватись вологою у повітрі з утворенням HCl. На більшості об'єктів для видалення цих сполук використовується сухе або напівсухе очищення, і лише на деяких використовуються мокрі скрубери. Їх утворення можна мінімізувати шляхом належного контролю та використання сумішей хлору та інертних газів замість чистого хлору. Використання сольового покриття в плавильній печі може призвести до викиду дуже дрібнодисперсних парів, що містять хлориди металів. Використання фторидів для видалення магнію або у якості флюсу може призвести до викиду HF і фторидів у невеликих кількостях.

У Таблиці 4.24 наданий огляд викидів HCl, Cl_2 та HF від виробництва вторинного алюмінію.

Таблиця 4.24: Викиди HCl, Cl_2 та HF від процесу виробництва вторинного алюмінію

Джерело	Контроль відходів	HCl (мг/нм^3)	Cl_2 (мг/нм^3)	HF (мг/нм^3)
		Мін. – макс.	Мін. – макс.	Мін. – макс.
Різні типи печей	Вдування вапна та/або $NaHCO_3$	< 1-16,3 ([1])	< 0,1-2,1	< 0,1-2,5
Подові/індукційні печі	Вдування вапна	0,1-7	0,1-0,23	< 1
([1]) Виміряно під час хлорування. *Джерело:* [296, EAA, OEA 2012].				

4.2.4.2 Викиди у воду

Виробництво алюмінію з вторинної сировини по суті є сухим процесом. Будь-яке скидання стічних вод зазвичай обмежується охолоджувальною водою, яка часто рециркулюється, і дощовим стоком з поверхонь і дахів. Замкнений водяний цикл повертає використану воду у процес; тільки вода, що використовується для охолодження металу, випаровується в атмосферу і вважається втраченою і має бути замінена. Іноді додають свіжу воду, щоб підтримувати температуру охолоджувальної води нижче певної температури з міркувань безпеки. У сховищі охолоджувальної води замкнутої системи збиратимуться деякі забруднювальні речовини через стирання обладнання та продукти осадження, що виникають внаслідок кондиціювання води. Ці забруднювальні речовини накопичуються у сховищі та повинні час від часу видалятися. Оскільки вони не токсичні та не шкідливі для довкілля, їх зазвичай передають на комунальні установки з очищення відпрацьованих вод. Так само значна кількість води використовується, коли використовуються вологі системи для контролю забруднення повітря. Проте, стічні води часто очищаються та рециркулюються всередині системи.

Дощові стоки можуть бути забруднені відкритим зберіганням сировини, такої як брухт, забруднений мастилом, та відкладенням твердих речовин. Типові значення для такого забруднення становлять < 0,03 кг/т алюмінію для завислих твердих часток. Крім того, значну кількість стічних вод може бути скинуто в результаті використання мокрих систем для контролю забруднення повітря. Стічні води від промивання стружки також рециркулюються усередині заводу.

Основними джерелами стічних вод у виробництві вторинного алюмінію є:

- поверхнева вода;
- вода від промивання стружки (зазвичай повністю повторно використовується);
- стічні води від газоочищення;
- охолоджувальна вода з процесу лиття (0,15–0,3 $м^3$/т Al).

4.2.4.3 Технологічні залишки

Типові залишки виробництва вторинного алюмінію показані у Таблиці 4.25.

Таблиця 4.25: Типові залишки виробництва вторинного алюмінію

Залишки	Походження	Обсяг	Обробка	Стимул
Сольовий шлак	Плавлення в обертовій печі	До 500 кг/т Al	Відновлення за допомогою технологій розчинення та кристалізації. Виробництво речовин багаторазового використання: Al металевий гранулят, змішана сіль, неметалеві оксидні продукти	Сіль не використовується у всіх печах. Заборона на захоронення
Пил із фільтра	Очищення вихлопних газів	До 35 кг/т Al 0,1 - 10 кг/т Al ([1])	Утилізація з попередньою обробкою або спрямування на підземний майданчик, частково відновлюється за допомогою сольового шлаку або використовується у сталеливарній промисловості	Заборона на утилізацію на поверхні у деяких країнах, можлива термічна обробка (нейтралізація за допомогою $NaHCO_3$ або Na_2CO_3 → з сольовим шлаком)
Футерівка печі	Піч для плавлення	До 4 кг/т Al	Потенціал для відновлення за допомогою знімання/дросу, в іншому випадку вилуговування та захоронення	Мета запобігти захороненню. Перероблення для виробництва форм
Знімання/ дрос	Очищення плавильних заводів та ливарних цехів	До 80 кг/т Al ([2])	Плавка в обертовій печі. Відновлення, гранули використовуються в обертовій барабанній печі, дросовий пил використовується у відновленні сольового шлаку	Заборона на захоронення
Мастило	Промивання стружки/центрифугування		Уловлювання та розділення	Перероблення мастила

([1]) Неметалеві продукти (оксидні сполуки з брухту Al).
([2]) Використання закритої колодязної печі за умови, що зовнішній брухт не плавиться.
Джерело: [142, Boin, U. et al. 1998], [234, UBA (D) 2007], [256, Winter 2007].

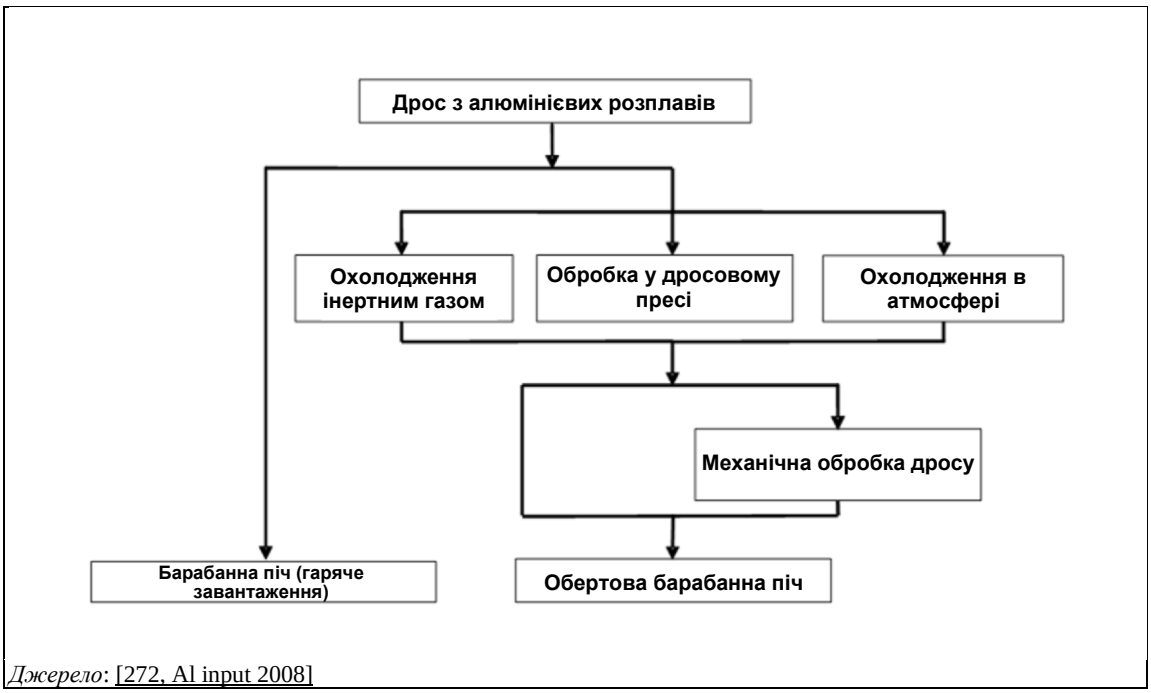
Знімання/дрос

Знімання/дрос від процесів витримки та обробки становлять 15–30 кг на тонну виробленого алюмінію та містять значну кількість алюмінію, близько 20–80 %.

Знімання/дрос використовується як сировина у деяких частинах виробництва вторинного алюмінію. Іноді гарячі знімання/дрос завантажуються безпосередньо в печі для отримання металевого алюмінію. Зазвичай їх охолоджують і попередньо обробляють одразу після вилучення з печі, щоб зменшити викиди та запобігти подальшому окисненню присутнього металу, а також відокремити алюміній від оксиду алюмінію. Методи передбачають охолодження інертним газом, гаряче пресування для видалення розплавленого алюмінію та охолодження у спеціальних холодильниках [312, VDI 2008].

Під час зберігання знімання/дрос можуть вступати в реакцію з вологою (з повітря) з утворенням аміаку та інших газів.

Холодні знімання/дрос додатково обробляються за допомогою низки процесів для вилучення алюмінію. Обертові або нахильні обертові печі [256, Winter 2007] використовуються для вилучення алюмінію зі знімання/дросу й отриманої з нього металевої фракції. Для полегшення цього процесу зазвичай використовується сольовий флюс, оскільки він зменшує окиснення та сприяє видаленню деяких домішок (наприклад, Mg, Ca, Li). Сольовий шлак утворюється і переробляється у процесах відновлення сольового шлаку. Іншим способом додаткової обробки є використання технологій розділення, таких як помел та обробка, наприклад, повітряне розділення для відокремлення оксиду від металу. За допомогою технологій розділення метал можна переплавити у відповідних печах, а дрібну фракцію можна піддати подальшій обробці, наприклад, переробити в сталеливарній промисловості або у процесі відновлення сольового шлаку. Повідомлялося, що остаточне утворення сольового шлаку та відходів знижується, а споживання енергії нижче через меншу кількість інертного матеріалу в печі. Процеси відновлення знімання/шлаку показані на Рисунку 4.10.



Джерело: [272, Al input 2008]

Рисунок 4.10: Процес відновлення знімання/дросу

Цифри, що стосуються викидів від обробки знімання/дросу, показано в Таблиці 4.26.

Таблиця 4.26: Викиди від обробки знімання/дросу

Викиди	Діапазон значень
Пил (мг/нм^3)	1–5
Пил (кг/т) ([1])	300-700
Споживання енергії (МДж/т)	300–800
([1]) Кількість пилу залежить від вмісту металу у вихідному зніманні/дросі. *Джерело:* [272, Al input 2008]	

Відпрацьований фільтр та пил з фільтра

Відпрацьовані фільтри після обробки металу зазвичай утилізуються. У деяких випадках коли гідрокарбонат натрію використовується для очищення газів, тверді залишки можуть бути відновлені за допомогою сольового покриття [2, McLellan et al. 1993], [32, Mantle et al. 1998], [142, Boin, U. et al. 1998], [312, VDI 2008]

У якості альтернативи пил з фільтра може бути підданий термічній обробці для знищення ПХДД/Ф. Типовий склад пилу з фільтра у виробництві вторинного алюмінію показаний у Таблиці 4.27.

Таблиця 4.27: Типовий склад пилу з фільтра у виробництві вторинного алюмінію

Зміст	Стандартне значення (%)	Діапазон (%)
CaO	25	0-50
Al_2O_3	15	6-25
NaCl, KCl	35	20–50
Вуглець	6	1–6
Метали ([1])	-	0,01-10
металевий Al	3	2–7
ПХДД/Ф у МТЕ	5 мкг/кг	3-10 мкг/кг
([1]) Zn, Pb, Cu, Mn, V, Cr, Ni, Sn, (та сліди: Co, As, Tl, Be, Sb). *Джерело:* [142, Boin, U. et al. 1998].		

Футерівка печі

Футерування печі та пил можуть бути відновлені в процесах обробки сольового шлаку або утилізовані.

Сольовий шлак

Коли використаний сольовий флюс випускають із печі (на цьому етапі він називається сольовим шлаком), він містить велику кількість оксиду алюмінію, який флюс відокремив від сировини. Від загальної маси сольового шлаку 4–10 % припадає на металевий алюміній. Хлориди натрію та калію можуть бути відновлені для подальшого використання за допомогою процесів розділення та кристалізації. На більшості заводів із перероблення сольового шлаку частина оксиду після етапу промивання продається у виробництво цементу або мінеральної вати.

І пил з фільтра, і сольовий шлак переробляються, а це означає, що всі тверді відходи, що утворюються під час виробництва вторинного алюмінію, можуть бути відновлені без необхідності захоронення.

4.2.4.4 Споживання енергії

Багато факторів впливають на потребу енергії для обробки брухту для виробництва продуктів вторинного алюмінію. Конструкція та ефективність печі впливають на споживання енергії, як і у всіх аналогічних промислових процесах. Для виробництва вторинного алюмінію є кілька специфічних факторів, які обговорюються нижче.

Якість брухту значною мірою визначає вибір печі, а також споживання енергії. Загалом забруднений брухт вимагає додавання солі, яку необхідно розплавити разом з брухтом, що призводить до вищого питомого споживання енергії, ніж для менш забрудненого брухту. Плавлення солі вимагає приблизно такої ж кількості енергії, як і для плавлення металу, тобто кожні 100 кг солі, що використовується, збільшують споживання енергії на 10 % на тонну продукту.

Деякий забруднений брухт, такий як стружка, необхідно попередньо обробити перед плавленням. У середньому промивання та сушіння стружки споживають таку ж кількість енергії, як і процес плавлення та обробки розплавленого металу. Брикетування, особливо дрібної стружки, також допоможе зменшити втрати металу під час його подальшого плавлення.

Вторинні ливарні сплави можуть випускатися у формі виливків і рідин (транспортуються в тиглях). Додаткова енергія, необхідна для нагрівання рідини до вищої температури та нагрівання тигля, становить 20-30 %. Перевага доставлення такого рідкого металу, крім задоволення потреб ливарного виробництва у послугах «точно у строк», полягає в тому, що в ливарному цеху не потрібне переплавлення, що знижує загальне споживання енергії кінцевих продуктів лиття.
Вторинні деформовані сплави можуть випускатися у вигляді слябів і брусків. У багатьох випадках процес гомогенізації необхідно проводити на заводі з виробництва вторинного металу до завершення виробництва. Споживання енергії у цьому процесі перебуває у діапазоні 1-1,6 ГДж на тонну алюмінію залежно від сплавів, необхідних клієнтам.

Таким чином, питоме споживання енергії на продукцію вторинного алюмінію варіюється від 2 ГДж/т до 9 ГДж/т. Хоча перероблення брухту нижчої якості зазвичай вимагає більше енергії, виробництво вторинного алюмінію споживає лише 5 % енергії, необхідної для виробництва первинного алюмінію.

4.2.4.5 Огляд масового потоку та дані про вхідний/вихідний потік

Діапазон типових заводських, технологічних параметрів та параметрів викидів (неочищений газ) заводів з виплавки алюмінію показаний у Таблиці 4.28.

Таблиця 4.28: Діапазон типових заводських, технологічних параметрів та параметрів викидів (неочищений газ) заводів з виплавки алюмінію

Параметр ([1])	**Одиниці вимірювання**	**Обертова барабанна піч**	**Обертова піч, що нахиляється**	**Піч із закритим колодязем або подова піч**			**Шахтна піч**	**Тигельна піч**	**Канальна індукційна піч**
				Однокамерна		Багатокамерна, подова піч з плавильним перевалом			
Бажане застосування		Виробництво вторинного алюмінію	Виробництво вторинного алюмінію	Виробництво вторинного алюмінію, ливарні заводи		Виробництво вторинного алюмінію	Цех лиття у форму	Цех лиття у форму	Виробництво вторинного алюмінію
Мета		Плавлення	Плавлення	Плавлення	Витримка, лиття	Плавлення	Плавлення, витримка	Плавлення, витримка	Плавлення, витримка
Бажана сировина		Новий брухт (тонкостінний, маленькими шматками), старий брухт, дрос	Старий брухт, дрос	Виливки, новий/старий брухт	Розплавлений метал	Тонкостінний новий/старий брухт (пофарбований/покритий)	Виливки, новий брухт (перероблений матеріал)	Виливки, новий брухт	Виливки, новий/старий брухт
Бажана обробка розплаву		Сольове покриття	Зменшене сольове покриття у порівнянні з обертовим барабаном	Без сольового покриття, хлорування		Без сольового покриття	Без сольового покриття	Без сольового покриття	Без сольового покриття, хлорування
Потужність	т	До 150	До 30	До 180		До 180	0,5–4 (можливо, до 15)	0,1–0,6 ([b]), 0,5–6 ([c]), 0,1–1,2 ([a])	Приблизно 50
Ефективність плавлення	т сировини/год	До 20	До 7	До 30	НД	3-28	До 2,5 (зазвичай 1,5)	0,075–0,26 ([b]), 0,25–3 ([c]), 0,1–0,43 ([a])	Приблизно 7 (ефективність плавлення)
Бажане паливо		Природний газ, ЗВГ, легке паливо нафта, середній/важкий мазут	Природний газ, ЗВГ, надлегкий мазут	Природний газ, ЗВГ, надлегкий мазут		Природний газ, ЗВГ, надлегкий мазут	Природний газ, ЗВГ, надлегкий мазут	Природний газ, ЗВГ, надлегкий мазут або з електричним нагрівом	З електричним нагрівом
Споживання енергії ([5])	ГДж/т металу	2-4,7	2-2,5	2,5-4,4	Немає даних	2,4-4,3	2,1-3,3 (в залежності від режиму роботи)	5,1–7,4 (П), ([a]), 1,7–3,5 (В), ([a]), 2,7/1,9–2,1 (П), ([b])/([c]), 0,4/0,9–1,2 (В), ([b])/([c])	Приблизно 3,6 (П/В)
Діапазон відпрацьованого газу ([5])	$м^3$/т металу	9000-18 000	9000-13 000	5000-13 000	Немає даних	10 000–15 000	2000–4000	2000–4000 (П), ([a])	Макс. 14 500
Утворення пилу		+++	+++	++	+	++	НЗ	НЗ	+
Оксиди азоту ([3])		+ (за умови оптимізації умов горіння) або ++ (для печей, що нагріваються паливом/киснем)						НЗ	НЗ
Діоксиди сірки ([3])		НЗ							

Параметр ([1])	**Одиниці вимірювання**	**Обертова барабанна піч**	**Обертова піч, що нахиляється**	**Піч із закритим колодязем або подова піч**			**Шахтна піч**	**Тигельна піч**	**Канальна індукційна піч**
				Однокамерна		Багатокамерна, подова піч з плавильним перевалом			
Хлор ([4])		++ (хлорування)							
Хлороводень ([4])		+++	++	+, ++ (хлорування)	+, ++ (хлорування)	++	НЗ	++ (хлорування)	++ (хлорування)
Фтороводень		+++	++	+	+	+	НЗ	++	+
Загальний органічний вуглець ([5])		++	++	+	+	+	НЗ	НЗ	НЗ
ПХДД/Ф *([2])*		+++	++	++	НЗ	+	НЗ	НЗ	НЗ

([1]) Значущість технологічних викидів: +++ високі, ++ помірні, + низькі, НЗ = не застосовується (наприклад, через дуже низьку швидкість плавлення).
([2]) У першу чергу залежить від типу і складу сировини.
([3]) У першу чергу залежить від спалювання (вибір палива, контроль полум'я).
([4]) У першу чергу залежить від типу та ступеня обробки розплаву, *у тому числі* залежить від таких змінних, як вихід металу, підігрів повітря, використання потужності заводу.
([5]) Завод в цілому (сума енергетичних потреб для обробки, виплавки та витримки, в тому чилі допоміжна енергія).
(П) Для плавильної печі.
(В) Для печі витримки.
([a]) Тигельні печі з паливним нагрівом.
([b]) Тигельні печі опору.
([c]) Індукційні тигельні печі.
Примітка: НЗ = не застосовується, НД = немає даних.
Джерело: [312, VDI 2008], [296, EAA, OEA 2012]

4.2.5 Сольовий шлак

Алюмінієвий сольовий шлак (також іменований алюмінієвим соляним згустком або чорним дросом) є небезпечними відходами та зазвичай [361, Spain 2013]не є придатним для утилізації Оскільки вони виділяють шкідливі гази у вологому стані, їх слід зберігати під навісом та на бетонних підлогах, щоб вони не потрапили у дренажну систему.

Приклад вхідного та вихідного масового потоку у процесі відновлення сольового шлаку показаний на Рисунку 4.11, а у Таблиці 4.29 наданий типовий склад вихідного потоку з різних процесів відновлення сольового шлаку.

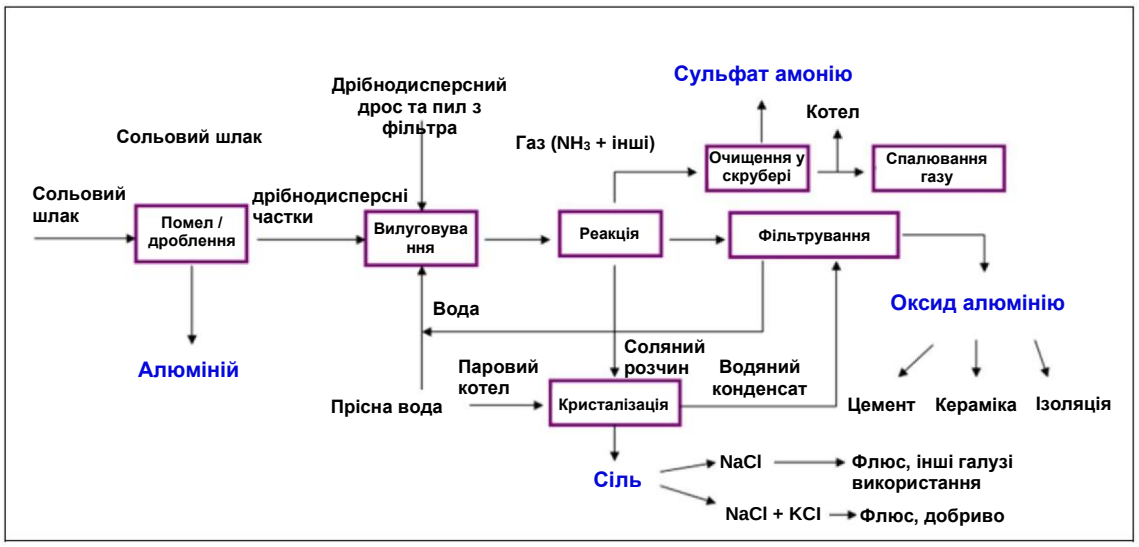


Рисунок 4.11: Повний процес перероблення масового потоку сольового шлаку

Таблиця 4.29: Типові результаті процесу відновлення сольового шлаку

Процес	Проміжний продукт або залишок	Кількість (т/т сольового шлаку)	Варіант використання або утилізації
Повне перероблення	Алюмінієвий гранульований матеріал	0,04-0,1	Продаж або внутрішнє використання на плавильній установці для вторинного Al
	Сіль (NaCl/KCl)	0,2-0,55	Продаж або внутрішнє використання на плавильній установці для вторинного Al
	Оксиди алюмінію	0,46-0,68 (1)	Продаж на виробництво цегли, кераміки, глини, цементу та мінеральної вати
	Сульфат амонію	0,08	Продаж для виробництва добрива
Часткове перероблення	Алюмінієвий гранульований матеріал	0,08	Продаж на плавильній установці для вторинного Al
	Сіль (95 % KCl)	0,09	Продаж для виробництва добрива
	Залишок вилуговування (в тому числі 20 % вологи, оксиди алюмінію, NaCl)	0,97	Покривний шар для відвалів хвостів; утилізація на звалище в або на землі або постійне зберігання
	Сульфат амонію	0,03	Продаж для виробництва добрива
	Розчин фосфату (обробка відпрацьованих газів)	0,07 $с^3$/т сольового шлаку	Продаж для виробництва добрива

(1) Вологий продукт.
Джерело: [234, UBA (D) 2007], [296, EAA, OEA 2012]

4.2.5.1 Пил та інші викиди у повітря

На всіх мокрих етапах процесу утворюються гази, переважно водень та метан, а також невеликі кількості аміаку, фосфіну та сірководню. Всі ці технологічні викиди уловлюються та очищаються, а аміак відокремлюється для виробництва сульфату амонію (розчин або сіль) для продажу. Також можна використовувати деякі з цих газів у якості палива для вироблення тепла для інших частин процесу [113, ALFED 1998]. На деяких заводах всі етапи подрібнення здійснюються в сухих умовах, тому на цьому етапі немає викидів газів, крім пилу, що вловлюється у рукавному фільтрі. Також дуже значними можуть бути дифузні викиди пилу під час дроблення сольового шлаку, і дробильні установки повинні бути герметизовані, щоб уникнути просочування пилу назовні. На інших, на кінцевому етапі, використовується вода, і в цьому випадку використовується фільтр з активованим вугіллям для зниження потенційних викидів фосфіну та сірководню [267, BEFESA 2008].

Пил утворюється у різних секціях заводу, особливо на всіх етапах сухого дроблення та подрібнення. Дифузні викиди пилу від дроблення сольового шлаку можуть бути значними. Дробильні установки повинні бути герметизовані, щоб уникнути просочування пилу. Усі відхідні гази очищаються в рукавному фільтрі, а відокремлений пил направляється безпосередньо в апарати для розчинення.

У Таблиці 4.30 показані типові уловлені викиди повітря та пилу від заводів з перероблення сольового шлаку (за винятком вихлопних газів котлів, якщо вони встановлені).

Таблиця 4.30: Уловлені викиди повітря та пилу від заводів з перероблення сольового шлаку

Джерело	Контроль відходів	Пил	Аміак	Фосфін	Сірководень
		($мг/нм^3$)	($мг/нм^3$)	($мг/нм^3$)	($мг/нм^3$)
		Мін. – макс.	Мін. – макс.	Мін. – макс.	Мін. – макс.
Сухий помел, дроблення, подрібнення, завантаження	Рукавний фільтр	< 1–5	-	-	
Мокрий помел	Фільтр з активованим вугіллям	-	-	< 0,1	< 0,1
Гаряче вилуговування	Допалювач з рукавним фільтром або без нього	1–9	1–9	< 1	< 1-1,7
Обробка аміаку, зберігання	Мокрий (H_2SO_4) скрубер	5-7	1–9	< 1	< 1
Джерело: [296, EAA, OEA 2012]					

4.2.5.2 Вода та тверді відходи

У разі повного перероблення процес відбувається без стічних вод. Промивна вода і конденсати проміжних етапів процесу зазвичай повертаються в апарати для розчинення для заміни води, що випаровується в процесі та втрачається у вигляді вологих оксидів як вихідний продукт процесу. Стічні води утворюються у процесі часткового перероблення.

У процесі повного перероблення єдиними твердими відходами є активоване вугілля, коли воно використовується у процесі мокрого помелу.

У деяких процесах часткового перероблення залишки вилуговування використовуються для покриття відвалів хвостів або відправляються на зберігання на землі [361, Spain 2013]. Сіль вилуговується з хвостів.

4.2.5.3 Використання енергії

Споживання енергії, як палива, так і електроенергії, для процесу повного перероблення становить від 1900 МДж до 3845 МДж на тонну обробленого сольового шлаку.

Один процес часткового перероблення має середнє загальне споживання енергії 81 МДж на тонну обробленого сольового шлаку. Часткове перероблення споживає відносно невелику кількість енергії, оскільки в процесі відновлюється лише одна речовина замість усіх трьох продуктів у сольовому шлаку.

Коли відновлюється тільки алюміній та інші металеві продукти, енергетичні витрати можна оцінити як 0,120 г CO_2 на кг обробленого сольового шлаку.

4.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ

У розділах цього документа під назвою «Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ» викладено технології, які зазвичай мають потенціал для досягнення високого рівня захисту довкілля в галузях, що охоплюються цим документом. Передумови способу опису технологій надано у Розділі 2.12 та Таблиці 2.10.

У цьому розділі наведено ряд технологій запобігання або зменшення викидів та залишків, а також технологій зниження загального споживання енергії. Усі вони представлені на ринку. Приклади наведено для демонстрації технологій, що демонструють хороші екологічні показники. Технології, наведені у якості прикладів, ґрунтуються на інформації, наданій галуззю, країнами-членами ЄС, а також на оцінці Європейським бюро з комплексного запобігання та контролю забруднення. Загальні технології, описані у Главі 2 стосовно загальних технологічних процесів, значною мірою застосовні до процесів у цьому секторі та впливають на те, як контролюються та керуються основні та супутні процеси.

4.3.1 Глинозем

4.3.1.1 Технології зниження викидів пилу під час зберігання, поводження та транспортування бокситів та глинозему

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від зберігання, поводження та транспортування сировини для виробництва глинозему, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006]

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1);
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Пил, що утворюється у ході деяких операцій з помелу та розділення, а також під час пакування та транспортування, може бути уловлений та видалений. Рукавні фільтри (див. Розділ 2.12.5.1.4) зазвичай використовуються для операцій, що відбуваються за температури довкілля. На цьому етапі рукавні фільтри можуть забезпечити більшу ефективність видалення пилу, ніж електростатичні фільтри.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів у повітря.
- Відновлення матеріалів.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Повідомлялося про викиди пилу від 10 мг/Нм^3 до 70 мг/Нм^3.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Використання рукавних фільтрів обмежено температурою та вологістю газу.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів пилу.

- Відновлення матеріалу для вторинного використання.

Приклади заводів
Заводи у Греції, Франції, Іспанії, Німеччині, Румунії та Ірландії.

Довідкова література
[290, COM 2006]

4.3.1.2 Технології зниження викидів із сушильних печей, котлів та печей кальцинації у виробництві глинозему.

Хоча сушіння бокситу проводиться рідко, але за необхідності воно виконується на об'єкті гірничодобувної промисловості й тому виходить за рамки цього документа. Котли потужністю понад 50 МВт теплової енергії розглядаються в ДДНДТ щодо великих спалювальних установок і не розглядаються у цьому документі. Розглядаються лише технології зниження викидів із печей кальцинації.

Опис
Технології, які слід розглянути:
- Електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1) або рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- вибір палива з низьким вмістом сірки або природного газу, де це можливо;
- пальники з низьким рівнем виходу NO_X.

Технічний опис
Яка б технологія кальцинації не використовувалася, дрібний глиноземний пил зазвичай вловлюється електростатичним фільтром, хоча деякі печі тепер можуть використовувати рукавні фільтри в залежності від температури вихлопних газів.

Викиди SO_2 безпосередньо пов'язані з вмістом сірки у паливі, що використовується. Природний газ зазвичай призводить до досить низьких викидів SO_2 через низький вміст сірки. Проте, необхідно враховувати, що вміст сірки в природному газі хоч і низький, але може значно варіюватись в залежності від того, де він видобувається і розподіляється.

NO_X також утворюється у процесі горіння. NO_X сильно залежить від типу використовуваного палива, конструкції пальника, камери згорання і температури. Вищі рівні NO_X спостерігалися у виробництві глиноземів спеціального призначення, що вимагають вищих експлуатаційних температур.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у повітря.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії.
- Утворення відходів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Значення викидів від заводів з обпалювання глинозему наведено в Таблиці 4.31.

Таблиця 4.31: Викиди від заводів з обпалювання глинозему

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Значення	Потік	Метод отримання даних та періодичність моніторингу	Пил		NO_X	
			$Нм^3$/год		мг/$нм^3$	кг/т	мг/$нм^3$	кг/т
E (використо-вуване паливо - бункерне паливо)	Електро-статичний фільтр	Мін.	151 384	Періодичний моніторинг	10,00	0,01	123,00	0,14
		Макс.	245 288		145,00	0,19	236,00	0,20
		У середньому	219 133		68,00	0,10	157,00	0,18
B	Електро-статичний фільтр	Мін.	НЗ	НЗ	7,00	0,0006	186,55	0,03
		Макс.	300 000		76,00	0,01	1 519,05	0,30
		У середньому	НЗ		23,00	0,002	536,25	0,09
D	Рукавний фільтр	Мін.	106 900 (розрахова но)	Безперервний моніторинг (середньомісячне значення)	19,09	0,07	23,661	0,10
		Макс.			29,97		44,85	
		У середньому			23,23		35,75	
D	Рукавний фільтр	Мін.	92 608 (розрахова но)	Безперервний моніторинг (середньорічне значення)	10,53	0,05	0	0,33
		Макс.			29,97		272,6	
		У середньому			22,89		118,83	

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Інший завод (завод A) також надав дані про пил, отримані в результаті безперервних вимірювань на трьох його кальцинаторах. Дані заводу A не показані, оскільки до них входять дані, що стосуються пуску та зупинки кальцинаторів (тобто з урахуванням умов, відмінних від нормальних умов експлуатації).

Що стосується пилу, то тип палива, а також продукт, що виробляється, можуть істотно вплинути на ефективність боротьби з викидами.

Верхнє значення діапазону NO_X спостерігаються в процесах кальцинації, включно з виробництвом глиноземів спеціального призначення, де потрібні вищі рівні кальцинації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Використання чистих видів палива та високопотужних пальників разом з технологіями електростатичного фільтра є поширеними технологіями для кальцинаторів. Проте, конфігурації залежать від конструкції, на яку також впливає продукт, що виробляється (глинозем плавильних сортів, глиноземи спеціального призначення тощо).

Використання рукавних фільтрів обмежено температурою та вологістю вихлопних газів.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення впливу на довкілля.

Приклади заводів
Заводи в Іспанії, Франції, Німеччині, Греції, Ірландії та Румунії.

Довідкова література
[386, EAA 2012]

4.3.1.3 Технології запобігання та мінімізації залишків бокситів у виробництві глинозему

Утворення відходів, пов'язане з вилученням глинозему з бокситів, є основною екологічною проблемою; тому необхідно розглянути технології, що використовуються для запобігання та мінімізації залишків бокситів у виробництві глинозему. Наступні технології узгоджуються та доповнюють технології щодо утворення залишків бокситу та поводження з ними, викладені в ДДНДТ з Поводження з відходами та порожніми породами гірничодобувної промисловості.

Опис
Технології, які слід розглянути:
- ущільнення;
- зниження/нейтралізація лужності, що залишається у залишку бокситу.

Технічний опис
Загальновизнано, що найкращий підхід до залишків бокситів полягає у максимальному зниженні pH та/або вмісту вологи. Глиноземні заводи повинні прагнути мінімізувати лужність залишків, що утилізуються, і максимізувати вміст твердих речовин. Це передбачає ретельне проєктування і будівництво загородок греблі/дамби, а також утилізацію матеріалу таким чином, щоб сприяти відновленню/реабілітації/рекультивації/повторному використанню, щоб ділянки, що використовуються для зберігання залишків бокситів, зрештою могли бути повернені у природний стан в або були корисними.

Залишок бокситу можна піддати фільтруванню (за високого або низького тиску) з утворенням напівсухого осаду; за необхідності для зниження лужності перед транспортуванням, зберіганням або використанням можна використовувати воду або пару.

Під час сушіння залишки бокситів можуть призвести до проблем викидів пилу. У середньостроковій/довгостроковій перспективі планується закрити/відновити ділянки та стимулювати вегетативний ріст на поверхні. У короткостроковій перспективі пригнічення пилу полегшується розпилювачами води.

Деякі помітні успіхи були досягнуті у використанні залишків бокситів у будівництві доріг, виробництві цементу, матеріалів покриття та заміні вогнетривів; проте сьогодні використовується лише дуже невелика частина залишків бокситів, що утворюються.

Також можна використовувати лужність залишку бокситів для поглинання CO_2, і це можливо, коли виробництво бокситів відбувається на одному об'єкті або поруч із заводом з виплавки первинного алюмінію, або поруч з іншим важливим джерелом CO_2, наприклад, виробництвом аміаку, як це практикується в Австралії.

Більш детальна інформація міститься в ДДНДТ з Поводження з відходами та порожніми породами гірничодобувної промисловості [332, COM 2009].

Досягнуті екологічні переваги
Мінімізація зберігання залишків бокситів.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Пластинчасті та рамні фільтри були перейняті заводами у Греції та Франції, і за допомогою цих технологій можна отримати залишки бокситів із вмістом твердих часток > 70 %.

Значне зниження вмісту води також може бути досягнуто шляхом «обробки» шламів, і після відповідних обробки та періодів можливий вміст твердих часток понад 50 %.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Такі фактори, як вік та технологія заводу, доступність землі, близькість до моря, наявність місцевих особливостей, таких як старі шахти, клімат, логістика, характер залишків та норми, відіграють роль у тому, які результати можуть бути досягнуті.

Деякі рішення, описані в цьому документі, застосовні в дуже обмежених випадках, оскільки специфічні характеристики кожного заводу і місцевості, в якій він розташований, різні. Наприклад, деякі заводи мають обмеження максимального вмісту твердих часток, оскільки транспортування залишку бокситу до місця утилізації має здійснюватися за допомогою насосних систем.

Використання лужності, що залишається у залишку бокситів
Використання залишків бокситів для поглинання CO_2 все ще знаходиться на стадії розробки, і його застосування з технічної та економічної точки зору все ще знаходиться на стадії вивчення.

Економічні аспекти
Наприклад, на одному об'єкті у Франції, що потребує всього понад 400 000 т/рік зневоднення залишків бокситів, перша інвестиція, що дозволила обробляти 130 000 т/рік через фільтрпрес, коштувала понад 8 мільйонів євро. Для того, щоб досягти повної потужності у найближчому майбутньому, будуть потрібні інвестиції, що перевищують цю цифру більш ніж утричі.

Стимул до впровадження
Зменшення впливу на довкілля.

Приклади заводів
Заводи в Іспанії та Ірландії використовують обертові вакуумні шламові фільтри. Завод у Франції припинить утилізацію в море до 2016 року, а потім використовуватиме фільтрпреси.

Довідкова література
[247, France 2008], [332, COM 2009], [387, EAA 2013].

4.3.1.4 Технології зниження споживання енергії під час виробництва глинозему з бокситів

Опис
Технології, які слід розглянути:
- пластинчасті теплообмінники;
- кальцинатори з псевдозрідженим шаром, що циркулює;
- схема вилуговування;
- вибір бокситів.

Технічний опис
Пластинчасті теплообмінники
Кількість тепла, що рекуперується з лугу, що надходить у зону осадження, збільшується через використання пластинчастих теплообмінників, а не установки швидкого охолодження.

Кальцинатори з псевдозрідженим шаром, що циркулює
Кальцинатори з псевдозрідженим шаром, що циркулює мають набагато більшу енергоефективність, ніж обертові печі, оскільки рекуперація тепла з глинозему і димових газів вище.

Для покращення ефективності використання енергії конструкція обертових печей може бути адаптована шляхом модифікації конструкції пальника або положення в печі, а гарячі відпрацьовані гази можуть використовуватися для підігріву гідрату, що подається. Питоме споживання енергії кальцинатором із псевдозрідженим шаром в Alunorte знижено до 2790 кДж/кг глинозему.

Схема вилуговування

Під час використання одного потоку суспензія нагрівається в одному контурі без використання гострої пари, і, отже, нагрівання до температури вилуговування досягається без розведення пульпи, як це відбувається у двопотоковій схемі вилуговування. Трубчастий вилужник є одним із прикладів доступної технології однопотокової схеми вилуговування.

Вибір бокситів
Якість бокситової руди впливає на споживання енергії. Боксити з вищим вмістом вологи залучають до процесу більше води, яку необхідно випаровувати. Крім того, боксити з високим вмістом моногідрату (беміту та/або діаспори) вимагають вищого тиску і температури в процесі вилуговування, що призводить до вищого споживання енергії. Класифікація бокситів в основному пов'язана з відсотковим вмістом доступного глинозему та типом присутнього глинозему у бокситі (гіббсит, беміт, діаспор).

Гіббсит найлегше вилучати з бокситів, і це можна робити за відносно низької температури (150ºC). Для отримання глинозему, коли вміст беміту перевищує 4 %, рафінувальний завод повинен підвищити температуру до 250ºC, щоб розчинити беміт у каустичному розчині (високотемпературний рафінувальний завод або рафінувальний завод високого тиску). Діаспор вимагає ще вищої температури вилуговування. Деякі бокситові руди, що містять як беміт, так і гіббсит, можуть бути оброблені за допомогою двопотокової схеми вилуговування, яка не вимагає повного вилуговування за високої температури для розчинення невеликої кількості беміту, що міститься в ній.

Боксити з вищим вмістом глинозему мінімізують енергію, що витрачається на транспортування та обробку, та утворюють менше залишків бокситів.

Високий вміст діоксиду кремнію в бокситі призводить до більших втрат каустичної соди через реакцію діоксиду кремнію, що призводить до утворення алюмосилікату натрію (содаліту) і втрат натрію та алюмінію, що викликає розведення лугу. Це знижує енергоефективність.

Досягнуті екологічні переваги
- Зниження споживання енергії під час вилуговування.
- Зниження основних викидів у всі компоненти довкілля.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Шляхом оптимізації процесу питоме споживання енергії може бути знижено до рівня нижче 7,0 ГДж/т Al_2O_3 під час використання трубчастих вилужників.

Для інших заводів із традиційним вилуговуванням споживання енергії для технології може бути знижено до менше ніж 10 ГДж/т Al_2O_3.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Пластинчасті теплообмінники
Ця технологія може бути доцільною, коли енергія охолоджувальної рідини може бути повторно використана в процесі, якщо це дозволяють баланс конденсату і стан лугу.

Кальцинатори з псевдозрідженим шаром, що циркулює
Не застосовується до глинозему спеціального призначення/неплавильних сортів, оскільки необхідні вищі рівні кальцинації можуть бути досягнуті тільки в обертовій печі. Недавнє дослідження [388, Finland 2013] вказує на те, що кальцинатори з псевдозрідженим шаром, що циркулює, можуть генерувати рівні розбивання часток, що лише трохи перевищують еталонний показник розбивання часток в обертових печах.

Конструкцію обертових печей можна адаптувати, модифікувавши конструкцію пальника або положення в печі, а також використовуючи гарячі відпрацьовані гази для підігріву гідрату, що подається.

Схема вилуговування
Заводи з двопотоковою схемою вилуговування з введенням пари не можна перевести на однопотокову схему вилуговування без повної модернізації та реконструкції заводу; у багатьох випадках буде не вистачати землі.

Вибір бокситів
Деякі заводи розраховані на боксити певної якості, що обмежує використання альтернативних джерел. Це стосується заводів, призначених для роботи за високих температур і тисків і які за своєю природою менш енергоефективні (наприклад, заводи, що використовують високий вміст беміту та загальний доступний вміст глинозему).

Економічні аспекти
Кальцинатори з псевдозрідженим шаром, що циркулює
За оцінками, зниження споживання палива на 30-35 % досягається шляхом переходу від звичайних обертових печей до кальцинаторів з псевдозрідженим шаром. За оцінками, ця цифра вдвічі менша, якщо для обертових печей прийнята оптимальна конструкція пальника, розташування пальника і системи підігріву гідрату.

Схема вилуговування
Використання трубчастих вилужників на практиці неможливо розглядати для наявних заводів як з міркувань вартості, так і з міркувань простору. Слід також зазначити, що встановлення трубчастих вилужників на деяких заводах викликало проблему накипу, що зводить нанівець значну частку заощаджень. Згідно з інформацією, наданою ТРГ, у світі його використовують лише два заводи (один з яких знаходиться у Німеччині).

Стимул до впровадження
- Зменшення витрат на енергію.
- Зменшення впливу на довкілля.

Приклади заводів
- Кальцинатори із псевдозрідженим шаром: заводи в Іспанії та Ірландії.
- Обертові печі: заводи у Франції та Греції.
- Стаціонарні кальцинатори: заводи у Греції та Румунії.
- Трубчасті вилужники: завод у Німеччині.
- Заводи з виробництва глинозему спеціального призначення: Заводи у Франції та Угорщині.

Довідкова література
[386, EAA 2012], [389, EAA 2012]

4.3.2 Аноди для виробництва алюмінію

4.3.2.1 Технології зниження викидів під час зберігання, поводження та транспортування первинної та вторинної сировини

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від зберігання, поводження та транспортування первинної сировини для виробництва анодів, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006]. Технології, пов'язані зі зберіганням та поводженням з коксом та пеком, залежать від сектора.

Опис
Технології, які слід розглянути:

- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4) або циклон із подальшим використанням електростатичного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.1);
- сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3), РТО або КТО (див. Розділ 2.12.5.2.1).

Технічний опис

Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4) або циклон із подальшим використанням електростатичного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.1)

Системи знепилення застосовуються під час зберіганні та поводження з коксом, операцій дроблення, подрібнення та розділення. Рукавні фільтри є найчастіше застосовуваною технологією і забезпечують вищу ефективність видалення пилу, ніж електростатичні фільтри.

Сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3), РТО або КТО (див. Розділ 2.12.5.2.1)

Ці технології застосовують у деяких випадках для боротьби з викидами від зберігання гарячого пеку. Також застосовується деаерація витіснених газів. У випадку використання сухих скруберів очищувальним агентом зазвичай є коксовий порошок.

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення викидів пилу.
- Відновлення сировини.
- Зменшення викидів ЛОС.

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення енергоспоживання.
- Підвищення рівня шуму.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

У Таблиці 4.32, наданій ЄАА, показано діапазони значень продуктивності для вибраних технологій.

Таблиця 4.32: Діапазон викидів пилу під час поводження, зберігання та транспортування сировини

Джерело	Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон концентрації у димових трубах (мг/нм^3)
Зберігання та поводження з матеріалом. Кокс та перероблений вуглецевий матеріал	Циклон + електростатичний фільтр	Пил	20–60
	Рукавний (тканинний) фільтр	Пил	5–20
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]			

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Використання рукавних фільтрів є загальнозастосовним методом.

Економічні аспекти

Інформацію не надано.

Стимул до впровадження

Зниження впливу заводу на довкілля.

Приклади заводів

- Рукавний фільтр або електростатичний фільтр: всі європейські заводи застосовують рукавні фільтри або електростатичні фільтри.
- Сухий коксовий скрубер: завод в Іспанії.
- РТО або КТО: заводи в Норвегії та Іспанії.

Довідкова література

[296, EAA, OEA 2012]

4.3.2.2 Технології зниження викидів пилу та ПАВ на етапах подрібнення, змішування та формування

Опис
Технології, які слід розглянути:
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- конденсатори;
- сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3) з подальшим застосуванням рукавного фільтра;
- РТО або КТО (див. Розділ 2.12.5.2.1).

Технічний опис
Тільки в деяких випадках методи усунення забруднення довкілля, що застосовуються на цьому етапі процесу, також отримують гази із зони зберігання, оскільки зазвичай операції подрібнення, змішування та формування відбуваються в частинах заводу, відокремлених від зон зберігання, обробки та транспортування.

Сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3) і рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4)
Пил, що виділяється коксом та продуктами перероблення під час подрібнення та підігріву, може бути уловлений та відфільтрований рукавними фільтрами. ПАВ, що виділяються з пеку під час змішування та формування, можна конденсувати та/або адсорбувати на дрібних частках коксу, а потім фільтрувати рукавними фільтрами. Конденсація може бути досягнута шляхом зовнішнього та/або внутрішнього охолодження повітряними та/або водяними системами у колоні-кондиціонері Завантажений пил потім повторно використовується в процесі змішування, коли це можливо, залежно від якості, необхідної для виробництва пасти.

Якщо твердий пек все ще використовується, пара від переплавлення оброблятиметься так само як пара пеку з етапів змішування.

РТО або КТО (див. Розділ 2.12.5.2.1)
Пил і ПАВ, що виділяються у процесі змішування та формування, можна спалювати в РТО або КТО, а частину тепла, що виділяється, можна використовувати в процесі та сприяти підтримці температури на етапах зберігання і змішування.

Досягнуті екологічні переваги
Сухий скрубер та рукавний фільтр
- Зменшення викидів пилу та ПАВ.
- Повторне використання вловленого пилу.

РТО або КТО
- Зменшення викидів пилу та ПАВ.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавний фільтр та РТО

Таблиця 4.33: Викиди від видалення коксового пилу

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Значення	Потік	Метод отримання даних та періодичність моніторингу	Пил	
			Нм³/год		мг/нм³	кг/т анодів
1	РТО	Мін.	55 559	Періодичний моніторинг (звітний рік — 2010)	0,06	8,8E–05
		Макс.	72 577		0,25	3,82E–04
		У середньому	67 359		0,16	3,23E–04
1	РТО	Мін.	55 559	Періодичний моніторинг (звітні роки — 2008–2010)	0,01	1,7E–05
		Макс.	72 577		0,44	5,88E–04
		У середньому	67 359		0,15	3,05E–04
						НЗ
2	Рукавний фільтр	Мін.	3 000	Періодичний моніторинг (звітний рік — 2010)	0,80	НЗ
		Макс.	35 000		10	
		У середньому	18 000		3	
3	Рукавний фільтр	У середньому	13 212	Періодичний моніторинг (один раз на рік; звітні роки — 2007—2010)	5,65	0,01
4	Рукавний фільтр	Мін.	3924	Періодичний моніторинг (12 разів на рік; звітний рік — 2011)	0,30	НЗ
		Макс.	35 532		15,07	
		У середньому	25 200		3,05	
5	Рукавний фільтр	Мін.	НЗ	Періодичний моніторинг	2	НЗ
		У середньому			16,70	
6	Рукавний фільтр	Мін.	24 840	Періодичні вимірювання	6,60	НЗ
		Макс.	27 000		20,50	
		У середньому	25 830		10,70	
7	Рукавний фільтр	Мін.	2892	Періодичний моніторинг (10 разів на рік; звітний рік — 2010)	0,15	5,8E–05
		Макс.	4665		НЗ	0,037
		У середньому	3726		20,04	0,008
		Мін.	17 997		1,13	0,003
		Макс.	22 943		3,35	0,008
		У середньому	21 398		2,11	0,005
		Мін.	3373		0,98	4,15E–04
		Макс.	4799		17,75	0,008
		У середньому	4024		5,61	0,002

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Сухий скрубер та рукавний фільтр
Європейські заводи зазвичай використовують скрубери змішувально-пресових відділень із пропускною здатністю від 25 000 Нм³/год до 100 000 Нм³/год, з яких приблизно 10 000 Нм³/год може припадати на етапи змішування гарячого пеку.

Таблиця 4.34: Викиди від процесів очищення пеку

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Значення	Потік	Метод отримання даних та періодичність моніторингу	Пил	
			$Нм^3$/год		мг/$нм^3$	кг/т анодів
2	Сухий коксовий скрубер + рукавний фільтр	Мін.	5 000	Періодичний моніторинг	0,20	НЗ
		Макс.	35 000		17,00 *	
		У середньому	18 000		3,00	
4	Сухий коксовий скрубер + рукавний фільтр	Мін.	10 476	Періодичний моніторинг (звітний рік — 2011)	1,33	НЗ
		Макс.	14 040		10,93	
		У середньому	12 064		4,23	
5	Сухий коксовий скрубер + рукавний фільтр	Мін.	НЗ	Періодичний моніторинг	0,30	НЗ
		Макс.			4,80	
		У середньому			2,00	
6	Сухий коксовий скрубер + рукавний фільтр	Мін.	6120	Періодичний моніторинг (4 рази на рік)	0,20	НЗ
		Макс.	7200		1,90	
		У середньому	6480		0,80	
7	РТО	Мін.	9348	Періодичний моніторинг (12 разів на рік; звітний рік — 2010)	0	0
		Макс.	12 900		4,11	0,005
		У середньому	11 770		0,98	0,001
8	Сухий коксовий скрубер + рукавний фільтр	Мін.	20 985	Періодичний моніторинг (12 разів на рік; звітний рік — 2010)	4,10	0,006
		Макс.	27 421		НЗ	НЗ
		У середньому	23 891		11,93	0,015
DE 1	Сухий коксовий скрубер + рукавний фільтр	Макс.	НЗ	Безперервний моніторинг (звітний рік — 2008; 17 293 середніх значень за пів години)	79,69 % значень нижче 4 мг/$Нм^3$	
					98,18 % значень нижче 6 мг/$Нм^3$ *	

* гранично допустиме значення викидів — 5 мг/$Нм^3$.
Примітка: НЗ = Не зазначено.
Джерело: [385, Germany 2012], [378, Industrial NGOs 2012]

Крім того, завод FR 1 повідомив про випадок, коли у 2011 році було зареєстровано вимірювання концентрації пилу 9,64 мг/$Нм^3$. Після внутрішнього розслідування було зроблено висновок, що випадок стався через проблему у системі подання.

Тільки заводи 8, DE 1 та FR 1 надали дані по BaP на цьому етапі процесу. Середнє значення, засноване на періодичних вимірюваннях, для Заводу 8 становить 21,67 мкг/$Нм^3$ (0,0277 г/т анода), а зареєстровані значення (точкові проби) для Заводу DE 1 становлять 0,7–1,4 мкг/$Нм^3$; та для заводу FR 1 — 1,9 мкг/$Нм^3$ (зареєстроване гранично допустиме значення викидів для цього заводу становить 0,5 мкг/$Нм^3$).

РТО або КТО
Хоча завод 7 повідомив про використання РТО для обробки гарячого пеку, даних щодо ПАВ/ BaP не було надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Сухий скрубер та рукавний фільтр
- Збільшення споживання енергії (охолодження).

РТО або КТО

- Збільшення споживання енергії (робота РТО/КТО). Проте, якщо РТО призначений тільки для концентрованих парів пеку, він працює переважно в автотермічному режимі і його енергоспоживання знижується. Чим більше точок уловлювання додається до потоку, що надходить до РТО, тим більше енергії потрібно для його роботи.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Рукавний фільтр

Рукавний фільтр застосовується лише як самостійна технологія для видалення інертного коксового пилу від таких операцій, як зберігання коксу та подрібнення.

Сухий скрубер та рукавний фільтр

Ці технології застосовуються до всіх ділянок, де у змішувально-пресовому відділенні викидаються пари пеку та/або пил.

РТО або КТО

Ці технології застосовні до етапів змішування, охолодження та формування пасти, де виявляються вищі концентрації пеку.

Економічні аспекти

Сухий скрубер та рукавний фільтр

Інвестиційні витрати на установку сухого скруберного очищення з пропускною здатністю 50 000 м^3/год становлять близько 1,4 млн євро (без урахування мережі уловлювання, але включно з вартістю установки).

РТО або КТО

Інвестиційні витрати на невелику установку КТО у 2002 р. становили приблизно 300 000 доларів США. Аналогічна установка, встановлена у 2006 р., коштувала близько 600 000 євро.

Річні експлуатаційні витрати становили приблизно 6000 доларів США (переважно очисний та каталітичний матеріал). Електроенергія використовується протягом приблизно восьмигодинного періоду запуску (50 кВт-год), але після цього періоду випалені гази від КТО використовуються для підтримання роботи системи. Крім того, електроенергія використовується для вентилятора, який відкачує 1000 м^3 газів/год.

Інвестиційні витрати на норвезьку установку РТО пропускною здатністю 10 000 м^3/год склали 1,9 млн євро. Річні витрати на технічне обслуговування становлять 20 000 євро.

Інвестиційні витрати на установку РТО з пропускною здатністю 50 000 м^3/год становили б приблизно 4 мільйони євро. Комбінація РТО для газу з вищим вмістом пеку та установки сухого скруберного очищення для нижчої концентрації для того ж загального потоку коштувала б приблизно 3 мільйони євро (без урахування мережі уловлювання в обох випадках, але включно з вартістю установки).

Стимул до впровадження

Зменшення викидів у повітря. Відновлення пилу та пеку.

Приклади заводів

Сухий скрубер та рукавний фільтр: більшість заводів у Європі. РТО або КТО: заводи в Норвегії та Іспанії.

Довідкова література

[272, Al input 2008],

4.3.2.3 Технології зниження викидів від обпалювання у виробництві анодів

Опис
Технології, які слід розглянути:
- сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3) з використанням глинозему у якості адсорбенту, з подальшим використанням рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2);
- РТО (див. Розділ 2.12.5.2.1) з попередньою та подальшою обробкою;
- використання сировини, що містить невелику кількість сірки.

Технічний опис
Після уловлювання з основного круглого колектора кожної печі дим з однієї або кількох печей для обпалювання анодів прямує мережею повітроводів у центр обробки диму. Технології, що застосовуються, залежать від типу заводу (комбінований завод з виробництва анодів і алюмінію або автономний завод з виробництва анодів).

Сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3) з подальшим застосуванням рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4)
Сухе скруберне очищення базується на вилученні фторидів та ПАВ шляхом адсорбції з використанням глинозему у якості очищувального агента. Зазвичай гази охолоджуються на першому етапі з використанням водяної градирні для досягнення температури газу, сумісної з належною адсорбцією фторидів і ПАВ. Свіжий глинозем потім разом із димом вводять в етап реактора. Більша частина процесу адсорбції на глиноземі відбувається на цьому етапі реактора. Потім суміш диму та глинозему надходить у систему видалення пилу, де завантажений глинозем відокремлюється від газоподібних продуктів згорання. Найчастіше для видалення пилу використовують рукавні фільтри. У цих рукавних фільтрах досягається додаткова адсорбція через фільтрувальний осад, що утворюється на фільтрах. Завантажений глинозем використовується у якості сировини для електролізу.

Мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2);
Фториди, ПАВ та пил розчиняються та/або відокремлюються від газового потоку. Вода тече по замкнутому контуру, і для підтримання необхідних умов експлуатації проводяться регулярні випускання.

РТО (див. Розділ 2.12.5.2.1) з попередньою та подальшою обробкою
РТО є кращим варіантом для анодних заводів, які не мають прямого доступу до глинозему (тобто автономні заводи), а також наявний в інших конфігураціях з історичних причин. Процес залежить від циклу чергування газів, через низку опорних зон, де відбуваються цикли нагрівання, охолодження та очищення.

Оскільки такі автономні анодні заводи приймають перероблені анодні недогарки у якості сировини, необхідно передбачити можливість вилучення фторидів на етапі подальшої обробки.

Весь процес є чотириетапною системою.

1. Видалення грубодисперсних компонентів смоли та пилу: вихлопні гази з обпалювальної печі проходять через щільний шар керамічних елементів. Важкі компоненти смоли конденсуються на шарі, який періодично очищається за допомогою гарячих газів з РТО. Відхідні гази з етапу очищення надходять у РТО, а не на етап попередньої обробки.
2. РТО: керамічні шари використовуються для підігрівання вихлопних газів. Завдяки регулярній зміні напряму повітряного потоку ці керамічні шари підігріваються газом із камери згорання.
3. Камера згорання: відхідні гази направляються в камеру згорання, де за температури близько 800 °C руйнуються дрібні компоненти смоли та ПАВ.
4. Абсорбція фторидів: вихлопні гази проходять через шар дробленого вапна або вапняку для уловлювання фторидів. На одному заводі в Норвегії вловлювання фторидів здійснюється шляхом промивання морською водою, а на одному заводі в Німеччині використовується сухий глиноземний скрубер, за яким застосовується рукавний фільтр.

Використання сировини, що містить невелику кількість сірки
На викиди SO_2 з обпалювальних печей сильно впливає вміст сірки в анодах і використовуваному паливі.

Досягнуті екологічні переваги
Мокрий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра
- Зменшення викидів пилу, ПАВ та фторидів.
- Повне відновлення та перероблення всіх продуктів, які використовуються як сировина електролізера.
- Використання глинозему у якості очищувального агента, що знижує потребу в інших реагентах або паливі для нагрівання.

Мокрий скрубер
Зменшення викидів пилу та фторидів.

РТО з попередньою та подальшою обробкою
Зменшення викидів пилу, ПАВ та фторидів.

Використання сировини, що містить невелику кількість сірки
- Зменшення викидів SO_2.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Більшість печей для обпалювання анодів мають питомий об'єм виділення диму 3500—7500 $м^3$ на тонну анода в залежності від технології печі. Сучасні відкриті печі мають пропускну здатність близько 5500 $м^3$ на тонну анода.

Показники викидів можуть збільшуватися з часом у міру старіння печі через вогнетривку кладку та витоки колектора.

У Таблицях 4.35–4.40 показані викиди від обпалювальних печей, інтегрованих із заводами з виплавки первинного алюмінію, а у Таблиці 4.41 та Таблиці 4.42 показані викиди від автономного заводу з виробництва анодів.

Мокрий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра

Таблиця 4.35: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою глиноземного скрубера та рукавного фільтра на Заводі E

Метод усунення забруднення довкілля	Значення	Потік ($Нм^3$/год)	Метод отримання даних та частота моніторингу	Пил (мг/$нм^3$)	Фториди (мг/$нм^3$)	SO_2 (мг/$нм^3$)
Сухий глиноземний скрубер + рукавний фільтр	Мін.	61 200	Періодичний моніторинг (звітний рік — 2011)	1,30	0,41	99,48
	Макс.	79 200		3,85	0,76	151,28 *
	У середньому	71 460		2,21	0,59	124,35
* Вміст сірки в анодах не вказаний. *Джерело*: [378, Industrial NGOs 2012]						

Таблиця 4.36: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою глиноземного скрубера та рукавного фільтра на заводі в Германії

Метод усунення забруднення довкілля	Значення	Метод отримання даних та періодичність моніторингу	Пил	BaP	Формальдегід	Бензол	HF	SO_2
			мг/нм^3	(мкг/нм^3)	мг/нм^3	мг/нм^3	мг/нм^3	мг/нм^3
Сухий глиноземний скрубер + рукавний фільтр	Мін.	Безперервний моніторинг концентрацій пилу (17 300 середніх значень за пів години у 2008 році) та періодичний моніторинг інших параметрів	НЗ	НЗ	0,4	0,6	НЗ	22,9
	Макс.		79,09 % значень нижче 4 мг/Нм^3	< 1,0	2,9	2,4	< 0,2	35,2 *
			90,03 % значень нижче 6 мг/Нм^3					
			94,65 % значень нижче 10 мг/Нм^3					

* Паливо з низьким вмістом сірки, без додавання сірки у суміш.
Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [385, Germany 2012]

Таблиця 4.37: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою глиноземного скрубера та рукавного фільтра на заводі у Франції

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Значення	Метод отримання даних та періодичність моніторингу	Пил		HF	Фториди
				мг/нм^3	кг/т анодів	мг/нм^3	мг/нм^3
FR 1	Сухий глиноземний скрубер + рукавний фільтр	Мін.	Періодичний моніторинг (два рази на рік; звітний рік — 2012)	1,36	0,02	0,02	0,03
		Макс.		2,56	0,04	0,04	0,07
		У середньому		1,96	0,03	0,03	0,05
FR 1		Мін.	Періодичний моніторинг (3 рази на рік; звітний рік — 2011) *	1,30	0,02	0,03	0,02
		Макс.		4,67	0,06	0,06	0,11
		У середньому		3,10	00,4	0,03	0,06

* Цей завод повідомив про випадок, коли було зареєстровано значення вимірювання 15,4 мг/Нм^3. Після внутрішнього розслідування було зроблено висновок, що це значення пов'язане з аномальним зносом одного з фільтрів.
Джерело: [390, France 2012]

Мокрий скрубер у поєднанні з іншими технологіями

Мокрі скрубери також використовуються в різних конфігураціях: спільно з сухим інжекційним очищенням (Завод A) і з електростатичним фільтром і сухим скрубером (Завод F).

Таблиця 4.38: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою мокрого скрубера в поєднанні з сухим інжекційним очищенням на комбінованому заводі з виробництва анодів та алюмінію

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Значення	Потік	Пил		BaP		Фториди		sO ([1])	
			$Нм^3$/год	мг/$нм^3$	кг/т анодів	(мкг/$нм^3$)	кг/т анодів	мг/$нм^3$	г/т анодів	мг/$нм^3$	кг/т анодів
A	Мокрий скрубер у поєднанні з сухим інжекційним очищенням	Мін.	191 130	0,85	1,47E–04	0,001		0,002	3E–08	0,46	8,1E–05
		Макс.	254 785	5,06	8,52E–04	0,207		0,08	1,4E–05	2,57	4,91E–04
		У середньому	12 976	1,01	4,70E–04	0,058		0,01	2E–06	1,41	2,67E–04

([1]) Вміст сірки в аноді становить 1,4 %.
Значення 2010 року.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 4.39: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою мокрого скрубера в поєднанні з електростатичним фільтром і сухим скрубером на комбінованому заводі з виробництва анодів та алюмінію

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Значення	Потік	Метод отримання даних та періодичність моніторингу	Пил		BaP		Фториди		SO_2	
			$Нм^3$/год		мг/$нм^3$	кг/т анодів	(мкг/$нм^3$)	кг/т анодів	мг/$нм^3$	г/т анодів	мг/$нм^3$	кг/т анодів
F	Мокрий скрубер з електростатичним фільтром та сухим скрубером	Мін.	40 000	Періодичний моніторинг (9 разів на рік)	0,80	0,004	0,53	0,002	0,002	2E–05	7,32	0,03
		Макс.	44 800		7,16	0,032	87,02	0,026	0,37	0,001	18,14	0,08
		У середньому	42 873		2,79	0,012	13,01	0,011	0,06	4E–04	11,81	0,05

Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Також були отримані дані із заводу в Норвегії, що використовує мокрий скрубер з морською водою та мокрий електростатичний фільтр на додаток до РТО (Таблиця 4.40).

Таблиця 4.40: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою РТО у поєднанні з мокрим скрубером з морською водою та електростатичним фільтром

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Значення	Потік	Метод отримання даних та періодичність моніторингу	Пил		BaP		Фториди		SO_2	
			$Нм^3$/год		мг/$нм^3$	кг/т анодів	(мкг/$нм^3$)	кг/т анодів	мг/$нм^3$	г/т анодів	мг/$нм^3$	кг/т анодів
G	РТО у поєднанні з мокрим скрубером з морською водою та електростатичним фільтром	Мін.	33 633	Періодичний моніторинг (21 раз на рік; звітний рік — 2010)	0,18	0,001	1,00	0,002	0,002	3E–06	1,30	0,003
		Макс.	118 184		4,71	0,03	47,00	0,365	0,006	5,3E–5	27,06	0,17
		У середньому	55 582		1,25	0,004	11,00	0,056	0,004	1,3E–05	9,28	0,04
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]												

РТО з попередньою та подальшою обробкою

Приклад, наведений у Таблиці 4.41 та Таблиці 4.42, відноситься до РТО, поєднаного з обпалювальною піччю в Нідерландах (80 000 $Нм^3$/год).

Таблиця 4.41: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою РТО на автономних заводах з виробництва анодів (частина 1)

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Пил	Фториди	SO_2	NO_x	Значення	Метод отримання даних та періодичність моніторингу
		мг/нм^3	мг/нм^3	мг/нм^3	мг/нм^3		
C	РТО	3,5	1,6	250 ([1])	61	Середнє значення	Безперервний моніторинг (середні значення за пів години)
([1]) Рівні викидів 174 мг/Нм^3 були досягнуті у попередні роки завдяки нижчим температурам обпалювання та використанню сировини з низьким вмістом сірки. *Джерело:* [391, The Netherlands 2012]							

Додаткова інформація з цього заводу, що відповідає періоду з січня по серпень 2013 р., показує сильні коливання добових викидів SO_2 (значення в діапазоні приблизно від 100 мг/Нм^3 до більш ніж 500 мг/Нм^3) та HF (значення в діапазоні від менше ніж 0,5 мг/Нм^3 до більш ніж 5 мг/Нм^3). Зареєстрований вміст сірки в анодах становив 1,5 % у середньому за рік у 2011, 2012 та 2013 роках.

Таблиця 4.42: Викиди від обпалювання анодів після очищення за допомогою РТО на автономних заводах з виробництва анодів (частина 2)

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Значення	Метод отримання даних та періодичність моніторингу	ПАВ (EPA)	ПАВ (EPA)	ПАВ (OSPAR/NeR)	ПАВ (OSPAR/NeR)	CxHy
				Гг/Нм^3	Гг/Нм^3	Гг/Нм^3	Гг/Нм^3	мг/нм^3
C	РТО	Мін.	Періодичний моніторинг	28	160	2,8	2,6	2,8
		Макс.		430	160	13,8	2,6	2,8
		У середньому		180	160	7,8	2,6	2,8
Джерело: [391, The Netherlands 2012]								

Вплив на різні компоненти довкілля

Мокрий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра

- Збільшення споживання енергії (сухе очищення у скрубері потребує споживання енергії 30–50 кВт-год/т анода, включно з вентиляторами).

Мокрий скрубер

- Збільшення споживання енергії та води під час використання відкритих контурів.
- Утворення відходів.
- Якщо під час подальшої обробки використовується очищення морською водою, морська вода забруднюється фторидами, сульфатними солями та ПАВ/ВаР.

РТО з попередньою та подальшою обробкою

- Збільшення споживання енергії (для підтримання температури у зоні згорання). Загальне споживання енергії на об'єкті збільшилось на 10 %.
- Збільшення викидів CO_2 та NO_X
- Якщо під час подальшої обробки використовується очищення морською водою, морська вода забруднюється фторидами та сульфатними солями.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Мокрий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра

Ці технології застосовні до більшості процесів, в яких глинозем може використовуватися як очищувальний агент. Оскільки глинозем доступний на заводах з виробництва алюмінію, ці технології найчастіше використовуються на комбінованих заводах з виробництва анодів та алюмінію.

Мокрий скрубер

Ця технологія застосовується до нових заводів. Розглядаючи можливість використання цієї технології на наявних заводах, необхідно враховувати збільшення викидів фторидів, сульфатів і смол у воду. Її застосовність може бути обмежена, якщо установка з очищення відпрацьованих вод не може видалити забруднювальні речовини, присутні у стічних водах скрубера, і отримана вода не може бути рециркульована в процес або скинута. Застосовність також може бути обмежена у разі дуже великих об'ємах потоку відпрацьованих газів через значну кількість відходів і стічних вод, а також у посушливих районах через необхідність великого обсягу води.

РТО з попередньою та подальшою обробкою

Цю технологію найкраще застосовувати на автономних заводах, які не мають доступу до глинозему. У разі встановлення на наявних заводах з доступом до глинозему РТО доповнюється додатковими технологіями фільтрування пилу.

Використання сировини, що містить невелику кількість сірки

Загальнозастосовна.

Економічні аспекти

Мокрий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра

На європейському рівні загальні інвестиційні витрати на центр обробки димів «під ключ», що складається з сухого скрубера та рукавного фільтра, включно з будівельними роботами, становила б приблизно 10 мільйонів євро на 133 000 т/рік обпаленого анода.

РТО з попередньою та подальшою обробкою

На одному з об'єктів у Нідерландах встановлення у 2003 році однієї установки РТО для однієї печі коштувала 12 мільйонів євро (без урахування комунальних послуг, інфраструктури тощо). Загальна вартість обслуговування складає 300 000 євро на рік, плюс газ: 42 000 євро на рік та електроенергія: 5 000 євро на рік. Утилізація відходів (вапняний залишок) коштує 22 000 євро на рік. Нещодавнє встановлення ще двох установок на загальну суму 47 мільйонів євро (без урахування комунальних послуг, інфраструктури тощо) збільшить експлуатаційні витрати більш ніж утричі.

Таким чином, в умовах аналогічної продуктивності споживання енергії інвестиції набагато вище, ніж у разі використання комбінації глиноземних скруберів та рукавних фільтрів. Отже, ця технологія не є найкращою для установок з доступом до глинозему і її краще за все застосовувати на автономних анодних заводах.

Стимул до впровадження
Мокрий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра
Зменшення викидів пилу, ПАВ та фторидів.

Мокрий скрубер
Зменшення викидів пилу, ПАВ та фторидів.

РТО з попередньою та подальшою обробкою
Зменшення викидів пилу, ПАВ та фторидів.

Приклади заводів
- Сухий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра: заводи у Великій Британії, Франції, Італії, Нідерландах, Норвегії, Румунії та інших країнах.
- Сухий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра і мокрого скрубера: завод у Норвегії.
- Мокрий скрубер: завод в Іспанії.
- РТО з попередньою та подальшою обробкою: Заводи в Нідерландах, Норвегії та Німеччині.

Довідкова література
[233, COM 2008], [242, Infomil 2008], [286, OSPAR 1998], [312, VDI 2008], [318, Hagen et al. 2007], [348, Solios 2010], [375, Mannweiler et al. 2006]

4.3.3 Первинний алюміній

4.3.3.1 Технології зниження викидів під час зберіганні, поводження та транспортування сировини, що використовується для виробництва первинного алюмінію

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від зберігання, поводження та транспортування сировини для виробництва первинного алюмінію, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006].

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- Електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1).

Технічний опис
Через потенційно пильну природу глинозему і флюсів пил може уловлюватися і видалятися в певних пунктах конвеєрної передачі, а також під час операцій подрібнення та розділення. Рукавні фільтри (див. Розділ 2.12.5.1.4) є найчастіше застосовуваною технологією і забезпечують вищу ефективність видалення пилу, ніж електростатичні фільтри (див. Розділ 2.12.5.1.1).

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів у повітря.
- Відновлення матеріалів.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів пилу.
- Відновлення матеріалу для вторинного використання.

Приклади заводів
На всіх європейських заводах застосовуються або рукавні фільтри, або електростатичні фільтри.

Довідкова література
[290, COM 2006].

4.3.3.2 Технології зниження викидів перфторвуглеців у виробництві первинного алюмінію

Опис
Технології, які слід враховувати — це камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням та камери Сьодерберга з вертикальним штирем та точковим поданням у поєднанні з такими характеристиками:
- автоматичне багатоточкове подання глинозему;
- комп'ютерне управління електролітичним процесом на основі баз даних активних камер та контроль параметрів роботи камер;
- автоматичне пригнічення анодного ефекту.

Технічний опис
Камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням та камери Сьодерберга з вертикальним штирем та точковим поданням описані у Розділі 4.1.2.

Досягнуті екологічні переваги
- Зниження швидкості анодного ефекту та мінімізація тривалості ефекту.
- Зменшення загальних викидів CO_2 та ПФО.
- Зменшення енергоспоживання.
- Оптимізація параметрів процесу, таких як стабільність електролізера, що призводить до підвищення загальної ефективності процесу.
- Додаткове зменшення викидів пилу та фторидів в електролізний корпус, оскільки ковпаки відкриваються рідше.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Очікувані викиди надані у Розділі 4.2. Контрольний показник викидів в еквіваленті CO_2 під час виробництва первинного алюмінію вже існує у межах схеми ETS, включно з викидами ПФО.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Автоматичне пригнічення анодного ефекту не застосовується до камер Сьодерберга, оскільки конструкція анода Сьодерберга (однієї одиниці) не дозволяє потік ванни, пов'язаний з цією операцією. У камері з використанням попередньо обпалених анодів спосіб автоматичного придушення анодного ефекту полягає у зменшенні висоти горизонту анода. Коли це відбувається, всередині ванни знаходиться більше анода, і ванна тече в піднесеному положенні в камері. У електролізерах Сьодерберга через їхню конструкцію

ванна не може текти, тому вони не в змозі впоратися з таким підйомом ванни розплавленого металу/рідин в електролізері, що робить цю технологію нежиттєздатною.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Економія енергії та підвищення продуктивності процесу.
- Зменшення викидів в еквіваленті CO_2 та, меншою мірою, викидів пилу та фторидів.

Приклади заводів
Усі європейські плавильні заводи.

Довідкова література
[233, COM 2008], [286, OSPAR 1998], [312, VDI 2008]

4.3.3.3 Технології запобігання або уловлювання дифузних викидів як з електролізних камер, так і з електролізного корпусу у виробництві первинного алюмінію з використанням технології Сьодерберга

Опис
Технології, які слід розглянути:
- використання пасти з нижчим вмістом пеку (суха паста) у межах від 25 % до 28 %;
- модернізована конструкція колектора, що дозволяє здійснювати закрите точкове подання та підвищує ефективність уловлювання газу з подальшим очищенням електролітичних газів сухим скрубером з використанням глинозему у якості абсорбенту;
- точкове подання глинозему;
- збільшена висота анода для зниження температури у верхній частині анода;
- встановлення ковпаку у верхній частині анода з подальшим очищенням у сухому скрубері;
- удосконалений пальник для спалювання ПАВ та інших вуглеводнів.

Технічний опис
Конструкція нової технології Сьодерберга має риси, спільні для всіх заводів (наприклад, використання пасти з нижчим вмістом пеку, сухого глиноземного скрубера для електролітичних газів, вдосконаленого пальника та точкового подання глинозему), а також інші, які спеціально засновані на попередній конструкції камер (наприклад, встановлення ковпаку у верхній частині анода з подальшим очищенням у сухому скрубері, коли використовуються аноди з високою густиною струму, або збільшена висота анода, коли експлуатуються аноди з низькою густиною струму).

Усі заводи, що експлуатують камери Сьодерберга у Європі, були модернізовані новою технологією Сьодерберга. Розробка нових установок Сьодерберга не очікується, а наявні установки, які все ще перебувають в експлуатації, повинні мати адекватну комбінацію перерахованих вище систем.

Глиноземні скрубери використовуються для очищення газів електролізеру (див. Розділ 4.3.3.5). Коли застосовуються ковпаки у верхній частині анода, відповідні гази обробляють додатковими окремими скруберами.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення загальних обсягів викидів (фторидів, пилу та ПАВ). Зменшення споживання енергії.
- Повне відновлення фторованих продуктів, які потім повертаються до електролізерів.
- Використання сировини (глинозему) як засобу для очищення, що знижує потребу в реагентах.
- Покращення умов роботи операторів електролізної серії.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про викиди з камер Сьодерберга надані у Розділах 4.3.3.5 та 4.3.3.8.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Для електролізерів з високою густиною струму найкращим рішенням виявилося повне покриття ковпаком верхньої частини анода, з'єднаним з окремою системою видалення газу та сухим скрубером з використанням глинозему.

Зазвичай застосовується збільшена висота анода, що дозволяє створити твердий бар'єр у верхній частині анода, що є фільтром для викидів ПАВ. Це рішення дає результати, еквівалентні закриттю анода ковпаком.

Економічні аспекти
Економічні дані істотно відрізняються від одного заводу до іншого залежно від попередньої конструкції та інших технічних обмежень. Вартість останніх проєктів у Європі варіювалася від 250 доларів США за тонну до 600 доларів США за тонну. На інвестиційні витрати можуть впливати інші фактори, такі як додаткове обладнання та комунальні послуги, які можуть спричинити додаткові витрати.

Стимул до впровадження
- Зменшення впливу на довкілля.
- Зменшення витрат на енергію.

Приклади заводів
- Точкове подання глинозему, суха паста, збільшення висоти анода, глиноземний скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра та пальник: завод в Іспанії (аноди з низькою густиною струму).
- Точкове подання глинозему, суха паста, збільшення висоти анода, глиноземний скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра для ковпаків у верхній частині анода, мокрий скрубер з морською водою та пальник: завод у Норвегії (аноди з високою густиною струму).

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012].

4.3.3.4 Технології запобігання або уловлювання дифузних викидів з електролітичних камер у виробництві первинного алюмінію з використанням попередньо обпалених анодів

Опис
Слід розглянути технології камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням (описані в Розділі 4.1.3) у поєднанні з наведеними нижче характеристиками.

- Автоматичне багатоточкове подання глинозему.
- Повне покриття камери ковпаком та використання надійних ковпаків камери та адекватної швидкості видалення з урахуванням виділення фториду з ванни та витрати вугільного анода. У разі встановлення посилена система всмоктування може бути підключена до окремої системи видалення газів та фільтрувальної системи.
- Мінімізація часу на заміну анодів та інші дії, що вимагають зняття ковпаків камери.
- Зберігання видалених анодів у відсіку поруч із камерою, звідки повітря вилучається та прямує до центру обробки газу.
- Ефективна система управління технологічним процесом, що запобігає збоям у процесі, що призводять до виділення та викидів з камер.
- Використання програмної системи для експлуатації та обслуговування камер.

- Використання встановлених ефективних методів очищення на заводі з прикріплення обпалених анодів до стрижнів для вилучення фторидів та вуглецю; уловлювання газу та пилу в процесі очищення.

Технічний опис
Камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням описані у Розділі 4.1.3.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення загальних обсягів викидів.
- Покращення умов роботи операторів електролізної серії.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У середньому протягом року ефективність витяжних ковпаків від 95 % до 98,5 % може бути досягнута за допомогою систем постійного всмоктування або вище 99 %, коли в місцевих умовах потрібні посилені системи всмоктування, як описано в Розділі 4.2.

Кількість повітря і газу, що відсмоктуються з електролізерів і направляються до центру обробки газу, у порівнянні з тим, що фактично надходить у вентиляційні отвори на даху шляхом природної конвекції, можна підсумувати у різних прикладах, хоча потоки з вентиляційних отворів на даху вимірюються з меншою точністю, ніж потоки димових труб. Деякі приклади цифр наведено у Таблиці 4.43.

Таблиця 4.43: Відхідні гази, уловлені для обробки та вентиляційний повітряний потік на декількох європейських заводах з виробництва первинного алюмінію

Приклад заводу в наступних країнах:	Гази, уловлені для обробки ($Нм^3$/т Al)	Потік повітря через вентиляційні отвори на даху ([1]) ($Нм^3$/т Al)
Франція	80 000	1 140 000
Німеччина	80 000–120 000	700 000–1 400 000
Нідерланди	110 000	880 000–1 520 000
Ісландія	75 000–100 000	500 000–1 500 000
Іспанія (технологія попереднього обпалювання)	90 000–120 000	250 000–400 000 ([2])
Словенія	84 000–110 000	900 000–1 200 000
Іспанія (технологія Сьодерберга) ([3])	20 000–30 000	Немає даних

([1]) На потік повітря через вентиляційні отвори на даху сильно впливають метеорологічні умови.
([2]) Примусова вентиляція даху: застосування примусової вентиляції даху зазвичай має менші питомі потоки, які регулюються для задоволення потреб у вентиляції та оптимізації використання енергії.
([3]) Заводи Сьодерберга зазвичай мають менші потоки газу, що уловлюється для обробки для забезпечення оптимальної роботи пальників.
Джерело: EAA, 2012

Коли необхідні посилені системи всмоктування (BSS), базова швидкість всмоктування (уловленого газу для очищення), помножується у 1,5–3 рази під час роботи на конкретній камері (заміна анода, випускання тощо).

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії (для всмоктування газу). Це враховується у загальній потребі в енергії центру обробки газу, яка зазначена у Розділі 4.3.3.5 нижче.
- Шум навколо вентиляторів має значення і має бути зменшений, щоб не завдавати шкоду.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ці технології застосовуються до більшості процесів, залежно від установки.

Посилена система всмоктування (BSS) застосовується лише до нових заводів, оскільки її краще враховувати на початку проєктування заводу, а рішення про встановлення посиленої системи всмоктування прийматиметься відповідно до місцевих вимог або залежно від кліматичних або топографічних особливостей.

Посилена система всмоктування (BSS) не підходить для електролізних серій, оснащених окремими ковпаками з кожного боку, оскільки вона не має ефекту, поки вони повністю відкриті.

Зберігання видалених анодів у відсіку з системою видалення повітря поруч із камерами застосовується лише на нових заводах через обмеження місця на наявних заводах.

Економічні аспекти
Вартість систем уловлювання газу з електролізерів включена до загальної вартості заходів зі зниження викидів, наданої у Розділі 4.3.3.5.

Стимул до впровадження
Зменшення впливу на довкілля.

Приклади заводів
- Система постійного всмоктування: більшість європейських заводів.
- Посилена система всмоктування (BSS): заводи в Норвегії, Ісландії та Словаччині.

Довідкова література
[233, COM 2008], [312, VDI 2008]

4.3.3.5 Технології зниження вмісту пилу та фторидів у газах з камер

Опис
Технології, які слід розглянути:

- сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3) з використанням глинозему у якості адсорбенту з подальшим використанням рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- також додатково можна використовувати мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.2).

Технічний опис
Уловлені гази з електролітичних камер направляються мережею повітроводів в один або кілька центрів обробки газів, які складаються з сухого скрубера та рукавного фільтра. Сухе скруберне очищення базується на вилученні фторидів шляхом адсорбції глиноземом у якості очищувального агента. Свіжий глинозем вводять на етап реактора разом із технологічним газом від електролізу. Більша частина процесу адсорбції газоподібних фторидів на глиноземі відбувається на цьому етапі реактора. Потім суміш газу та глинозему надходить у систему видалення пилу, де глинозем, насичений фторидами, відокремлюється від технологічного газу. Найчастіше для видалення пилу використовують рукавні фільтри. У цих рукавних фільтрах досягається додаткова адсорбція через фільтрувальний осад, що утворюється на них. Глинозем, що видаляється з технологічного газу, використовується як сировина для електролізу (так званий вторинний або фторований глинозем).

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення загальних викидів фторидів та пилу.
- Зменшення викидів ПАВ у разі підключення камер Сьодерберга до центрів обробки газу.
- Повне відновлення фторованих продуктів, які повертаються до електролізерів.
- Менше споживання фторидів алюмінію.
- Використання сировини (глинозему) як засобу для очищення, що знижує потребу в реагентах.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Заводські викиди, що повідомлялись, стосувались як викидів, що виходять із центрів обробки газу (викиди з димової труби), так і загальних викидів (викиди з димової труби та викиди з дахів). Викиди з димової труби показані в Таблицях з 4.44 до 4.53, а загальні викиди показані в Таблиці 4.54 та Таблиці 4.55.

Дані про викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів від європейських заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів та глиноземні скрубери з подальшим використанням рукавних фільтрів, можна знайти в Таблиці 4.44.

Таблиця 4.44: Викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів з заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри

Метод усунення забруднення	Завод	Значення	Потік ($Нм^3$/год)	Потік ($Нм^3$/т Al)	Пил (кг/т Al)	HF (кг/т Al)	Загальні фториди (кг/т Al)	Періодичність моніторингу	Середнє значення
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр	1	Мінімум	1 992 965	НЗ	0,273	0,024	0,063	Безперервний	За місяць
		Середнє значення	2 058 291	94 595	0,377	0,045	0,094		
		Максимум	2 114 101	НЗ	0,451	0,073	0,127		
	1	Мінімум	2 014 707	НЗ	0,377	0,04	0,094	Безперервний	За рік
		Середнє значення	2 062 179	94 595	0,490	0,06	0,127		
		Максимум	2 157 600	НЗ	0,535	0,09	0,155		
	2	Мінімум	849 672	НЗ	0,0196	НЗ	0,01	Періодичний (раз на місяць, 24-годинний відбір проб)	За період відбору проб
		Середнє значення	939 096	79 364	0,0658		0,036		
		Максимум	1 008 000	НЗ	0,1496		0,112		
	2	Мінімум	876 335	НЗ	0,048	НЗ	0,029	Періодичний (раз на місяць, 24-годинний відбір проб)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	920 347		0,057		0,034		
		Максимум	939 096		0,066		0,038		
	3	Мінімум	НЗ	НЗ	0,050	НЗ	0,020	Періодичний (приблизно один раз на місяць)	За період відбору проб
		Середнє значення		88 151	0,120		0,037		
		Максимум		НЗ	0,200		0,048		
	5	Мінімум	НЗ	НЗ	0,027	0,009	0,01	Періодичний (чотири рази на рік)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	2 825 000	80 000	0,035	0,028	0,032		
		Максимум	НЗ	НЗ	0,051	0,05	0,09		
	6	Мінімум	НЗ	НЗ	0,470	0,030	0,070	Періодичний (чотири рази на рік)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	3 000 000	110 000	0,670	0,050	0,090		
		Максимум	НЗ	НЗ	0,900	0,170	0,180		
	7	Мінімум	828 000	НЗ	0,280	0,013	0,030	Періодичний (раз на місяць)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	1 228 300	86 000	0,320	0,020	0,050		
		Максимум	1 656 000	НЗ	0,330	0,030	0,080		
	8	Мінімум	НЗ	НЗ	0,080	0,010	0,020	Періодичний (двічі на місяць)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	1 114 800	82 229	0,150	0,038	0,030		
		Максимум	1 260 000	НЗ	0,330	0,060	0,060		
	9	Мінімум	878 471	НЗ	0,050	0,040	НЗ	Безперервний	За рік
		Середнє значення	1 413 529		0,090	0,060			
		Максимум	1 604 478		0,170	0,070			

([1]) Завод, що використовує посилену систему всмоктування (BSS).
Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Більш детальні приклади викидів пилу з димових труб (концентрацій) від заводу, що використовує камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри, можна побачити в Таблиці 4.45, Таблиці 4.46 та Таблиці 4.47. Вимірювання проводяться раз на місяць.

Таблиця 4.45: Викиди пилу з димових труб (концентрації) від заводу, що використовує камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, протягом 2013 року

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення (пил) у мг/Нм^3	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр	FR 1	Середнє значення за період відбору проб (одне вимірювання на місяць, 24-годинний відбір проб)	1,73	0,89	1,42	2,44	1,37	1,27	1,53
Джерело: [390, France 2012]									

Таблиця 4.46: Викиди пилу з димових труб (концентрації) від заводу, що використовує камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, протягом 2012 року

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення (пил) у мг/Нм^3	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	В середньому за рік
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр	FR 1	Середнє значення за період відбору проб (одне вимірювання на місяць, 24-годинний відбір проб)	1,90	0,04	1,10	0,69	1,35	2,90	1,55	0,71	1,92	0,88	0,99	1,46	1,29
Джерело: [390, France 2012]															

Таблиця 4.47: Викиди пилу з димових труб (концентрації) від заводу, що використовує камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, протягом 2011 року.

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення (пил) у мг/Нм^3	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	В середньому за рік
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр	FR 1	Середнє значення за період відбору проб (одне вимірювання на місяць, 24-годинний відбір проб)	1,02	0,47	0,28	0,53	0,68	0,70	0,77	0,95	0,71	0,67	0,81	3,00	0,88
Джерело: [390, France 2012]															

Також завод UK 1 надав більш детальну інформацію про свої викиди. Вимірювання проводяться щокварталу, і дані надані у Таблиці 4.48.

Таблиця 4.48: Викиди пилу з димових труб (масове навантаження) з Заводу UK 1 протягом 2012 року.

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення		Пил (кг/т Al)	HF (кг/т Al)	Ft (кг/т Al)
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр	UK 1	Середнє значення за період відбору проб (щоквартальне вимірювання)	Перший квартал	0,282	0,107	0,211
			Другий квартал	0,379	0,153	0,169
			Третій квартал	0,439	0,023	0,04
			Четвертий квартал	0,169	0,021	0,024
Джерело: [392, UK 2013]						

Швидкість всмоктування в камерах, вказана для Заводу UK 1, коливається від 80 000 Нм^3/т Al до 90 000 Нм^3/т Al.

Щодо німецьких заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри, інформація про викиди пилу та HF з димових труб міститься у Таблиці 4.49 та Таблиці 4.50.

Таблиця 4.49: Викиди пилу з димових труб (концентрації) від німецьких заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Пил (мг/нм^3)	Періодичність моніторингу	Середнє значення
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр	DE 1 (звітний рік — 2008)	98,64 % значень нижче 6	Безперервний	За пів години (17 313 значень)
		99,92 % значень нижче 9		
	DE 2 (звітний рік — 2008)	0,52 % значень нижче 1	Безперервний	За пів години (17 529 значень)
		98,8 % значень нижче 3		
		99,95 % значень нижче 5		
Джерело: [385, Germany 2012]				

Таблиця 4.50: Викиди HF з димових труб (концентрації) від німецьких заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	HF (мг/нм^3)	Періодичність моніторингу	Середнє значення
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр	DE 1 (звітний рік — 2008)	32,86 % значень нижче 0,6	Безперервний	За пів години (17 281 значення)
		94,04 % значень нижче 1,05		
		98,45 % значень нижче 1,2		
	DE 2 (звітний рік — 2008)	5,16 % значень нижче 0,5	Безперервний	За пів години (17 494 значень)
		88,44 % значень нижче 1		
		98,76 % значень нижче 1,1		
Джерело: [390, France 2012]				

Існують заводи, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, які на додаток до традиційно застосовуваних методів усунення забруднення довкілля (глиноземний скрубер і рукавний фільтр) також використовують мокрий скрубер. Викиди з димових труб від цих заводів можна знайти у Таблиці 4.51.

Таблиця 4.51: Викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів з заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери, рукавні фільтри та мокрі скрубери

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення	Потік ($Нм^3$/год)	Пил (кг/т Al)	HF (кг/т Al)	Загальні фториди (кг/т Al)	Періодичність моніторингу	Середнє значення
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр + мокрий скрубер	A	Мінімум	212 151	0,00001	0,0002	0,001	Періодичний (раз на місяць)	Середнє значення за період відбору проб
		Середнє значення	277 391	0,0347	0,0118	0,013		
		Максимум	305 933	0,1555	0,0502	0,052		
	A	Мінімум	260 362	0,003	0,0001	0,0005	Періодичний (раз на місяць)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	272 228	0,047	0,046	0,026		
		Максимум	278 931	0,286	0,073	0,109		
	B	Мінімум	123 287	НЗ	НЗ	НЗ	Періодичний (два рази на місяць)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	158 473	0,098	0,055	0,060		
		Максимум	202 761	НЗ	НЗ	НЗ		
	C	Мінімум	241 963	0,022	0,006	0,006	Періодичний (два рази на місяць)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	284 575	0,048	0,015	0,016		
		Максимум	326 893	0,106	0,052	0,052		

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Що стосується заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують камери Сьодерберга, в Європі є три заводи: два з них використовують глиноземний скрубер та рукавний фільтр, а третій додатково використовує мокрий скрубер.

Дані про викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів від європейських заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують камери Сьодерберга та глиноземні скрубери з подальшим використанням рукавних фільтрів, можна знайти в Таблиці 4.52.

Таблиця 4.52: Викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів з заводів, що використовують камери Сьодерберга, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення	Потік ($Нм^3$/т Al)	Пил (кг/т Al)	HF (кг/т Al)	Загальні фториди (кг/т Al)
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр	D	Мінімум	20 000	0,090	НЗ	0,003
		Середнє значення	НЗ	0,360	НЗ	0,021
		Максимум	30 000	1,070	НЗ	0,330
	E	Мінімум	20 000	0,013	0,04	0,007
		Середнє значення	НЗ	0,063	0,06	0,060
		Максимум	30 000	0,190	0,09	0,194
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]						

Дані про викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів від єдиного європейського заводу що використовує камери Сьодерберга та мокрий скрубер на додаток до глиноземного скрубера та рукавного фільтра, що використовуються традиційно, можна знайти в Таблиці 4.53.

Таблиця 4.53: Викиди з димових труб (масове навантаження) пилу, HF та загальних фторидів з заводу, що використовує камери Сьодерберга, де застосовується глиноземний скрубер, рукавний фільтр та мокрий скрубер

Система боротьби з викидами	Завод	Значення	Потік ($Нм^3$/год)	Пил (кг/т Al)	HF (кг/т Al)	Періодичність моніторингу	Середнє значення
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр + мокрий скрубер	F	Мінімум	100 000	0,003	0,0003	Періодичний (раз на місяць)	За період відбору проб
		Середнє значення	118 000	0,005	0,001		
		Максимум	129 000	0,007	0,002		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Загальні викиди (з димової труби та даху) пилу та фторидів з заводів, що використовують глиноземний скрубер та рукавний фільтр, показані в Таблиці 4.54. Наведені середні значення є середньорічними. Певні конфігурації даху (наприклад, широко відкриті вентиляційні отвори на даху) не дозволяють точно виміряти викиди у повітря. У цих випадках екологічна ефективність контролюється через викиди з димової труби та якості навколишнього повітря.

Таблиця 4.54: Загальні викиди пилу та фторидів (з димової труби та даху) від заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують глиноземний скрубер та рукавний фільтр у димовій трубі

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення	Звітний рік (та частота вимірювань)	Пил (кг/т Al)	Загальні фториди (кг/т Al)
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр (димова труба) без системи боротьби з викидами на даху	A	Мінімум	2006–2010	0,62	0,50
		Середнє значення		0,78	0,59
		Максимум		0,87	0,68
	E	Мінімум	2011	0,72	0,43
		Середнє значення		0,82	0,52
		Максимум		1,07	0,61
	F ([1])	Мінімум	2010	0,14	НЗ
		Середнє значення		0,39	0,31
		Максимум		0,54	0,73
	G	Мінімум	2010	0,91	0,36
		Середнє значення		1,14	0,41
		Максимум		1,41	0,43
	H	Мінімум	2008–2010	0,59	0,40
		Середнє значення		1,12	0,45
		Максимум		1,54	0,52
	I	Середнє значення	2010	1,16	0,74
	Л	Середнє значення	2010	1,66	0,74
	FR 1	Мінімум	2012 (раз на місяць)	0,62	0,41
		Середнє значення		0,97	0,58
		Максимум		1,16	1,00
	FR 1	Мінімум	2011 (раз на місяць)	0,77	0,42
		Середнє значення		0,96	0,51
		Максимум		1,13	0,55
	UK 1	Мінімум	2011 (4 рази на рік)	0,56	0,42
		Середнє значення		0,98	0,53
		Максимум		1,48	0,67

([1]) Завод, що використовує посилену систему всмоктування (BSS).
Примітка: (кодування заводів не обов'язково збігається з тим, що використовувалося раніше)
НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]; [390, France 2012]; [392, UK 2013].

Загальні викиди (з димової труби та даху) пилу та фторидів з заводів, що використовують мокрий скрубер на додаток до глиноземного скрубера та рукавного фільтра, показані в Таблиці 4.55. Наведені середні значення є середньорічними.

Таблиця 4.55: Загальні викиди пилу та фторидів (з димової труби та даху) від заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують мокрий скрубер на додаток до глиноземного скрубера та рукавного фільтра

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення	Звітний рік	Пил (кг/т)	Загальні фториди (кг/т)
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр + мокрий скрубер (димова труба)	1	Мінімум	2008–2010	0,10	0,22
		Середнє значення		0,18	0,25
		Максимум		0,48	0,35
	2	Середнє значення	2010	0,62	0,30
	3	Мінімум	2009	0,12	НЗ
		Середнє значення		0,36	0,22
		Максимум		0,70	0,44
Примітка: (кодування заводів не обов'язково збігається з тим, що використовувалося раніше) НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]					

Також були надані дані про викиди з дахів німецьких заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням (див. Таблицю 4.56).

Таблиця 4.56: Викиди пилу та HF з дахів німецьких заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовуються глиноземні скрубери та рукавні фільтри

	Пил (мг/нм^3)	HF (мг/нм^3)	Періодичність моніторингу	Середнє значення
Викиди з дахів	0,1–1,5	0,1–0,6	Безперервний	За день
Джерело: [385, Germany 2012]				

Вплив на різні компоненти довкілля

Збільшення енергоспоживання. Сухе очищення у скрубері потребує значних енерговитрат, близько 300–400 кВт-год на тонну алюмінію.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Сухий скрубер з використанням глинозему у якості агента, що адсорбує з подальшим використанням рукавного фільтра

Загальнозастосовна.

Мокрий скрубер

Застосування мокрого скрубера може бути обмежено у наступних випадках:

- дуже високі швидкості потоку відхідних газів через вплив на різні компоненти довкілля (значні об'єми відходів та відпрацьованих вод);
- у посушливих районах через потребу у великій кількості води, та в очищенні відпрацьованих вод, і через пов'язаний з цим вплив на різні компоненти довкілля.

Економічні аспекти

Кошторис витрат на можливий новий центр обробки газу, що розглядався у Франції у 2012 р., склав 120 млн євро (дві установки по 60 млн євро кожна) для сучасного плавильного заводу, що використовує камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням потужністю 260 000 тонн алюмінію на рік (включно з трубопроводом, зазначеним у Розділі 4.3.3.4 вище). Вартість модернізації наявного заводу буде вищою.

Якщо додати посилену систему всмоктування (BSS), потрібно додатково 12 мільйонів євро для додавання другої мережі та комплекту клапанів, фільтрів та вентиляторів на новій установці; і суму, що вдвічі або більше перевищує цю — для модернізації конфігурації.

Стимул до впровадження
- Зменшення впливу на довкілля.
- Мінімізація витрат на реагенти.

Приклади заводів
Заводи у Великій Британії, Іспанії, Німеччині, Норвегії, Франції, Нідерландах, Греції, Ісландії тощо.

Довідкова література
[233, COM 2008], [286, OSPAR 1998], [312, VDI 2008], [368, Haberl A. et al. 2002]

4.3.3.6 Технології зниження вмісту пилу та фторидів у газах з камери та газах від процесу виробництва анодів

Існує тільки один завод у Європі та два інших по всьому світу, на яких газ електролізерів та газ печі для обпалювання анодів об'єднуються у спільному центрі обробки газу. Технології, які слід розглянути, такі ж, як у Розділі 4.3.3.5 (тобто сухий скрубер з використанням глинозему у якості адсорбенту з подальшим використанням рукавного фільтра). Отже, екологічна ефективність з точки зору викидів фторидів та пилу також однакова. Що стосується ПАВ, екологічна ефективність така ж, як зазначено в Розділі 4.3.2.3 для сухого скрубера, за яким застосовується рукавний фільтр.

4.3.3.7 Технології запобігання викидам SO_2 з газів від камери

[312, VDI 2008]

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання анодів з низьким вмістом сірки.

Технічний опис
Контролювати викиди SO_2 на заводі з виплавки алюмінію можна шляхом вибору сировини з нижчим вмістом сірки. Зазвичай понад 85 % сірки, що надходить на плавильний завод попереднього обпалювання, надходить із коксу, що використовується для виробництва анодів. Контроль цього вхідного потоку є найбільш поширеною технологією обмеження будь-яких викидів SO_2, які не вловлюються сухим скрубером і рукавним фільтром.

Що стосується процесу, мінімальна присутність сірки в обпалених анодах є обов'язковою умовою дотримання вимог щодо щільності та міцності в електролітичному процесі, та це пригнічує вплив натрію з перероблених недогарків на реакційну здатність анода. Завод у Німеччині повідомив про використання анодів із середнім вмістом сірки 0,81 % у першій половині 2008 р. та 0,97 % у другій половині 2008 р. (тобто середньорічне значення 0,89 %, засноване на 616 вимірюваннях). Той самий завод повідомив про використання анодів із середнім вмістом сірки 0,89 % у першій половині 2009 р. та 1,05 % у другій половині 2009 р. (тобто середньорічне значення 0,97 %, засноване на 679 вимірюваннях). Технічних обмежень використання коксу із вмістом сірки значно вище 3 % немає.

Використання анодів з низьким вмістом сірки (менше ніж 1,5 % сірки в середньому за рік) є технологією, яку слід враховувати у виробництві анодів або анодної пасти, якщо це можливо, з виробничої та економічної точки зору та з урахуванням якості повітря. Залежно від ринкових умов та наявності, деякі заводи будуть навіть використовувати кокс із нижчим вмістом сірки.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення загальних викидів SO_2.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Заводські викиди, що повідомлялись, стосувались як викидів, що виходять із центрів обробки газу (викиди з димової труби), так і загальних викидів (викиди з димової труби та викиди з дахів). Викиди з димової труби показані у Таблиці 4.57 та Таблиці 4.58, а загальні викиди показані у Таблиці 4.59.

Згідно з наданими даними, викиди SO_2 з димових труб знаходяться в діапазоні 4,6–14,2 кг SO_2/т Al для заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням (верхнє значення відповідає установці, що використовує аноди з вмістом сірки 1,67 %), та 0,83–9,64 кг SO_2/т Al для заводів, що використовують камери Сьодерберга (верхнє значення відповідає заводу, що використовує аноди із вмістом сірки 1,2 %).

Масова концентрація SO_2 за середнього вмісту сірки в аноді 1,5 % знаходиться в діапазоні від 100 мг/Нм^3 до 175 мг/Нм^3.

Таблиця 4.57: Викиди SO_2 з димових труб із заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де використовуються аноди з низьким вмістом сірки (але без використання мокрого скрубера)

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення	Потік (Нм^3/год)	Потік (Нм^3/т Al)	SO_2 (кг/т)	Вміст S в анодах (%)	Періодичність моніторингу	Середнє значення
Аноди з низьким вмістом сірки	1	Мінімум	1 992 965	НЗ	12,41	1,40	Безперервний	За місяць
		Середнє значення	2 058 291	94 595	12,92	1,45		
		Максимум	2 114 101	НЗ	13,97	1,53		
	1	Мінімум	2 014 707	НЗ	12,92	1,45	Безперервний	За рік
		Середнє значення	2 062 179	94 595	13,10	1,48		
		Максимум	2 157 600	НЗ	13,30	1,50		
	2	Мінімум	849 672	НЗ	10,93	1,08	Періодичний (раз на місяць)	За період відбору проб
		Середнє значення	939 096	79 364	12,03	1,11		
		Максимум	1 008 000	НЗ	13,64	1,16		
	2	Мінімум	876 335	НЗ	11,55	1,08	Періодичний (раз на місяць)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	920 347		12,02	1,11		
		Максимум	939 096		12,47	1,16		
	3	Мінімум	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	Періодичний (приблизно один раз на місяць)	За період відбору проб
		Середнє значення		88 151	14,20	1,67		
		Максимум		НЗ	НЗ	НЗ		
	6	Мінімум	НЗ	НЗ	10,27	1,40	Періодичний (4 рази на рік)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	3 000 000	110 000	12,33	1,60		
		Максимум	НЗ	НЗ	13,63	1,80		
	7	Мінімум	828 000	НЗ	4,64	1,72	Періодичний (раз на місяць)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	1 228 300	86 000	7,91	2,08		
		Максимум	1 656 000	НЗ	12,03	2,67		
	8	Мінімум	НЗ	НЗ	6,20	НЗ	Періодичний (двічі на місяць)	Середнє значення на основі проб, отриманих за один рік
		Середнє значення	1 114 800	82 229	9,58			
		Максимум	1 260 000	НЗ	12,75			
	9	Мінімум	878 471	НЗ	10,72	НЗ	Безперервний	За рік
		Середнє значення	1 413 529		11,70			
		Максимум	1 604 478		13,16			

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 4.58: Викиди SO_2 з димових труб із заводів, що використовують камери Сьодерберга, де використовуються аноди з низьким вмістом сірки (але без використання мокрого скрубера)

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення	Потік ($Нм^3$/т Al)	SO_2 (кг/т)	Вміст S в анодах (%)
Аноди з низьким вмістом сірки	D	Мінімум	20 000	0,83	НЗ
		Середнє значення	НЗ	3,30	1,20
		Максимум	30 000	7,56	НЗ
	E	Мінімум	20 000	3,36	НЗ
		Середнє значення	НЗ	6,43	1,20
		Максимум	30 000	9,64	НЗ
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]					

Загальні викиди (з димової труби та даху) SO_2 з заводів, що використовують глиноземний скрубер, та рукавний фільтр, та аноди з низьким вмістом сірки, показані у Таблиці 4.59. Наведені середні значення є середньорічними.

Таблиця 4.59: Загальні викиди SO_2 (з димової труби та даху) з заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують аноди з низьким вмістом сірки (але без використання мокрого скрубера)

Технологія	Завод	Значення	Звітний рік	SO_2 (кг/т)	S (%)
Аноди з низьким вмістом сірки	A	Мінімум	2006–2010	13,15	1,45
		Середнє значення		13,35	1,48
		Максимум		13,56	1,50
	E	Мінімум	2011	6,44	НЗ
		Середнє значення		9,93	
		Максимум		13,22	
	F (1)	Мінімум	2010	10,27	1,40
		Середнє значення		12,33	1,60
		Максимум		13,63	1,80
	G	Мінімум	2010	9,68	1,40
		Середнє значення		10,12	1,60
		Максимум		10,60	1,80
	H	Мінімум	2008–2010	10,67	НЗ
		Середнє значення		11,78	
		Максимум		13,19	
	I	Середнє значення	2010	10,29	1,30
	Л	Середнє значення	2010	8,92	1,30
	FR 1 ([2])	Мінімум	2012 (баланс маси)	9,25	1,02
		Середнє значення		10,77	1,06
		Максимум		12,17	1,10
	FR 1 ([2])	Мінімум	2011 (баланс маси)	10,03	1,07
		Середнє значення		11,70	1,09
		Максимум		13,64	1,12
([1]) Завод з встановленою посиленою системою всмоктування (BSS). ([2]) Вміст сірки зріс з середньорічного значення 1 % у 2010 до середнього значення 1,3 % протягом першої половини 2013 року. Примітка: (кодування заводів не обов'язково збігається з тим, що використовувалося раніше) НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012], France 2013.					

Якби використовувалися аноди із середньорічним вмістом сірки до 2 % і за чистої витрати анода 0,43 кг/т Al, можна очікувати середньорічних загальних викидів SO_2 близько 19 кг/т Al (включно з вмістом сірки з глинозему, розрахованого з урахуванням витрати 1945 кг глинозему на тонну виробленого алюмінію та вмісту сірки у глиноземі 0,04 %).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Надмірно низький рівень вмісту сірки в анодах може призвести до більших викидів SO_2 внаслідок вищої реакційної здатності анодів, що призведе до більшої чистої витрати анодів.

Економічні аспекти
Вибір коксу є постійним компромісом між вартістю (кокс із нижчим вмістом сірки зазвичай є дорожчим, ніж кокс із високим вмістом сірки) та відстанню між постачальником та споживачем.

Короткострокові та середньострокові прогнози також передбачають розрідження коксів з низьким вмістом сірки.

Стимул до впровадження
Зменшення впливу на довкілля.

Приклади заводів
Заводи у Великій Британії, Франції, Ісландії, Нідерландах, Іспанії, Італії, Німеччині тощо.

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012]

4.3.3.8 Технології зниження вмісту SO_2 у газах з електролітичних камер та систем вентиляції електролізного корпусу

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання мокрого скрубера (див. Розділ 2.12.5.2.2).

Технічний опис
Додаткове мокре очищення у скрубері (див. Розділ 2.12.5.2.2) переважно застосовується для видалення SO_2, але також дозволяє зменшити кількість фторидів, що залишилися після сухого очищення у скрубері, та меншою мірою пилу. Мокре очищення у скрубері може застосовуватися до газів з електролітичної камери після їх обробки у сухому скрубері та безпосередньо перед їх випуском з димової труби. Зараз тільки один завод застосовує мокрі скрубери, в цьому випадку для вентиляційного повітря електролізного корпусу. Високі показники ефективності витяжки системи точкового подання роблять непотрібним очищення вентиляційного повітря електролізного корпусу, якщо цього не вимагають особливі місцеві умови.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів CO_2 та, меншою мірою, викидів пилу та фторидів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Ефективність видалення SO_2 становить 80–90 % для мокрих скруберів. У димових трубах після очищення технологічного газу електролізерів викиди SO_2 можуть бути знижені до концентрацій 5–40 мг/Нм^3 та концентрацій 0,5–2,5 кг SO_2/т Al. Крім того, додаткове вологе очищення призводить до зменшення викидів фторидів та пилу. Були визначені рівні викидів у димовій трубі для загальних фторидів (газоподібних і твердих часток) 0,02–0,2 кг/т Al, коли для додаткового очищення застосовується мокрий скрубер. У цих ситуаціях викиди пилу з димової труби знижуються до 0,1–0,3 кг/т Al.

Викиди SO_2 із заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, і заводу, що застосовує камери Сьодерберга, де на додаток до глиноземних скруберів і рукавних фільтрів використовуються мокрі скрубери, показані відповідно в Таблиці 4.60 та Таблиці 4.61.

Таблиця 4.60: Викиди SO_2 від заводів, що використовують камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, де застосовується мокрий скрубер на додаток до глиноземного скрубера і рукавного фільтра

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення	Потік ($Нм^3$/год)	SO_2 (кг/т)	Вміст S в анодах (%)	Періодичність моніторингу	Середнє значення
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр + мокрий скрубер	A	Мінімум	260 362	0,02	1,4	НЗ	НЗ
		Середнє значення	272 228	0,10	1,4		
		Максимум	278 931	0,24	1,4		
	B	Мінімум	123 287	НЗ	НЗ	Періодичний (двічі на місяць)	За період відбору проб
		Середнє значення	158 473	2,07			
		Максимум	202 761	НЗ			
	C	Мінімум	241 963	1,12	НЗ	Періодичний (двічі на місяць)	За період відбору проб
		Середнє значення	284 575	1,36			
		Максимум	326 893	1,87			

Примітка: Кодування заводів не обов'язково збігається з тим, що використовувалося раніше.
НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 4.61: Викиди SO_2 (з димових труб та даху) від заводу, що використовує камери Сьодерберга, де застосовується мокрий скрубер на додаток до глиноземного скрубера і рукавного фільтра

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення	Потік ($Нм^3$/год)	SO_2 (кг/т)	Вміст S в анодах (%)	Періодичність моніторингу	Середнє значення
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр + мокрий скрубер	F	Мінімум	260 362	0,09	НЗ	НЗ	НЗ
		Середнє значення	272 228	0,12	1,4		
		Максимум	278 931	0,14	НЗ		

Примітка: Кодування заводів не обов'язково збігається з тим, що використовувалося раніше.
НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Загальні викиди SO_2 (з димової труби та даху) з заводів, що використовують мокрий скрубер на додаток до глиноземного скрубера та рукавного фільтра, показані в Таблиці 4.62. Наведені середні значення є середньорічними.

Таблиця 4.62: Загальні викиди SO_2 (з димової труби та даху) від заводів з виробництва первинного алюмінію, що використовують мокрий скрубер на додаток до глиноземних скруберів та рукавних фільтрів

Метод усунення забруднення довкілля	Завод	Значення	Звітний рік	SO_2 (кг/т)
Глиноземний скрубер + рукавний фільтр + мокрий скрубер (димова труба)	G	Мінімум	2008–2010	0,28
		Середнє значення		0,38
		Максимум		0,54
	H	Середнє значення	2010	2,23
	I	Мінімум	2009	1,17
		Середнє значення		1,44
		Максимум		2,01
Примітка: Кодування заводів не обов'язково збігається з тим, що використовувалося раніше. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]				

Вплив на різні компоненти довкілля

Збільшення споживання енергії

Очищення морською водою потребує додаткового енергоспоживання у розмірі близько 100–150 кВт-год/т Al, залежно від технології очищення та місцевих умов. Наприклад, у випадку очищення морською водою відстань від моря та висота розташування є важливими факторами, що впливають на споживання енергії.

Скидання абсорбованих та конвертованих забруднювальних речовин

Скидання можуть відбуватися у вигляді великої кількості стічних вод, рідких лужних відходів або у вигляді дрібнодисперсної суспензії гіпсу. Результати екологічного моніторингу в морі та в повітрі повинні враховуватися для визначення загального зменшення викидів та застосування процесу перенесення забруднювальних речовин з повітря у воду та/або в ґрунт [355, NERC 2010]

Стічні води з мокрих скруберів, що використовують морську воду (приблизно 80–200 $м^3$/т Al), є слабокислотними, містять сульфіти/сульфати, деякі фториди та завислі речовини, а також мають дефіцит кисню. Тому заводи, що використовують морську воду, можуть мати установки для окиснення сульфітів у сульфати та для видалення завислих твердих часток відповідно до національного законодавства щодо скидання цих стічних вод у море. Очищення стічних вод може передбачати флокуляцію та седиментація. Внаслідок очищення стічних вод утворюється осад, який необхідно утилізувати. Морська вода, що використовується в мокрих скруберах, також може потребувати обробки біоцидами, які згодом також будуть скидатися в море.

Скрубери, що працюють з NaOH, вимагають скидання концентрованих стічних вод (близько 1 $м^3$/т Al). Забруднювальні речовини у цих стічних водах можна порівняти із забруднювальними речовинами в морській воді, що скидається, але вони зустрічаються у вищих концентраціях. Разом з тим, вплив на водне середовище залишиться.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Застосування мокрого скрубера може бути обмежено у наступних випадках:

- дуже високі швидкості потоку відхідних газів через вплив на різні компоненти довкілля (значні об'єми відходів та відпрацьованих вод);
- у посушливих районах через потребу у великій кількості води, та в очищенні відпрацьованих вод, і через пов'язаний з цим вплив на різні компоненти довкілля.

Економічні аспекти

Було визначено кошторис витрат на додаткове мокре очищення у скрубері технологічного газу електролізера. Кошторис витрат наданий для скруберних систем, що працюють на морській воді, а також на NaOH.

- Морська вода: було оцінено вартість можливого встановлення технології на французькому плавильному заводі потужністю 260 000 т Al/рік. У цьому випадку знадобиться дві скруберні установки з використанням морської води, кожна з яких

вимагатиме додаткових витрат у розмірі 35 млн євро, тобто 125–130 євро/т Al, вода перекачується на 3 км, без басейну для окиснення.
- NaOH: інвестиції, залежно від розміру заводу, становлять від 12 до 40 мільйонів євро, тобто, 100–250 євро на тонну потужності. Загальні річні витрати: 4–7 млн євро, тобто 100–200 євро/т Al.
- Подвійний луг, з утилізацією забруднених суспензій у ґрунті: для одного заводу у Франції, який не має доступу до морської води, попередній кошторис витрат вказував набагато вищі цифри: 69–92 млн євро, тобто 650–850 євро/т Al. Загальні річні витрати: 6,5–9,5 млн євро, тобто 60–90 євро/т Al.

У Нідерландах було проведено порівняння економічної ефективності методів боротьби з викидами SO_X на двох плавильних заводах [241, Infomil 2008], яке підтверджує порядки цифр, наведених вище для морської води та NaOH. Загалом дані про витрати були зібрані для різних процесів та систем боротьби з викидами. Дані про витрати дуже залежать від конкретного об'єкта та від низки факторів, але наведені діапазони можуть дозволити зробити деякі порівняння.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів SO_2 в повітря у місцях, де контролю вмісту сірки в коксі недостатньо для дотримання стандартів якості повітря.

Приклади заводів
Заводи в Норвегії (шість мокрих скруберів з морською водою на прибережних об'єктах і один скрубер з NaOH на віддаленому від моря об'єкті) та Швеції, а також деякі попередні кошториси витрат для двох французьких заводів (хоча на жодному реальному заводі ці установки ще не встановлені).

Довідкова література
[97, Lijftogt, JA. et al 1998], [303, ENVIRONNEMENT CANADA 2008], [316, Wedde et al. 2004], [347, Alcoa 2010], [348, Solios 2010], [368, Haberl A. et al. 2002]

4.3.3.9 Технології зниження викидів під час плавлення, обробки розплавленого металу та лиття на заводах з виплавки первинного алюмінію

Опис
Технології, які слід розглянути:
- використання рідкого металу від процесу електролізу та незабрудненого матеріалу (тобто матеріалу без фарби, пластмас, мастила тощо);
- рукавний фільтр.

Технічний опис
У ливарних цехах, інтегрованих із заводом з виплавки первинного алюмінію, можна плавити тільки промисловий метал і брухт. До брухту, що плавиться на цих об'єктах, відноситься внутрішній брухт компанії від екструзії та прокатки без таких речовин, як фарба, пластмаса або мастило (в тому числі повернені клієнтами продукти без фарби або пластмаси та брухт з об'єктів, що належать тій самій компанії), і брухт, куплений на ринку, який не містить речовин, таких як фарба, пластмаса або мастило.

На інтегрованому плавильному заводі викиди пилу з ливарного цеху становлять близько 5 % загального обсягу викидів пилу. Щоб зменшити ці викиди, деякі заводи використовують рукавні фільтри.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Повідомлені викиди пилу з ливарних цехів, що інтегровані у заводи з виплавки первинного металу та використовують рукавні фільтри, демонструють середньорічні значення нижче 2,5 мг/Нм^3, а максимальні середні значення за період відбору проб становлять 7,9 мг/нм^3.

У випадках, коли в ливарних цехах цього типу не застосовуються рукавні фільтри, середньорічні значення вмісту пилу варіюються від 7,38 мг/Нм^3 до 40 мг/Нм^3, принаймні три заводи повідомляють про середньорічні значення близько 20 мг/Нм^3 або нижче.

Надана інформація демонструє, що навіть якщо не застосовуються жодні методи усунення забруднення довкілля, моніторинг пилу здійснюється на цьому етапі процесу.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Оскільки ливарні цехи в інтегрованих заводах з виплавки первинного металу є другорядним джерелом загальних викидів пилу від плавильного заводу, у кожному конкретному випадку слід оцінювати, чи буде застосування ресурсів, призначених для зменшення викидів пилу, більш ефективним на цьому етапі процесу або на іншому.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів пилу.

Приклади заводів
Три заводи з виплавки первинного металу повідомили про використання рукавних фільтрів у ливарному цеху.

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012], [378, Industrial NGOs 2012]

4.3.3.10 Технології повторного використання відпрацьованого футерування електролізера

Опис
Технологія, яку слід розглянути, полягає у використанні вмісту вуглецю у якості сировини для інших цілей.

Технічний опис
Декілька успішних галузей застосування передбачають використання вмісту вуглецю відпрацьованого футерування електролізера в термічних процесах, таких як:
- обпалювання цементу;
- виробництво сталі та феросплавів, у якості палива;
- виробництво мінеральної вати, у якості замінника коксу.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення споживання викопного палива.
- Зменшення кількості сировини коли відпрацьоване футерування електролізера використовується заради вмісту AlF_3.
- Знищення вмісту CN.
- Зменшення утилізації відходів на ґрунті.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Немає чистого доходу, є лише уникнення плати за обробку або утилізацію.

Стимул до впровадження
Зменшення кількості відходів, що спрямовуються на утилізацію та відновлення вмісту вуглецю.

Приклади заводів
Заводи у Франції, Норвегії та Іспанії.

Довідкова література
[103, COM 1998], [233, COM 2008], [376, Regain 2011].

4.3.4 Вторинний алюміній

4.3.4.1 Технології зниження викидів під час зберігання, поводження та транспортування сировини, що використовується для виробництва вторинного алюмінію

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від зберігання, поводження та транспортування сировини для виробництва вторинного алюмінію, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006]

Опис
Технологією, яку слід розглянути для зменшення викидів пилу, є рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Існують різновиди вторинної сировини, вони варіюються від дрібнодисперсного пилу (флюси, сіль, знімання або дрос) до великих окремих одиниць. Через потенційно пильну природу флюсів, солі та знімання/дросу пил може уловлюватися і видалятися в певних пунктах конвеєрної передачі, а також під час операцій подрібнення та розділення за допомогою рукавних фільтрів.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів у повітря.
- Відновлення сировини.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У Таблиці 4.63 наведено дані щодо викидів від транспортування та завантаження матеріалів для виробництва вторинного алюмінію.

Таблиця 4.63: Викиди від транспортування та завантаження матеріалів для виробництва вторинного алюмінію

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/Нм^3)			Періодичні вимірювання
			Мін.	У середньому	Макс.	
65	Рукавний фільтр	Пил	0,5	0,75	1	Двічі на рік
67	Рукавний фільтр	Пил	2,3	3,25	4,2	
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Відновлення матеріалу для вторинного використання.
- Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Завод 65 та Завод 67.

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012],

4.3.4.2 Технології розділення неметалевих компонентів та металів, крім алюмінію, та зменшення їх розміру перед етапом плавлення

Опис
Технології, які слід розглянути, є комбінацією наступного:
- магнітне розділення (компоненти чорних металів);
- розділення вихровим струмом;
- розділення за відносною щільністю (наприклад, флотація з осадженням).

Технічний опис
Ці технології використовуються для збільшення різноманітності брухту, який можна використовувати, і підвищення якості сировини. Після обробки брухт можна використовувати в обертових або стаціонарних печах.

Ці технології використовуються для брухту, який зазвичай був попередньо подроблений.

Магнітне розділення
Після дроблення, зазвичай у молотковій дробарці, брухт переміщуються за допомогою стрічкових конвеєрів, а залізо видаляється за допомогою магнітних пристроїв.

Розділення вихровим струмом
Після магнітного розділення для видалення неметалевих компонентів з подробленого брухту застосовується розділення вихровим струмом. Електромагнітне поле відокремлює алюміній та інші кольорові метали (мідь, цинк, магній тощо) від неметалевих компонентів, таких як гума, пластмаса та дерево, на основі різних магнітних властивостей компонентів.

Розділення за відносною щільністю
Ця технологія дозволяє також відокремити алюміній від інших кольорових металів, що дозволяє отримувати брухт високої якості. Подроблений брухт проходять через ємності, що містять рідини різної щільності (зазвичай від 1 до 3 кг/л). Матеріал після розділення за щільністю дренується і висушується під час зберігання перед надходженням у піч; в іншому випадку необхідний етап сушіння.

Досягнуті екологічні переваги
- Відновлення інших металів (залізо, мідь, свинець).
- Кращий вибір сировини для процесу плавлення.
- Зменшення викидів забруднювальних речовин, використання сольових флюсів та утворення дросу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Основним екологічним ефектом цих технологій є зменшення вмісту домішок (особливо неметалевих компонентів) у брухті, що використовується у якості сировини.

У Таблиці 4.64 показано викиди пилу на етапі помелу.

Таблиця 4.64: Викиди пилу на етапі помелу у виробництві вторинного алюмінію

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/Нм^3)			Періодичні вимірювання
			Мін.	У середньому	Макс.	
66	Рукавний фільтр	Пил	0,6	0,95	1,3	Двічі на рік
75	Рукавний фільтр	Пил	НЗ	3,8	НЗ	Раз на рік
НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Утворення відходів (неметалеві компоненти).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ці технології зазвичай застосовні, коли необхідно підвищити якість брухту і підготувати сировину, що відповідає характеристикам печі та її установки для очищення газів.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Підвищення якості алюмінієвого брухту.
- Вимоги законодавства з охорони довкілля.

Приклади заводів
Чотири заводи в Італії.

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012]

4.3.4.3 Технології видалення мастила та органічних сполук зі стружки перед етапом плавлення

Опис
Технології, які слід розглянути:
- центрифугування;
- сушіння з використанням обертової сушарки.

Технічний опис
Механічно оброблена стружка переважно забруднена мастильно-охолоджувальною емульсією або іншими хімічними речовинами, що використовуються під час механічної обробки металу.

Центрифугування
Сильно забруднену стружку можна центрифугувати, щоб видалити більшу частину мастила.

Сушіння з використанням обертової сушарки
Сушіння з використанням обертової сушарки дозволяє повністю видалити мастило та інші органічні хімічні речовини. Процес сушіння стружки з використанням обертової сушарки заснований на технології непрямого або прямого нагріву. Сушарка нагрівається непрямим шляхом, щоб уникнути локального перегріву, що може призвести до підвищеного окиснення стружки. Стружка завантажується за допомогою конвеєрної стрічки та ковшового елеватора у барабан.

Температуру сушарки для стружки часто контролюють на рівні 300–400ºC, щоб піроліз відбувався за мінімального окислення металу. Піролізні гази із сушарки спалюються в допалювачі для досягнення повного згорання. Нові сушарки оснащені системою

допалювання з новими технологіями, які дозволяють повертати енергію, що виробляється з піролізного газу, у сушарку (замкнутий цикл). Враховуючи високий вміст органічних сполук у піролізних газах, допалювач або система допалювання можуть ефективно перетворювати органічні сполуки у CO_2 в більшості випадків без будь-яких додаткових витрат енергії.

На іншому кінці сушарки матеріал охолоджується свіжим повітрям, а будь-яке залізо відокремлюється шляхом магнітного розділення перед відправленням на зберігання.

Досягнуті екологічні переваги
- Видалення мастила та органічних сполук зі стружки перед етапом плавлення.
- Зменшення викидів від процесу виплавки (особливо органічних сполук).
- Зменшення використання сольових флюсів та утворення дросу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Пил у відпрацьованих газах видаляється за допомогою рукавного фільтра, а викиди складають від 1 мг/Нм^3 до 10 мг/Нм^3 на основі періодичних вимірювань.

Кількість органічних сполук, таких як ЗЛОС, зменшується в допалювачі, і згідно з періодичними вимірюваннями повідомляються викиди з 1 мг/Нм^3 до 6 мг/Нм^3. Безперервні вимірювання демонструють максимальне значення викидів до 18 мг/Нм^3.

Повідомляється про викиди ПХДД/Ф від 0,002 нг/Нм^3 до 0,15 нг/Нм^3.

У Таблиці 4.65 наведено додаткові дані про викиди із сушарки для стружки.

Таблиця 4.65: Викиди із сушарок для стружки

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина (Одиниця вимірювання)	Значення			Періодичність моніторингу
			Мін.	У середньому	Макс.	
20	Сушарка для стружки - допалювач - вдування вапна - рукавний фільтр	Пил (мг/нм^3)	0,1	0,2	0,2	Періодичний
		ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)	НД	0,043	НД	Періодичний
		NO_2 (мг/нм^3)	10	20	22	Періодичний
		ЗЛОС (мг/нм^3)	0,7	0,9	1,1	Періодичний
		CO (мг/нм^3)	3	3	4	Періодичний
		HCl (мг/нм^3)	0,7	1,3	2,7	Періодичний
22	Сушарка для стружки - допалювач - вдування вапна - рукавний фільтр	Пил (мг/нм^3)	0,3	0,5	0,6	Періодичний
		NO_2 (мг/нм^3)	43	44	45	Періодичний
		ЗЛОС (мг/нм^3)	< 1	< 1	< 1	Періодичний
24	Сушарка для стружки - допалювач - різке водяне охолодження - вдування вапна - рукавний фільтр	Пил (мг/нм^3)	1,1	1,4	2	НЗ
		ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)	НД	0,009	НД	Періодичний
		NO_2 (мг/нм^3)	28	30	31	НЗ

		ЗЛОС (мг/нм^3)	< 1	1	1	Безперервний
		CO (мг/нм^3)	24	26	30	Періодичний
25	Сушарка для стружки - допалювач - різке водяне охолодження - вдування вапна - рукавний фільтр	Пил (мг/нм^3)	< 0,3	0,3	0,4	НЗ
		ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)	НД	0,006	НД	Періодичний
		NO_2 (мг/нм^3)	30	31	31	НЗ
		ЗЛОС (мг/нм^3)	< 1	< 1	< 1	Безперервний
		CO (мг/нм^3)	13	14	20	Періодичний
26	Сушарка для стружки - допалювач - різке водяне охолодження - вдування вапна - рукавний фільтр	Пил (мг/нм^3)	< 0,5	0,6	0,8	НЗ
		ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)	НД	0,021	НД	Періодичний
		NO_2 (мг/нм^3)	31	33	40	НЗ
		ЗЛОС (мг/нм^3)	< 1	< 1	< 1	Безперервний
		CO (мг/нм^3)	7	7	10	Періодичний
29	Сушарка для стружки - допалювач - вдування вапна - рукавний фільтр	Пил (мг/нм^3)	НЗ	< 0,3	НЗ	НЗ
		ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)	НД	0,002	НД	Періодичний
		NO_2 (мг/нм^3)	НЗ	0,01	НЗ	НЗ
		ЗЛОС (мг/нм^3)	< 1	4	18,3	Безперервний
		CO (мг/нм^3)	НЗ	106	НЗ	Періодичний
		HCl (мг/нм^3)	< 0,03	< 0,26	0,5	Періодичний
39	Сушарка для стружки - допалювач	NO_2 (мг/нм^3)	51	80	101	Періодичний
		ЗЛОС (мг/нм^3)	0,3	8	32	Безперервний
		CO (мг/нм^3)	3	46	96	Періодичний
68	Сушарка для стружки - рукавний фільтр - введення $NaHCO_3$ та активованого вугілля	Пил (мг/нм^3)	1,2	2,2	3,2	Періодичний
		ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)	0,25	НЗ	0,44	Періодичний
		NO_2 (мг/нм^3)	80	100	120	Періодичний
		ЛОС (мг/нм^3)	НЗ	3,5	НЗ	Періодичний
		HCl (мг/нм^3)	3,2	5	6,8	Періодичний

		HF (мг/нм^3)	НЗ	1,5	НЗ	Періодичний
70	Сушарка для стружки - рукавний фільтр - введення $NaHCO_3$	Пил (мг/нм^3)	0,2	2,0	3,9	Періодичний
		ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)	0,03	0,06	0,09	Періодичний
		NO_2 (мг/нм^3)	62	74	87	Періодичний
		ЛОС (мг/нм^3)	2	4	6	Періодичний
		CO (мг/нм^3)	27	61	96	Періодичний
		HCl (мг/нм^3)	0,8	1,5	2,3	Періодичний
		HF (мг/нм^3)	0,1	0,25	0,4	Періодичний
74	Сушарка для стружки - допалювач - рукавний фільтр	Пил (мг/нм^3)	0,9	5.1	9,3	Періодичний
		ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)	0,05	0,15	0,25	Періодичний
		NO_2 (мг/нм^3)	60	105	150	Періодичний
		SO_2 (мг/нм^3)	НЗ	15	НЗ	Періодичний
		ЛОС (мг/нм^3)	16	28	40	Періодичний
		CO (мг/нм^3)	70	82	95	Періодичний
		HCl (мг/нм^3)	7	8	9	Періодичний
		HF (мг/нм^3)	1	1,4	1,8	Періодичний
AT	Сушарка для стружки - допалювач - рукавний фільтр	Пил (мг/нм^3)	1,3	НЗ	2,8	Періодичний
		NO_X (мг/нм^3)	69	НЗ	101	Періодичний
		ЛОС (мг/нм^3)	0,3	НЗ	29	Періодичний
		CO (мг/нм^3)	3	НЗ	97	Періодичний
Примітка: НД = немає даних; НЗ = не зазначено. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012], [393, Austria 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення енергоспоживання.
- Викиди CO_2 та NO_X.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Широко застосовується, за винятком випадків, коли піч і система боротьби з викидами спеціально розраховані на вміст органічної речовини.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Підвищення якості та виходу металу з алюмінієвого брухту.
- Зменшення потоку сольових флюсів.
- Зменшення викидів ЛОС від плавильного заводу.

Приклади заводів
Заводи в Австрії, Німеччині та Італії.

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012]

4.3.4.4 Вибір відповідних печей для плавлення вторинного металу

Опис
Технології, які слід розглянути:
- відбивні печі (подові або із закритим колодязем);
- обертові барабанні печі;
- індукційні печі;
- шахтні печі.

Технічний опис
Різні види брухту створюють певні проблеми у процесі плавлення. Під час плавлення блокового матеріалу, у порівнянні зі шматками з вищою питомою поверхнею, потрібний менший захист від окиснення. Таким чином, розробка та вибір плавильних печей значною мірою залежать від типу використовуваного вхідного брухту, його розміру, вмісту оксидів та ступеня забруднення.

Печі можна розділити на дві групи: з паливним нагрівом та з електричним нагрівом. Печі з паливним нагрівом частіше застосовуються у процесі виробництва вторинного алюмінію.

У Таблиці 4.66 дається огляд переваг та недоліків печей для плавлення та виплавки вторинного металу, а також сировини, яку можна в них відновити.

Відбивні печі (подові або із закритим колодязем)
Відбивна піч є «класичною» піччю, і для окремих застосувань було розроблено кілька варіацій. Принципова конструкція печі цього типу є закритий прямокутний короб з вогнетривкою футерівкою. Один або кілька пальників забезпечують енергію, тоді як димові гази виходять через отвір у склепінні або стіні печі. Піч може бути стаціонарною або нахильною. Стандартна відбивна піч відмінно підходить для плавлення великих шматків металу, таких як козли, виливки, ущільнені брикети тощо, коли сіль не потрібна.

Коли піч обладнана зовнішнім боковим колодязем, брухт можна завантажувати безпосередньо в рідкий метал, що обмежує контакт брухту з димовими газами та навколишнім повітрям. У цьому випадку також можна обробляти дрібніший брухт. Проте, втрати тепла через боковий колодязь значні, а швидкість плавлення низька.

Брухт, сильно забруднений органічним матеріалом, але менш забруднений іншими металами, краще за все плавити у відбивній печі. Сіль не потрібна, тому що органічний вміст допалюється в печі.

Обертові барабанні печі
Принцип конструкції цих печей (які можуть бути як з фіксованою віссю, так і з нахильними печами) полягає в тому, що сталевий корпус з вогнетривким футеруванням обертається навколо центральної осі. Брухт завантажується через передній отвір. Пальник може розташовуватися у передній частині або у задній частині. Традиційно обертовий барабан має фіксовану вісь, що означає, що центральна лінія обертання залишається в горизонтальному положенні. У обертових печах можна обробляти брухт багатьох типів та розмірів. Хоча дрібний брухт має велику питому поверхню, поверхня, що піддається впливу пічної атмосфери, дуже мала. Сольовий флюс додається для захисту матеріалу від окиснення. Нахильна обертова піч потребує менше солі, ніж піч з фіксованою віссю. Залежно від якості брухту та використання нахильної обертальної печі коефіцієнт солі (кг солі на кг неметалевого продукту) може бути знижений до менш ніж 0,5.

Для відведення шлаку в печі з фіксованою віссю по колу барабана розташована велика льотка. Шлак збирається у шлакових бункерах під піччю. Випускання рідкого металу та відведення шлаку може займати багато часу.

У нахильних печах дуже великий завантажувальний отвір досягається шляхом нахилу печі назад. Для плавлення піч обертається у нахиленому назад положенні. Для випускання металу піч розташовується горизонтально або трохи нахиляється вперед, щоб рідкий метал міг витікати в систему жолобу. Після випускання металу шлак видаляється шляхом подальшого нахилення печі, та під час повільного обертання барабана вивантажується в ємності під отвором печі. Таким чином, можна подолати труднощі, пов'язані з випусканням та розвантаженням печей з фіксованою віссю.

Індукційні печі
Індукційні печі використовують електроенергію для плавлення брухту. Індукційне нагрівання використовує безконтактну передачу енергії між котушкою та електропровідною шихтою, тобто алюмінієвим брухтом. Оскільки димові гази відсутні, втрати на окиснення низькі, і димові гази не забруднюють довкілля. Проте, індукційні печі обробляють стружку або чистий брухт, і часто їхня потужність досить мала для сучасного заводу з виплавки вторинного алюмінію.

Шахтна піч
Конструкція печі, що використовується для сектора виробництва алюмінію аналогічна конструкції, зазначеній у Додатку
13.1. У секторі виробництва алюмінію ця піч використовується для плавлення виливків та відходів ливарних заводів.

Таблиця 4.66: Переваги та недоліки печей плавлення вторинного металу

Тип печі	Варіації	Основна галузь застосування	Переваги	Недоліки	Уловлювання газу	Коментарі
Відбивна або з закритим колодязем	Стандартна	Плавлення більших обсягів чистого брухту і сировини, забрудненої органічними матеріалами	• Велика потужність з точки зору виходу металу (100 т) • Кілька обмежень щодо розмірів сировини • Без використання солі	• Нижча теплова ефективність • Обмежені види сировини	Напівгерметична	• Високий вихід завдяки якості сировини • Можливе використання насосів для розплавленого металу
	З боковим колодязем	Як і вище, але дозволяє ефективно відновлювати дрібнішу сировину	• Велика потужність з точки зору виходу металу • Можливий ширший асортимент сировини • Зазвичай без використання солі	Нижча теплова ефективність	Напівгерметична	• Можливий високий вихід залежно від якості сировини • Можливе використання насосів для розплавленого металу
	Похилий під	Відділення алюмінію від забруднення металом з більш високою температурою плавлення (наприклад, залізо/сталь)	• Дуже ефективні для видалення забруднень з високою температурою плавлення	Нижча теплова ефективність	Напівгерметична	• Іноді вбудована в інші типи печей • Вихід залежить від рівня забруднення
Обертова піч	З фіксованою віссю	Перероблення широкого спектра сировини	• Немає обмежень щодо сировини • Хороша теплова ефективність • Ефективне видалення магнію • Не утворюється знімання/дросу • Дозволяє великі об'єми шихти (> 65 т)	• Відносно високий рівень використання сольового покриття • Розмір вихідного матеріалу може бути обмежений	Напівгерметична	• Сольові шлаки, що утворюються, повинні бути перероблені
	Нахильна	Так само як і для печі з фіксованою віссю	• Так само як і для печі з фіксованою віссю, але нижчий рівень використання сольового покриття і менша потужність	Розмір вихідного матеріалу може бути обмежений	Напівгерметична	• Сольові шлаки, що утворюються, повинні бути перероблені • Зазвичай використовується для нижчих сортів брухту та дросу

Індукційна	Тигельна	Плавлення чистого брухту або первинної сировини	• Досягається високий вихід продукту • Відсутність газоподібних продуктів згорання • Не потребується сольове покриття • Гнучкість використання (можлива періодична та безперервна обробка)	• Відносно невелике навантаження (< 10 т) • Обмежені види сировини • Розмір вихідного матеріалу може бути обмежений	Відкрите, за допомогою ковпака	
	Канальна	Так само як і для тигельної печі	• Досягається високий вихід продукту • Відсутність газоподібних продуктів згорання • Не потребується сольове покриття	Так само як і для тигельної печі, але підходить для більшої потужності (~ 20–25 т)	Напівгермет ична	
Шахтна		Плавлення чистих виливків та технологічного брухту у ливарних цехах	• Краща теплова ефективність	• Обмежені види сировини • Розмір вихідного матеріалу може бути обмежений	Напівгермет ична	Використовуєтьс я у процесі Meltower

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Повторне використання пилу з фільтра від виробництва вторинного алюмінію продемонстровано в Іспанії, Австрії та Італії. У цьому випадку пил і дим з обертової печі обробляються бікарбонатом натрію й активованим вугіллям у якості очисного матеріалу для видалення хлоридів, що утворюються в сольовому покритті, і утворюється хлорид натрію. Потім пил уловлюється в тканинному фільтрі та може бути завантажений в піч разом із сіллю.

Вихідний матеріал, тобто брухт, часто містить певну кількість органічних забруднювальних речовин, які є джерелом викидів органічного вуглецю (виражається як загальний летючий органічний вуглець, ЗЛОС). Залежно від конструкції печі в плавильну піч може бути введене додаткове повітря або кисень для зниження концентрації ЗЛОС (Німеччина).

Для підвищення ефективності слід використовувати металеві насоси або електромагнітне перемішування, а також застосовувати герметичні системи завантаження та систем спрямованого уловлювання диму для запобігання викидам пилу та підігрівання шихти в залежності від типу печі. Необхідно вибрати вихідний матеріал, який відповідатиме типу печі та системам боротьби з викидами, а невідповідну сировину передати іншим операторам за допомогою обладнання, призначеного для цієї мети. (Див. Таблицю 4.28).

Вплив на різні компоненти довкілля
Див. колонку недоліків у таблиці вище.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ці технології застосовні до всіх заводів з виробництва вторинного алюмінію залежно від типу використовуваної сировини.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Збільшення споживання енергії.
- Підвищення виходу процесів відновлення.
- Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Бельгії, Великій Британії, Австрії, Іспанії та Італії.

Довідкова література
[256, Winter 2007], [272, Al input 2008], [269, Broom 2005], [312, VDI 2008], [394, Schmitz 2006]

4.3.4.5 Технології зниження дифузних викидів в повітря з плавильних печей під час виробництва вторинного алюмінію

Опис
Технології, які слід розглянути:
- витяжний ковпак та герметизоване вікно печі;
- герметизований завантажувальний візок;
- спрямоване уловлювання диму.

Технічний опис
Робота печі, особливо завантаження та розвантаження, може призвести до витоку газів у навколишнє повітря. Такі гази є запиленими та часто містять частково згорілі органічні забруднювальні речовини з вхідного брухту і, можливо, елементи неповного згорання палива. Для вхідного матеріалу зі значною кількістю органічних забруднювальних речовин, наприклад, покриття, мастила та фарби, в піч подають надлишок повітря або кисню для спалювання піролізованих органічних сполук. Це дозволяє використовувати органічні забруднювальні речовини для генерації тепла та водночас знижує кількість викидів органічного вуглецю в димових газах. За необхідності можна використовувати допалювач для повного перетворення органічного вуглецю на CO_2.

Витяжний ковпак та герметизоване вікно печі
Вікно печі спроєктоване так, щоб справлятися з теплом всередині та холодним навколишнім повітрям зовні. Воно повинне бути простим в експлуатації та належним чином герметизованим, щоб підтримувати позитивний тиск усередині печі. Ковпак призначений для запобігання витоку диму в навколишнє середовище, коли вікно печі відчинене (наприклад, під час завантаження), та для уловлювання дифузних викидів.

Відбивна піч: Одна з сучасних конструкцій вікна печі являє собою міцну раму з окремих секцій жароміцного лиття. Рама значною мірою закладена у вогнетривкий матеріал таким чином, щоб площа теплопередачі була дуже мала. Рама вікна також має систему герметизації. Для герметизації використовується термостійкий безазбестовий мінеральноватний трос. Конструкції тримання тросу складаються з окремих секцій і дозволяють у разі потреби регулювати герметизацію. Під час закриття гідравлічні циліндри притискають усі вікна до віконної рами, забезпечуючи герметичність.

Деякі печі призначені для створення ущільнювальної сили шляхом переміщення віконного ролика по напрямному профілю. Для належного застосування цієї ущільнювальної сили напрямні профілі виконані у вигляді поворотних важелів, які дозволяють відсувати всю віконну конструкцію від віконної рами для підйому, тим самим повністю звільняючи трос, що герметизує або забезпечуючи його сильне притискання до віконної рами.

Для відбивної печі найкраще місце для відведення димових газів знаходиться над вікном печі, де має розташовуватися витяжний ковпак або димар. Тут розташована рампа підігрівання. Оскільки димові гази проходять через цю зону, забезпечується хороший теплообмін. Димар також може бути розташований в іншому місці та забезпечувати належний розподіл тепла в печі. Це пов'язано з тим, що високошвидкісні пальники створюють значну турбулентність у печі, що призводить до передачі тепла незалежно від напрямку основного потоку.

Обертова піч з фіксованою віссю: за винятком вікна печі та льотки, вся піч з фіксованою віссю закрита й ізольована для запобігання втратам енергії та запобігання дифузним викидам. Тому конструкція вікна печі є однією з найважливіших особливостей. Вікно

спроєктоване таким чином, щоб бути герметичним і простими в експлуатації. Для уловлювання дифузних викидів у верхній частині вікна печі розміщується витяжний ковпак.

Щодо звичайної стаціонарної обертової печі, завантажувальне вікно може бути повністю розміщене всередині сталевої камери. Проте, така конструкція складніша в експлуатації та вимагає значної кількості повітря, щоб бути ефективною, що, своєю чергою, вимагає великої фільтрувальної установки.

Одна з конструкцій обертових печей полягає в тому, що вікно закриває нижню половину отвору барабана і герметично притискається до барабана за допомогою динамічної системи з повітряним шлюзом. Повітря подається через поворотний важіль вікна. Витяжний ковпак встановлюється у верхній половині отвору печі. Він герметично притискається до обертового барабана за допомогою тієї ж системи, що і вікно. У разі правильного розміру ковпака будь-які димові гази, що виходять з барабана під час відкриття вікна, ефективно вилучаються системою для відпрацьованих газів.

У якості альтернативи, камера уловлювання диму використовується для покриття як зони завантаження, так і зони випускання обертової печі, що дозволяє використовувати єдину точку видалення, див. Рисунок 4.12.

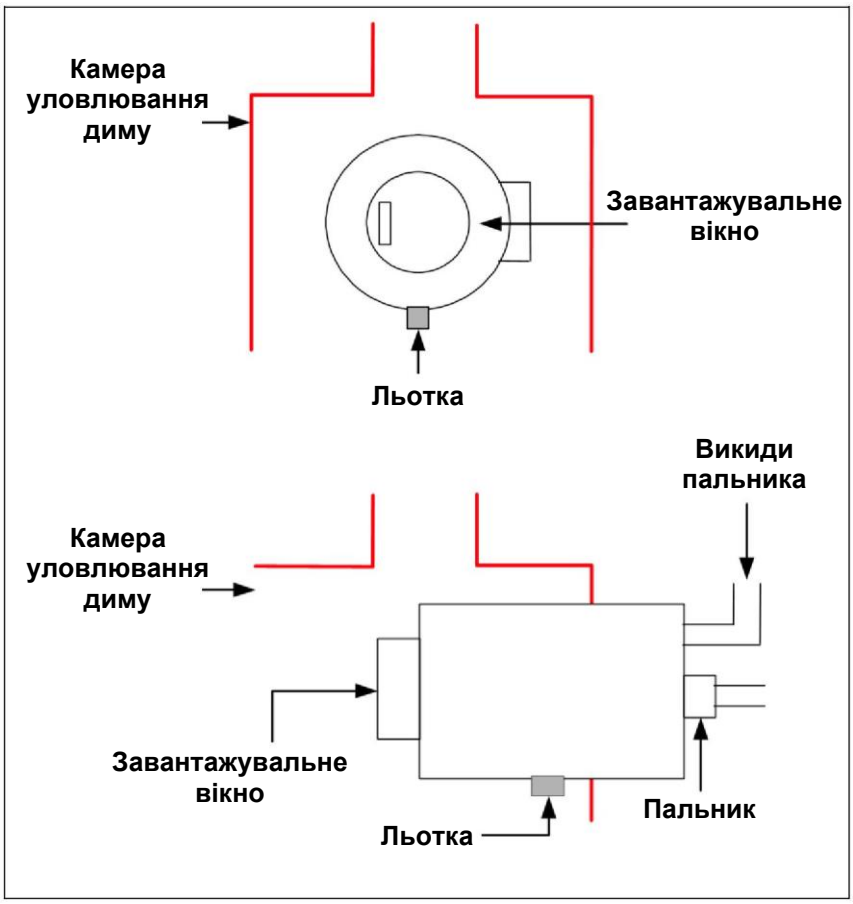


Рисунок 4.12: Приклад цілісної системи уловлювання диму

Герметизований завантажувальний візок
Завантажувальний візок або скіп використовується для передачі брухту в піч. Система розрахована таким чином, що скіп щільно прилягає до відкритого вікна печі під час вивантаження брухту і, таким чином, підтримує герметичність печі протягом цього періоду. Система також може мати камеру для попереднього нагрівання брухту перед завантаженням.

Спрямоване уловлювання диму
Система уловлювання диму може бути спроєктована таким чином, щоб вентилятор, що уловлює, міг бути спрямований на джерела диму, які змінюються в ході циклів завантаження, плавлення і випускання. Спрямоване уловлювання диму може бути досягнуте за допомогою автоматично керованих заслінок, які пов'язані з елементами керування печі, наприклад, відкривання вікна, положення пальника або нахил печі. Таким чином, робота заслінок можуть бути ініційована операціями завантаження, плавлення та випускання, а зусилля з уловлювання диму можуть бути спрямовані відповідно. Швидкість пальника також автоматично регулюється під час завантаження, щоб забезпечити мінімальний потік газу, коли вікно відчинене.

Досягнуті екологічні переваги
Витяжний ковпак та герметизоване вікно печі
- Запобігання дифузним викидам.
- Зменшення споживання енергії.

Герметизований завантажувальний візок
- Запобігання дифузним викидам під час завантаження брухту.

Спрямоване уловлювання диму
- Запобігання дифузним викидам.
- Зменшення споживання енергії.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна. Герметизований завантажувальний візок може застосовуватися тільки до необертових печей.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення дифузних викидів • Рекуперація енергії.

Приклади заводів
Заводи в Бельгії, Австрії, Іспанії, Німеччині та Італії.

Довідкова література
[118, Laheye, R et al. 1998], [231, COM 2007], [296, EAA, OEA 2012], [394, Schmitz 2006]

4.3.4.6 Технології зменшення викидів пилу у повітря в процесі плавлення

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра.

Технічний опис
Більшість заводів з виробництва вторинного алюмінію використовують рукавні фільтри зменшення викидів пилу і металів. У рукавному фільтрі відхідні гази проходять через пористу тканину або повстяну тканину, в результаті чого пил збирається на тканинному мішку шляхом просіювання або за допомогою інших механізмів. Пиловий осад, що утворюється на мішку, може значно підвищити ефективність уловлювання, і коли агент,

що абсорбує, використовується для видалення інших забруднювальних речовин (наприклад, кислоти), ця реакція також відбувається на поверхні мішку (див. Розділ 2.12.5.1. 4).

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На Рисунку 4.13 нижче показані максимальні, середні та мінімальні викиди пилу відповідно до наданих даних [378, Industrial NGOs 2012].

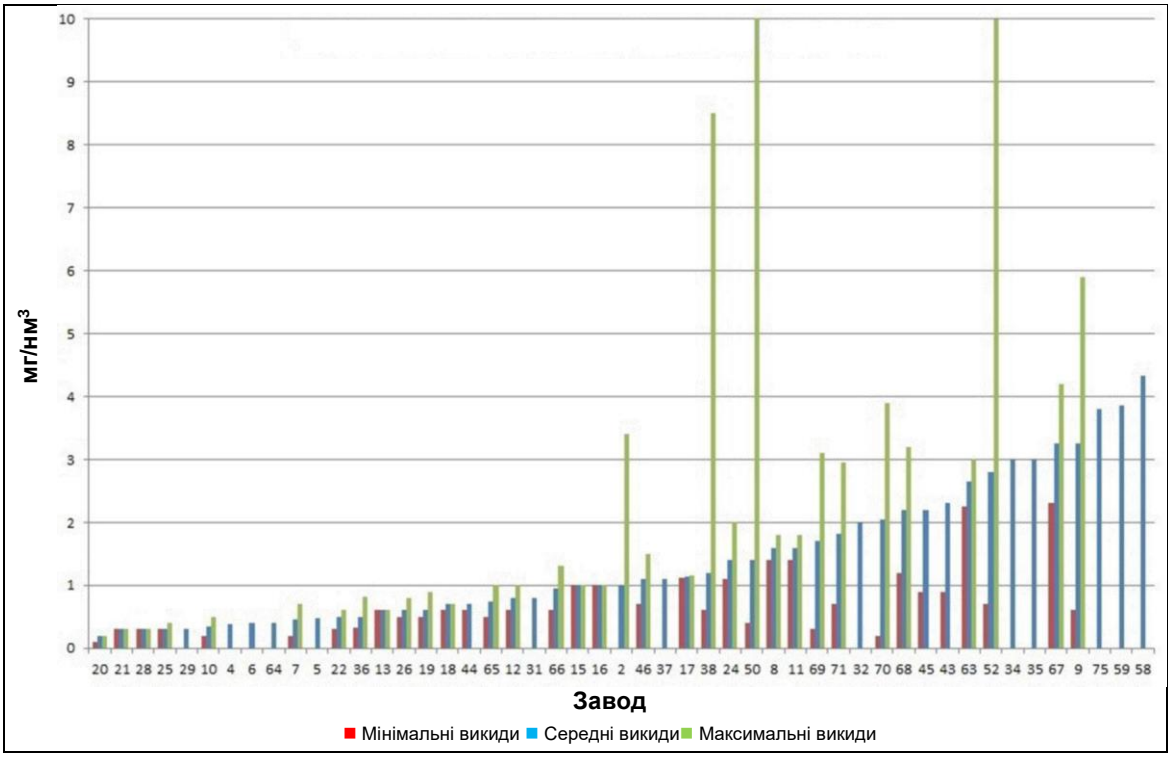


Рисунок 4.13: Викиди пилу від процесу плавлення на заводах з виробництва вторинного алюмінію

Із заводів 55 % повідомили про постійний моніторинг викидів пилу. Відсоток викидів пилу, що безперервно вимірюються, збільшується до 65 %, якщо розглядати тільки підприємства в діапазоні від 2 г/год до 100 г/год викидів пилу в середньому за рік або середньорічні вимірювання.

Таблиця 4.67: Викиди в процесі плавлення на австрійському заводі

Технологія	Забруднювальна речовина	Одиниці вимірю-вання	Значення			Періодичність моніторингу
			Макс.	У середньому	Мін.	
Обертова барабанна піч - рукавний фільтр	Пил	мг/нм^3	1,6	НЗ	1,4	Періодичний
	NO_2	мг/нм^3	157	НЗ	10	Періодичний
	ПХДД/Ф	нг/Нм^3	НЗ	< 0,1	НЗ	Періодичний
	HCl	мг/нм^3	24,6	НЗ	3,5	Періодичний
	HF	мг/нм^3	4,7	НЗ	0,2	Періодичний
	Hg	мг/нм^3	0,002	НЗ	0,001	Періодичний
	Pb, Zn, Cr, Cu, Mn, V, Sn	мг/нм^3	0,047	НЗ	0,045	Періодичний
Нахильна обертова піч - допалювач - вдування вапна - рукавний фільтр	Пил	мг/нм^3	1,1	НЗ	0,7	Періодичний
	ЛОС	мг/нм^3	398	НЗ	0,3	Безперервний
	HCl	мг/нм^3	1,8	НЗ	1,6	Періодичний
	HF	мг/нм^3	0,8	НЗ	0,06	Періодичний
	Hg	мг/нм^3	0,0007	НЗ	0,0005	Періодичний
	Pb, Co, Ni, Se, Te	мг/нм^3	0,005	НЗ	0,003	Періодичний
	ПХДД/Ф	нг/Нм^3	НЗ	< 0,1	НЗ	Періодичний
НЗ = Не зазначено *Джерело:* [393, Austria 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути перероблений.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовне.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вимоги законодавства з охорони довкілля.
- Відновлення сировини.

Приклад заводу
Усі заводи в ЄС-28.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

4.3.4.7 Технології зменшення викидів у повітря органічного вуглецю з плавильної печі

Опис
Технології, які слід розглянути:
- допалювач;
- система внутрішнього пальника.

Технічний опис
Залежно від типу брухту, особливо органічних забруднювальних речовин, димові гази з печей можуть містити різні органічні сполуки, виражені у вигляді загального леткого органічного вуглецю (ЗЛОС). Допалювачі або системи внутрішніх пальників призначені для підтримання відповідної температури та можуть додатково спалювати органічні сполуки в димових газах та перетворювати їх на CO_2, H_2O та HCl.

Допалювач
Система допалювача складається з вогнетривкої камери з одним або декількома пальниками. Конструкція камери повинна враховувати час перебування газів, а цей параметр строго залежить від складу органічних сполук, зокрема від вмісту хлору.

Система внутрішнього пальника
У системі внутрішнього пальника потік вихлопних газів спрямовується через полум'я пальника, а органічний вуглець також перетворюється за допомогою вільного кисню в CO_2. Вона зазвичай застосовується у двокамерній печі. У першій камері (камері завантаження) відбувається піроліз органічних матеріалів, потім дим надходить у другу камеру (камеру нагріву), де відбувається спалювання органічних сполук киснем.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення кількості органічних сполук, в тому числі ЛОС, CO та ПХДД/Ф.
- Зниження споживання енергії під час використання системи внутрішніх пальників.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Середнє значення періодичних вимірювань (або періодичного надання даних) за один рік коливається від 1 мг/Нм^3 до 26 мг/Нм^3.

Викиди ЗЛОС, які безперервно вимірюються, на заводі з виробництва вторинного алюмінію, показані в Таблиці 4.68 нижче.

Таблиця 4.68: Викиди ЗЛОС, що вимірюються безперервно, на заводі з виробництва вторинного алюмінію

Забруднювальна речовина	Значення викидів				Середнє значення
	Мінімум	Середнє значення	95-й процентиль	Максимум	
ЗЛОС (мг/нм^3)	0,1	16,34	45,85	98	За пів години
	2,4	17,28	29,8	42,5	За день

На Рисунку 4.14 нижче показані викиди ЗЛОС згідно з наданими даними [378, Industrial NGOs 2012].

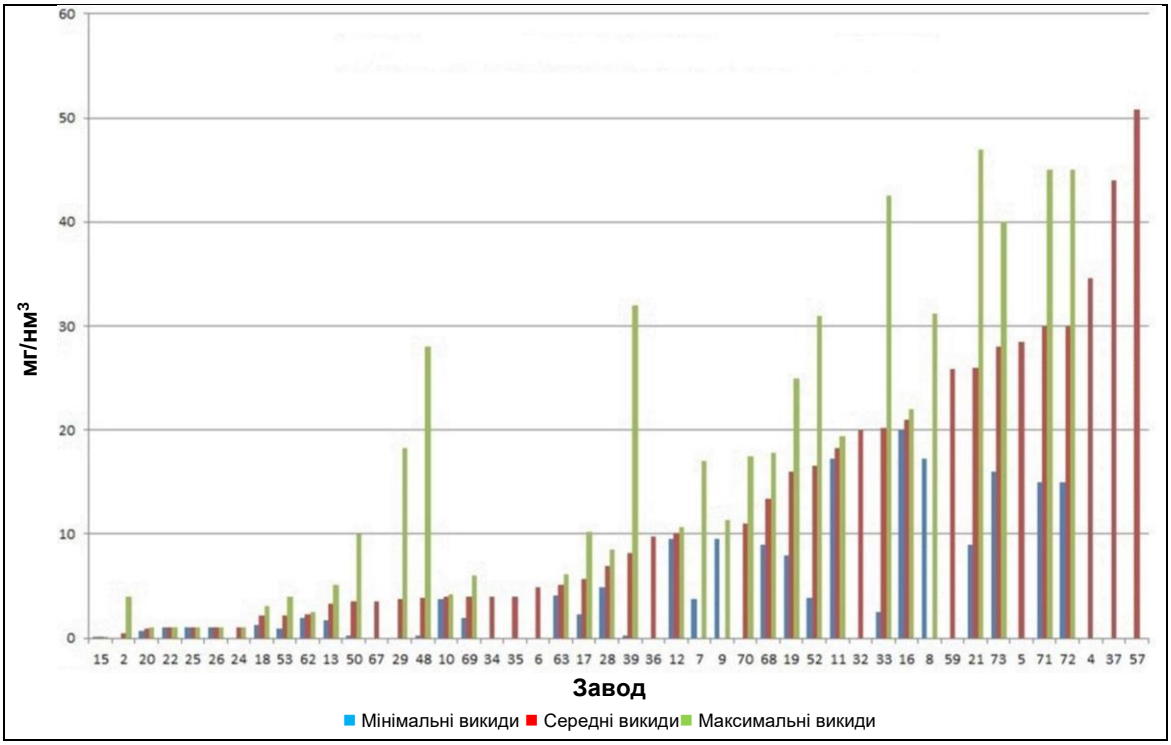


Рисунок 4.14: Викиди ЗЛОС на заводах з виробництва вторинного алюмінію

Тільки 28 % заводів з виробництва вторинного алюмінію постійно вимірюють викиди ЗЛОС.

Вплив на різні компоненти довкілля
Допалювач
- Збільшення енергоспоживання.
- Збільшення викидів NO_X та CO_2.

Система внутрішнього пальника
Не повідомлялося про жоден влив на компоненти довкілля.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Зниження споживання енергії під час використання системи внутрішніх пальників.

Приклади заводів
Заводи в Австрії, Німеччині та Італії.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

4.3.4.8 Технології зменшення викидів у повітря кислих газів та органічного вуглецю, в тому числі ПХДД/Ф

Опис
Технології, які слід розглянути:

- вдування вапна та бікарбонату натрію;
- вдування активованого вугілля.

Технічний опис
Фільтр для пилу сам не може видаляти газоподібні компоненти з потоку відпрацьованих газів, але його можна використовувати для поверхневої реакції, якщо з димовими газами змішуються поглинальні агенти. Абсорбенти вводяться для нейтралізації кислотних компонентів та хлору шляхом хімічної реакції та для поглинання органічних сполук, таких як ПХДД/Ф. Активоване вугілля та карбонат кальцію ($CaCO_3$) або $NaHCO_3$ є абсорбентами, що часто використовуються на заводах з виробництва вторинного алюмінію. Активоване вугілля використовується для видалення та поглинання ПХДД/Ф та металів, якщо вони присутні. Реакції з різними кислотними сполуками:

$2HCl + CaCO_3 = CaCl_2 + H_2O + CO_2$
$2HF + CaCO_3 = CaF_2 + H_2O + CO_2$
$HCl + NaHCO_3 = NaCl + H_2O + CO_2$
$HF + NaHCO_3 = NaF + H_2O + CO_2$
$Cl_2 + 2NaOH = NaOCl + NaCl + H_2O$

Кількість абсорбентів, що використовуються, залежить від типу оброблюваного брухту і ретельного змішування абсорбентів з відпрацьованим газом. У середньому використовують 0,5–1 г/м^3 абсорбентів кислоти та 0,1–0,2 г/м^3 активованого вугілля.

Одним із прикладів інших сумішей є суміш гідроксиду кальцію ($Ca(OH)_2$), карбонату кальцію ($CaCO_3$) та групи мінеральних реагентів.

Абсорбенти зазвичай вводять у реактор за допомогою шнекового конвеєра, при цьому швидкість подання регулюється обертовим затвором із регульованою швидкістю або системою пневматичного подання. Після проходження реактора відпрацьований газ надходить у фільтр.

На деяких заводах, коли кількість органічних забруднювальних речовин у вихідному матеріалі, тобто у брухті, відносно велика, перед введенням вищезгаданих реагентів у відпрацьовані гази використовується допалювач, щоб забезпечити ефективне зменшення викидів ПХДД/Ф.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів органічних сполук, таких як ПХДД/Ф та кислих газів (HCl, HF).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рівні викидів, що досягаються під час вдуванні вапна/$NaHCO_3$/активованого вугілля або інших сумішей абсорбенту, такі:

ПХДД/Ф:
Середнє значення на основі вимірювання після 6-годинного відбору проб:
Діапазон: < 0,01–0,44 нг МТЕ/Нм^3;
Розподіл даних: < 0,1 нг МТЕ/Нм^3: 86,5%; 0,1–0,2 нг МТЕ/Нм^3: 5,4%;
0,2–0,44 нг М МТЕ/Нм^3: 8,1 %.

HCl:
Коли використовуються обертові печі викиди HCl походять з солі в поєднанні з деякою кількістю вологи. Тут викиди HCl зазвичай нижче 10 мг/Нм^3. Їх кількість зменшують за допомогою вдування вапна або бікарбонату натрію.

Коли для хлорування використовуються імпелери або пористі породи, значення HCl зазвичай становлять < 5 мг/Нм^3. Керамічні фурми спричиняють набагато вищі викиди HCl, та їх використання має бути припинено.

Середнє значення на основі періодичних вимірювань, зазвичай пів годинних або годинних вимірювань, які проводяться один або два рази на рік:
Діапазон: < 1–8 мг/Нм^3;
Макс. значення: 16,3 мг/Нм^3.

HF:
Середнє значення на основі періодичних вимірювань, зазвичай пів годинних або годинних вимірювань, які проводяться один або два рази на рік:
Діапазон: < 0,1–2,3 мг/Нм^3;
Макс. значення: 2,5 мг/Нм^3.

Рисунок 4.15, Рисунок 4.16, Рисунок 4.17, Рисунок 4.18 нижче показують викиди HCl, Cl_2, HF та ПХДД/Ф згідно з наданими даними [378, Industrial NGOs 2012]

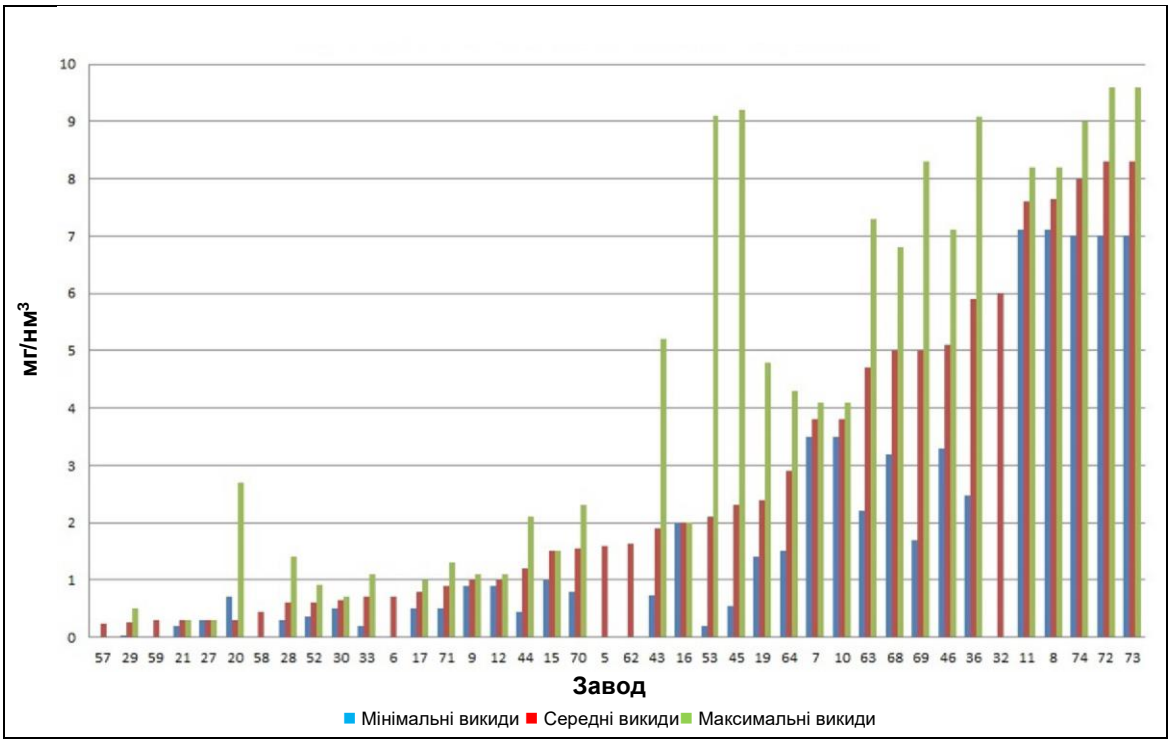


Рисунок 4.15: Викиди HCl на заводах з виробництва вторинного алюмінію

Один завод повідомив про постійний моніторинг викидів HCl.

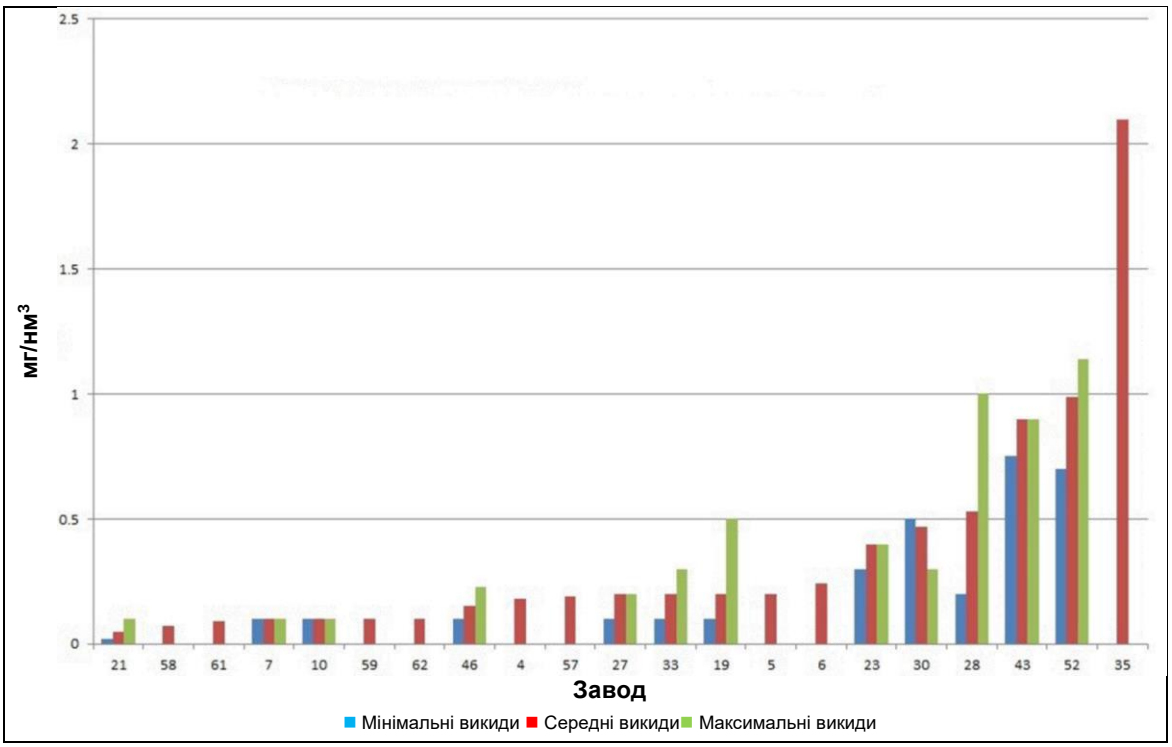


Рисунок 4.16: Викиди Cl_2 на заводах з виробництва вторинного алюмінію

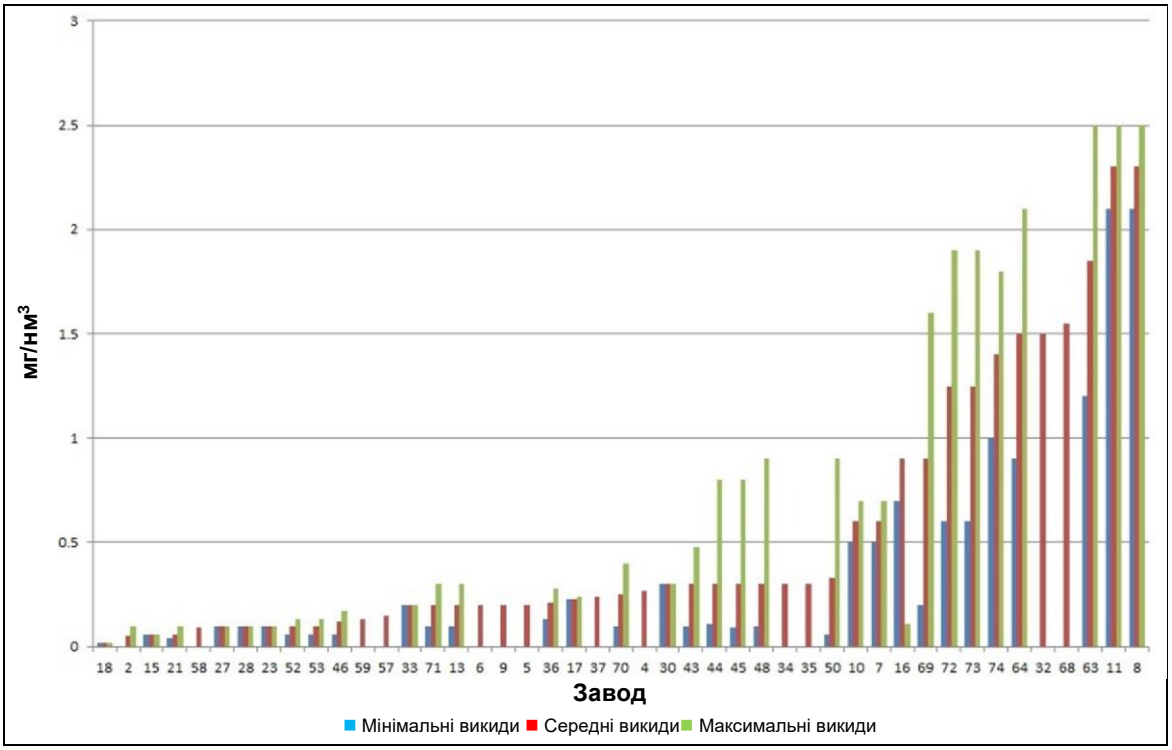


Рисунок 4.17: Викиди HF на заводах з виробництва вторинного алюмінію

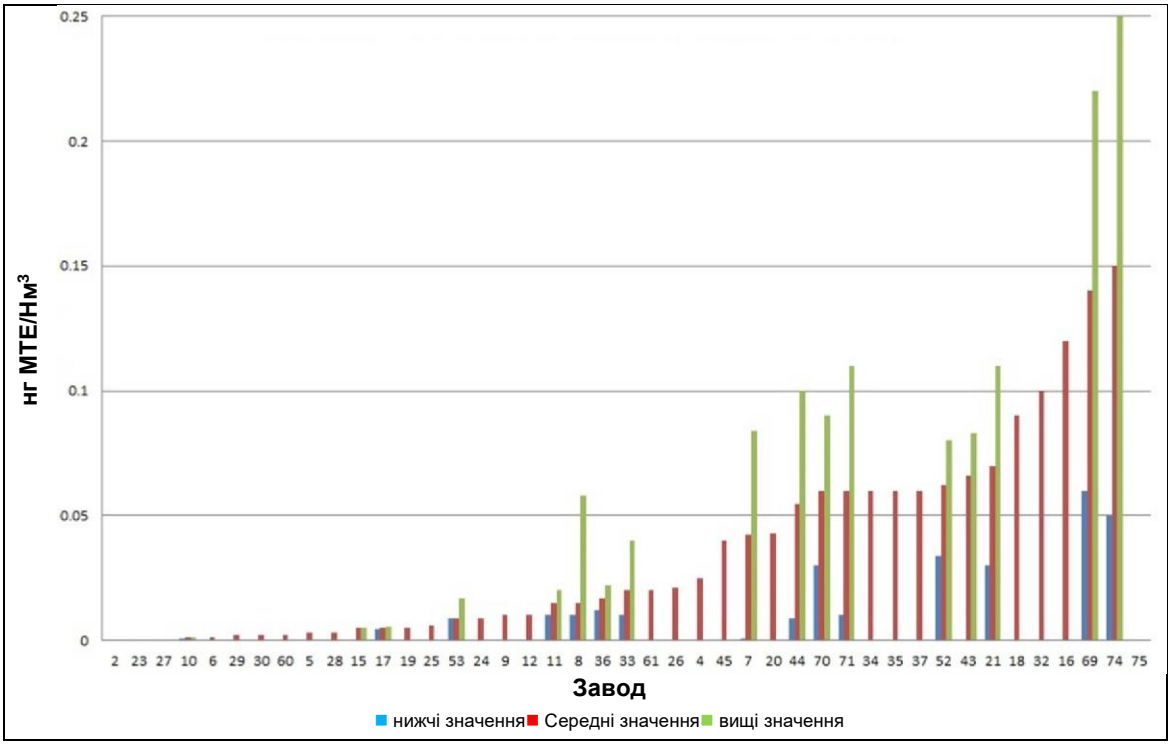


Рисунок 4.18: Викиди ПХДД/Ф на заводах з виробництва вторинного алюмінію

Вплив на різні компоненти довкілля
Використовуються добавки, і можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути використаний повторно.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Заводи в Австрії, Німеччині, Іспанії, Італії та Великій Британії.

Довідкова література
[298, Mensink 2005], [394, Schmitz 2006]

4.3.4.9 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря в результаті обробки розплавленого металу у виробництві вторинного алюмінію

Опис
Технології, які слід розглянути:
- контроль процесу рафінування та використання суміші хлору з інертним газом;
- сухий скрубер з використанням вапна або бікарбонату натрію у якості поглинального агента;
- постачання рідкого металу для прямого лиття у форму.

Технічний опис

Розплавлений метал очищають від газів та інших металів. Під час рафінування використовують суміш хлору
або інших агентів для обробки з інертним газом, при цьому виділяються хлор, HCl і HF.

Контроль процесу рафінування та використання суміші хлору з інертним газом

Якщо використовується надлишок хлору, він може виділятися у вигляді хлориду алюмінію, який може гідролізуватись у контакті з повітрям та утворювати HCl. Для запобігання або зменшення цього ефекту необхідний належний контроль процесу, а також використання суміші хлору з інертним газом замість чистого хлору.

Сухий скрубер з використанням вапна або бікарбонату натрію у якості поглинального агента

Вдування в димові гази перед рукавним фільтром вапна або бікарбонату натрію застосовується для зменшення кислотних викидів.

Постачання рідкого металу для прямого лиття у форму

Метал постачається у рідкому вигляді безпосередньо споживачу з метою економії енергії, необхідної для переплавлення алюмінієвого сплаву.

Досягнуті екологічні переваги

Контроль процесу рафінування та використання суміші хлору з інертним газом

Запобігання кислотним викидам.

Сухий скрубер з використанням вапна або бікарбонату натрію у якості поглинального агента (див. Завод 19)

Зменшення кислотних викидів.

Постачання рідкого металу для прямого лиття у форму

- Зменшення викидів у повітря.
- Економія сировини.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

У таблиці нижче показані значення викидів HCl, Cl_2 і HF

Таблиця 4.69: Викиди HCl, Cl_2 та HF від процесу обробки розплавленого металу у виробництві вторинного алюмінію

Завод	Технології	Забруднювальна речовина	Значення (мг/Нм^3)			Періодичність моніторингу
			Мін.	У середньому	Макс.	
19	Вдування вапна	Пил	0,5	0,6	0,9	3 рази на рік
		HCl	1,4	2,4	4,8	
		Cl_2	0,1	0,2	0,5	
28	Вдування вапна	Пил	< 0,3	< 0,3	< 0,3	3 рази на рік
		HCl	< 0,3	0,6	1,4	
		Cl_2	< 0,2	0,53	1	
		HF	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Німеччина	Вдування вапна	HCl	0,12	НЗ	0,56	4 рази на рік
		Cl_2	0,17		0,3	
		HF	0,19		0,2	3 рази на рік

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012], [385, Germany 2012]

Виробництво напівфабрикатів передбачає переплавлення алюмінієвих виливків у печі з супутнім споживанням енергії, втратами металу та викидами забруднювальних речовин. Енергоощадження шляхом постачання рідкого металу для прямого лиття у форму складає близько 1 МВт-год/т виробленого вторинного алюмінію. Зменшення дифузних та

каналізованих викидів для газової печі для переплавлення становить близько 80 г/т Al для пилу, а для викидів CO_2 — до 300 кг CO_2/т Al.

Вплив на різні компоненти довкілля
Контроль процесу рафінування та використання суміші хлору з інертним газом
Інформацію не надано.

Сухий скрубер з використанням вапна або бікарбонату натрію у якості поглинального агента (див. Завод 19)
Використовуються добавки, і можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил неможливо повернути у процес.

Постачання рідкого металу для прямого лиття у форму
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Контроль процесу рафінування та використання суміші хлору з інертним газом
Загальнозастосовна.

Сухий скрубер з використанням вапна або бікарбонату натрію у якості поглинального агента
Загальнозастосовна.

Постачання рідкого металу для прямого лиття у форму
Майданчик для лиття у форми замовника повинен бути розташований не більше ніж за чотири-п'ять годин від майданчика з виробництва рідкого металу.

Економічні аспекти
Економічні вигоди від постачання рідкого металу для прямого лиття у форми складає близько 80 євро/т алюмінію.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклад заводу
Завод 19, Завод 28, Франція, Німеччина.

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012], [395, France 2013]

4.3.4.10 Технології запобігання та зменшення викидів під час переплавлення

Опис
Технології, які слід розглянути:

- використання незабрудненого алюмінієвого матеріалу;
- оптимізація умов горіння для зниження концентрацій пилу;
- рукавний фільтр.

Технічний опис
Вміст пилу в димових газах коливається в широкому діапазоні та суттєво залежить від типу та кількості домішок у металовмісній сировині та пов'язаних з ним технологічних етапів (завантаження, обробка розплаву, знімання шлаку). У разі використання чистого брухту або матеріалів у виливках та за низької продуктивності плавлення питомі фракції пилу практично незначні та не вимагають будь-яких вторинних заходів [357, VDI 1998]

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Нещодавні дослідження на алюмінієвих плавильних заводах показують, що якщо в подових печах використовуються блокові матеріали і чистий рециркульований брухт, можна досягти низьких значень викидів пилу навіть без вторинних заходів. Піки короткочасних викидів виникають переважно у процесах хлорування та знімання шлаку (див. Розділ 4.3.4.9) та під час спалювання металу (пряме окиснення металу у вузько обмеженій частині печі). У ході цих досліджень було зроблено висновок, що запобігання спалювання металу і видалення пилу з частки потоку відпрацьованих газів, являють собою екологічно та економічно доцільний варіант відносно загального балансу процесу [357, VDI 1998].

Викиди з Об'єкта 1 продемонстровані у наступній Таблиці. На Об'єкті 1 є чотири заводи з переплавлення й одна піч витримки. У печах у якості палива використовується природний газ, і плавиться лише незабруднений брухт. Для зменшення викидів пилу не використовуються технології очищення в кінці виробничого циклу.

Таблиця 4.70: Викиди пилу на Об'єкті 1

Завод		Швидкість потоку (максимум) ($Нм^3$/год)	Пил		
			Значення ($мг/Нм^3$) ([1])		Рік
1	Переплавлення + лиття	14 000	Максимум	9	2008
		НЗ	Мінімум	< 0,2	2011
2	Переплавлення + лиття	7650	Максимум	17	2008
		НЗ	Мінімум	1	2009
3	Переплавлення + лиття	12 000	Максимум	14	2008
		НЗ	Мінімум	1,5	2009
4	Переплавлення	НЗ	Максимум	2,2	2011
		НЗ	Мінімум	1,1	2010
5	Секція витримки	НЗ	Максимум	15	2011
		НЗ	Мінімум	1,4	2010

([1]) Моніторинг викидів здійснюється кожні 6 місяців (період відбору проб складає 3 години).
НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Викиди з Об'єкта 2 продемонстровані у Таблиці 4.71. У печах у якості палива використовується природний газ, і плавиться лише незабруднений брухт. Для зменшення викидів пилу не використовуються технології очищення в кінці виробничого циклу.

Таблиця 4.71: Викиди пилу на Об'єкті 2

Завод		Швидкість потоку (максимум)	Рік	Пил (максимум)		Середнє значення
		($Нм^3$/год)		$мг/нм^3$	кг/т	
1	3 плавильних печі + 3 печі витримки	102 000	2009	12,7	0,0076	Максимальне значення: середнє значення 3 проб по 20 хвилин кожна
2	3 плавильних печі + 3 печі витримки	61 300	2009	12,7	0,0038	Максимальне значення: середнє значення 3 проб по 20 хвилин кожна
		НД	2012	6,53	НД	Моніторинг повного циклу
3	Плавильна піч + піч витримки	40 000	2007	14,7	0,0047	Максимальне значення: середнє значення 3 проб по 20 хвилин кожна
		-	2012	20,08	НД	Моніторинг повного циклу

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Викиди з Об'єкта 3 та Об'єкта 4 продемонстровані у наступній таблиці. На обох об'єктах у якості палива використовується природний газ, і плавиться незабруднений брухт. Для зменшення викидів пилу на Об'єкті 3 використовується рукавний фільтр.

Таблиця 4.72: Викиди пилу на Об'єкті 3 та Об'єкті 4

Об'єкт		Швидкість потоку (максимум)	Рік	Пил (максимум)		Середнє значення
		($Нм^3$/год)		мг/$нм^3$	кг/т	
3		НД	2012	1,4	НД	Моніторинг повного циклу
4	Плавильні печі + печі витримки	14 000	2009	12	0,035	Період відбору проб — 1 година
	НД	52 000	2009	4	0,013	Період відбору проб — 1 година
	НД	НД	2009	НД	0,007	Період відбору проб — 1 година

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
Використання рукавного фільтра призводить до збільшення споживання енергії.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги законодавства з охорони довкілля.

Приклади заводів
Об'єкти 1, 2, 3 та 4.

Довідкова література
[357, VDI 1998]

4.3.4.11 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря від знімання/дросу

Опис
Технології, які слід розглянути:

- охолодження знімання/дросу в герметизованих контейнерах під інертним газом;
- охолодження знімання/дросу в герметизованих контейнерах;
- ущільнення знімання/дросу за допомогою системи видалення повітря та зниження викидів пилу;
- запобігання намоканню знімання/дросу.

Технічний опис
Знімання/дрос утворюються в результаті реакції продуктів продування та окиснення розплавленого алюмінію на поверхні розплаву. Їх знімають із поверхні металу перед литтям. Знімання/дрос обробляються для відновлення вмісту алюмінію відразу після їх утворення, щоб зменшити викиди та зменшити втрату металу внаслідок окиснення. Герметизовані контейнери, або дросові преси, азотна або аргонова подушка, або ущільнення можуть використовуватися для мінімізації викидів та подальшого окиснення

знімання/дросу [103, COM 1998]

Знімання/дрос або переробляються на місці для відновлення алюмінію, або переробляються вторинною алюмінієвою промисловістю (див. Розділ 4.2.4.3).

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів у повітря.
- Зниження втрат сировини через окиснення.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Немає даних.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Збільшити обсягу відновлення сировини.

Приклади заводів
Інформацію не надано.

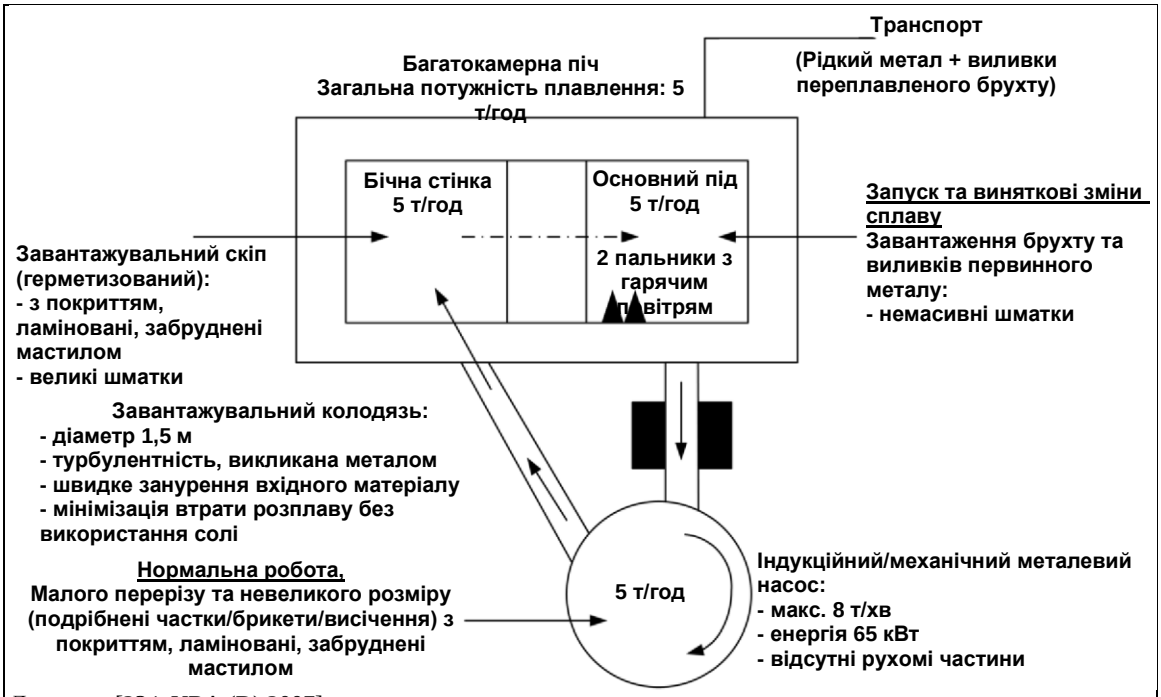
Довідкова література
[103, COM 1998]

4.3.4.12 Технології запобігання або зменшення утворення сольового шлаку

4.3.4.12.1 Застосування перекачування або системи перемішування металу для підвищення ефективності та зменшення споживання солі.

Опис
У цій технології використовується відбивна піч (також іменована камерною або колодязною піччю) з боковим колодязем, завантажувальним колодязем і системою перекачування металу. Механічне або електромагнітне перемішування передає тепло від основного поду до завантажувального колодязя; відсутність полум'я зменшує окиснення металу, тому цей процес залежить від використання солі.

Технічний опис
Перемішування вмісту за допомогою електромагнітних систем, розташованих під піччю, також використовується підвищення ефективності; у цих випадках перемішується весь вміст печі. Використання бічного колодязя дозволяє дрібним частинкам алюмінію «розчинятися» в розплавленому металі, що циркулює, і знижує втрати через окиснення (див. Рисунок 4.19).



Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Рисунок 4.19: Приклад системи перекачування металу

Використання камери підігріву шихти є високоефективним у поєднанні з системами перемішування. Вуглеводні виділяються під час попереднього нагрівання шихти, оскільки відбувається піроліз вмісту з брухту. Гази, що утворюються, направляються в систему пальника печі, яка руйнує вуглеводні та використовує вміст енергії для плавлення.

Досягнуті екологічні переваги
- Потенційне усунення сольового покриття та більший асортимент сировини, ніж у простих відбивних печах.
- Вдосконалене вловлювання газів печі.
- Зменшення кількості відходів, що утворюються і потребують обробки, і пов'язане з цим зменшення споживання енергії та викидів з печі.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформація про функціонування включена до опису. Зазначається підвищення обсягу виходу металу та зниження витрат на енергію.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується до нових та модернізованих відбивних печей, які можна пристосувати для використання технології перемішування.

Економічні аспекти
Витрати на 30-тонну піч та електромагнітну насосну систему у 1997 році склали 2,73 мільйона євро. Орієнтовна економія витрат (енергія, підвищений обсяг виходу, економія флюсів та економія на обробці) склала 1,26 млн євро на рік зі строком окупності 2,2 роки.

Вартість насосної системи та завантажувального колодязя склала ~456 000 євро.

Стимул до впровадження
- Зменшення використання сольового шлаку.

- Підвищення обсягу виходу металу.
- Покращення якості металу.

Приклади заводів
Заводи в Великій Британії, Бельгії, Німеччині, Австрії, Іспанії та Італії.

Довідкова література
[119, McLellan 1998], [120, McLellan 1998], [232, COM 2008], [256, Winter 2007].

4.3.4.12.2 Технологія підвищення ефективності та мінімізації використання сольового покриття

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання нахильної обертової печі для досягнення достатнього покриття розплаву з меншим використанням солі та перемішування для видалення домішок.

Технічний опис
Нахильна обертова піч потребує менше солі, ніж обертовий барабан. Коефіцієнт солі, тобто кг солі на кг неметалевого продукту для обертової барабанної печі становить 1,8, тоді як коефіцієнт солі для нахильної обертової печі становить від 0,1 до 0,5 (залежно від характеристик сировини). Невеликих кількостей солі можна досягти завдяки режиму роботи; в обертовій барабанній печі сольовий шлак необхідно видаляти з печі зі шлакової льотки, тоді як у нахильній обертової печі сольовий шлак видаляють шляхом нахилу печі. Також під час роботи піч нахиляють таким чином, щоб була нижня поверхня, яку необхідно покрити.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення кількості утвореного сольового шлаку.
- Зменшення кількості відходів, що утворюються і потребують обробки, і, таким чином, пов'язане з цим зменшення споживання енергії та викидів внаслідок процесів обробки [256, Winter 2007].

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
- Зниження коефіцієнта використання солі до < 0,5 кг солі на кг неметалевої сировини.
- Підвищення показників відновлення алюмінію.
- Розширення діапазону сировини, що може використовуватись.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується тільки до нових печей, оскільки її не можна модернізувати для наявних/старих печей. Існують обмеження за розміром, тобто дуже дрібні частки будуть окиснюватися, а великі одиниці не помістяться в піч, тому технологія застосовується не для всіх видів сировини.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Економія витрат через відсутність необхідності купувати та обробляти сіль робить цю технологію економічно вигідною.

Стимул до впровадження
- Зменшення утворення сольового шлаку.
- Підвищення обсягу виходу металу.

Приклади заводів
Заводи в Австрії, Німеччині, Іспанії, Франції, Італії та Великій Британії.

Довідкова література
[142, Boin, U. et al. 1998], [256, Winter 2007]

4.3.5 Сольовий шлак

4.3.5.1 Повне перероблення сольового шлаку

Опис
Повне перероблення сольового шлаку є комбінацією різних фізико-хімічних етапів, у яких використовуються різні характеристики матеріалу трьох основних компонентів сольового шлаку (алюміній, оксид алюмінію та сіль).

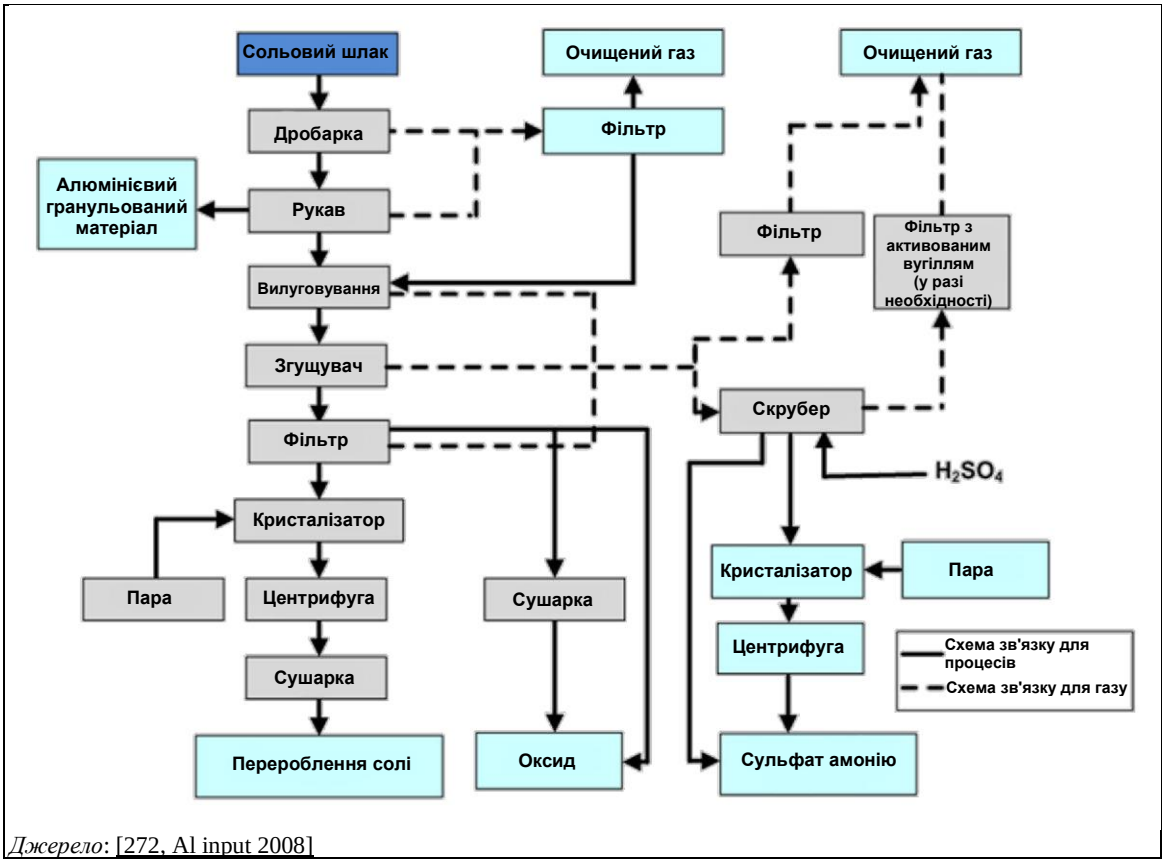
Технічний опис
У процесах повної перероблення сольовий шлак повністю переробляється в товарну продукцію без утворення будь-яких залишків, а також можна уникнути утворення стічних вод.

Три основних компоненти типового сольового шлаку:
- металевий алюміній (4–10 % мас.), практично нерозчинний у воді; під час дроблення демонструє чітку пластичну поведінку матеріалу;
- оксидні компоненти (35–75 % мас.), нерозчинні у воді та крихкі; під час дроблення вони утворюють дрібний пил;
- лужні хлориди (20–55 % мас.), добре розчинні у воді; вони крихкі та можуть піддаватись дробленню.

Великі блоки сольового шлаку поступово дробляться та подрібнюються до прийнятного розміру, а потім просіюються для вилучення гранул металевого алюмінію (зазвичай до 10 %). Потім дрібно подроблений матеріал розчиняють у воді. Лужні хлориди потрапляють у розчин та утворюють сольовий розсіл. Великі алюмінієві грануляти відокремлюють від нерозчинної фракції, що складається з оксидів металів (переважно глинозему) і порошку дрібнодисперсного металевого алюмінію в системі сухого і мокрого просіювання. Розсіл фільтрують, видаляючи нерозчинні оксиди, потім розчин направляють на випарювання та кристалізацію, у ході яких вилучаються вихідні хлориди натрію та калію. Ці хлориди повторно використовуються у якості флюсів в процесі виплавки алюмінію.

У процесі рекуперації у різних секціях заводу утворюються водень, аміак, сірководень, фосфін та метан, а також пил. Їх уловлюють і обробляють або термічно для рекуперації енергії, або у вологій системі для перетворення аміаку в сульфат амонію, який можна вилучити для продажу [267, BEFESA 2008]

Типову схему процесу повного перероблення сольового шлаку показано на Рисунку 4.20.



Джерело: [272, Al input 2008]

Рисунок 4.20: Приклад процесу повного перероблення сольового шлаку

Залишкові оксиди металів включають оксиди алюмінію, магнію та кальцію (до 75 % Al_2O_3), а також оксиди кремнію, сульфати, нітрати та хлориди Шляхом зниження вмісту цих аніонів до прийнятного рівня на наступних етапах процесу (промивання та сушіння) утворюється дрібнодисперсний оксид алюмінію, який можна продавати для виробництва цегли, кераміки, глини, цементу та мінеральної вати як заміну природного матеріалу. Додаткові процеси промивання або обпалювання можуть використовуватися для продуктів особливої якості. Сольовий розсіл після промивання можна повернути на етап розчинення. Таким чином досягається повне відновлення матеріалів, присутніх у сольовому шлаку.

Існують деякі відмінності у використовуваних процесах (наприклад, механічна попередня обробка, етап вилуговування, обробка відпрацьованих газів, розділення твердої та рідкої фаз). На деяких заводах система подрібнення суха, тому немає викидів газів, а на інших останній етап подрібнення здійснюється з використанням води. Все обладнання подрібнювальної установки герметизоване для запобігання дифузним викидам пилу.

Досягнуті екологічні переваги

- Запобігання захороненню.
- Відновлення солі для повторного використання та частини алюмінію для перероблення, а також виробництво глинозему для продажу та сульфату амонію для використання у якості добрива. Єдиним технологічним відходом є активоване вугілля, якщо воно використовується для зменшення кількості викидів у повітря.
- Процеси повного перероблення не утворюють стічних вод.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Відсоток відновлених компонентів:

- 100% металевого алюмінію;
- 100% розчинної солі;
- 100% нерозчинних оксидів алюмінію.

Обробка відхідних газів з використанням активованого вугілля може мати значну перевагу у видаленні фосфіну в порівнянні з допалюванням, але слід розглянути питання щодо утилізації або обробки відпрацьованого вугілля. Операції дроблення можуть викликати утворення великої кількості пилу, якщо вони не виконуються з належним видаленням відхідних газів.

Досягнуті рівні викидів наведено у Розділі 4.3.5.3 для різних методів усунення забруднення довкілля.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Збільшення викидів у повітря аміаку, фосфіну, сірководню та пилу.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Витрати на обробку аналогічні до витрат на утилізацію, але дозволяють уникнути «майбутньої відповідальності».

Стимул до впровадження
Відновлення всіх компонентів шлаку та запобігання захороненню.

Приклади заводів
Заводи у Німеччині, Іспанії, Франції, Італії та Великій Британії.

Довідкова література
[113, ALFED 1998], [142, Boin, U. et al. 1998], [202, Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente 1999], [233, COM 2008], [234, UBA (D) 2007], [267, BEFESA 2008], [312, VDI 2008]

4.3.5.2 Часткове перероблення сольового шлаку

Опис
Процес проходить ті самі етапи, як і процес повного перероблення, але не всі компоненти сольового шлаку відновлюються. Хлорид алюмінію та калію відновлюється. Оксидну частину та розсіл грануляції використовують для рекультивації відвалів поташевих хвостів.

Технічний опис
Процес складається з трьох етапів, два з яких такі ж, як і у процесі повного перероблення сольового шлаку.

1. Сухий етап: дроблення та просіювання, а також відділення твердих крапель алюмінію, що містяться у шлаку. Це необхідно, тому що вони не розпадаються під час помелу, як крихкий сольовий шлак.

2. Мокрий етап: перетворення з розчиненням у воді й абсорбцією газів, що виділяються. Це відбувається у два етапи: лужний (NH_3, H_2) та кислотний (H_2S, PH_3, H_2). З газів буде утворюватись сульфат амонію та розчин фосфатів та сульфатів, що використовуються для рекультивації відвалів хвостів.

3. Хлорид калію розчиняють за температури близько 110 °C у гарячому розчині, насиченому галітом (кухонною сіллю) та недонасиченим сильвіном (хлоридом калію). Кухонна сіль залишається нерозчиненою та відфільтровується. Шляхом вакуумного охолодження хлорид калію кристалізується та переробляється у товарну продукцію. Цей залишок використовується для рекультивації відвалів поташевих хвостів.

Перші два етапи аналогічні до інших процесів, що використовуються в обробці сольового шлаку. Відмінність полягає у третьому етапі.

Досягнуті екологічні переваги
Відновлення Al та KCl.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Під час використання цієї технології показники відновлення становлять:
- 95 % вмісту алюмінію;
- 100 % KCl;
- 0 % вмісту оксидів.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Викиди пилу, аміаку, фосфіну та сірководню.
- Витрата стабілізатора (усереднення), який передбачає збільшення приблизно на 40 % мас. залишку, що утворюється.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Застосовність обмежена місцевими умовами, такими як наявність місця рекультивації відвалів поташевих хвостів.

Економічні аспекти
Економічних даних немає, але один завод експлуатується. У ньому повідомляється зниження енергоспоживання у порівнянні з процесом повного перероблення, але сіль не відновлюється для повторного використання.

Утилізація будь-якого неперероблення матеріалу передбачає витрати.

Стимул до впровадження
Відновлення деяких компонентів сольового шлаку.

Приклади заводів
Завод у Німеччині.

Довідкова література
[234, UBA (D) 2007], [272, Al input 2008], [312, VDI 2008]

4.3.5.3 Технології зменшення викидів у повітря під час обробки сольового шлаку

Викидами у повітря в процесі обробки сольового шлаку є пил від дроблення і сухого помелу, і вони зазвичай вловлюються і видаляються рукавним фільтром. З іншого боку, в результаті мокрого помелу утворюються газоподібні викиди, що переважно складаються з водню, метану та аміаку, а також невеликих кількостей фосфіну та сірководню. Ці викиди можуть бути видалені фільтром з активованим вугіллям або мокрим скрубером, а іноді вони можуть бути спалені у відповідній системі допалювання. Зокрема, фільтри з активованим вугіллям можуть видаляти невеликі кількості аміаку, фосфіну та сірководню. Мокрі скрубери можуть обробляти вищі концентрації аміаку. Допалювачі можуть знищити всі вищезазначені гази. Кожна з цих технологій описана окремо нижче.

4.3.5.3.1 Фільтри для вловлювання пилу у процесі дроблення та сухого помелу сольового шлаку

Опис
Технології, які слід розглянути:

- закрите обладнання або витяжний ковпак, з'єднані із системою видалення газів;
- рукавний фільтр.

Технічний опис
Пил виділяється з сольового шлаку тільки під час сухого дроблення та сухого помелу. У цих операціях можуть використовуватися, наприклад, відбійні молотки, щокові дробарки, ударні дробарки, молоткові дробарки, стрижневі млини, кульові млини та вальцьові млини. Ці машини можуть бути повністю закритими або оснащені витяжними ковпаками та підключені до відповідних систем витяжки повітря, що приводяться у дію відсмоктувальними вентиляторами. Закрита система та витяжні ковпаки також можуть застосовуватися до транспортувального обладнання, такого як стрічки та шнеки, а також до точок подання та випускання, а також до з'єднувальних частин між ними.

З точок всмоктування пил, що переноситься у повітрі, направляється повітроводами до рукавних фільтрів, де пил відокремлюється. Відокремлений пил випадає з фільтра перед тим, як збиратися у жолобах або контейнерах, а потім транспортується у силоси. З силосів пил прямує на будь-який інший наступний етап процесу обробки сольового шлаку.

Пройшовши фільтри, чисте повітря звільняється від більшої частини пилу, за винятком незначної кількості дрібних зерен, які можуть просочитися через мішки та тому викидаються через димову трубу в атмосферу.

Досягнуті екологічні переваги
Закрите обладнання або витяжний ковпак, з'єднані із системою видалення газів
- Зменшення дифузних викидів.
- Запобігання виділенню запаху, викликаного аміаком.

Рукавний фільтр
Зменшення викидів пилу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Системи сухого уловлювання пилу, такі як рукавні фільтри, описані вище, можуть знизити концентрацію пилу у відпрацьованих газах приблизно з 1–50 г/Нм^3 у неочищеному газі до менше ніж 5 мг/Нм^3 в очищеному газі.

У разі високого вмісту пилу в технологічних газах (> 50 г/Нм^3) рукавні фільтри можна комбінувати з етапом попереднього розділення (циклон).

У Таблиці 4.73 показані викиди пилу на етапах дроблення та сухого помелу.

Таблиця 4.73: Викиди пилу на етапах дроблення та сухого помелу сольового шлаку

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/Нм^3)			Періодичні вимірювання
			Мін.	У середньому	Макс.	
Італія	Рукавний фільтр	Пил	НЗ	4,8	НЗ	Раз на рік
Німеччина	Рукавний фільтр	Пил	1	НЗ	2	НЗ
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [385, Germany 2012] [396, Italy 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна. Проте, рукавний фільтр зазвичай не здатний видаляти газоподібні домішки, такі як аміак, з неочищених відхідних газів. Структура рукавного фільтра, особливо мішків, може реагувати навіть з будь-яким аміаком, вологою тощо, які можуть міститися у неочищених газах. Волога, така як, наприклад, вологість у повітрі, може викликати відкладення і блокувати мішки фільтра. Тому їх не рекомендується використовувати для знепилення вологих технологічних газів.

Економічні аспекти
Для використання рукавного фільтра необхідне:

- споживання енергії: 0,55 євро/т Al;
- Експлуатаційні витрати% 0,18 євро/т Al.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм та норм у галузі охорони здоров'я.

Приклади заводів
Заводи в Німеччині, Іспанії, Італії та Великій Британії.

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012]

4.3.5.3.2 Фільтр з активованим вугіллям

Опис
Технологія, яку слід розглянути, полягає у використанні мокрого кислотного скрубера (див. Розділ 2.12.5.2.2), а потім фільтра з активованим вугіллям (див. Розділ 2.12.5.2.3) для зменшення викидів у повітря в процесі мокрого помелу та розчинення.

Технічний опис
У процесі мокрого помелу та розчинення дрібнодисперсні сольові шлаки вступають в реакцію з водою та виділяють переважно водень, метан та аміак, а також невеликі кількості фосфіну та сірководню. Вся система вентилюється з надлишком повітря, щоб підтримувати концентрацію газу нижче межі займання. Газ видаляється на виході з млина та реакційних резервуарів, охолоджується до потрібної температури (близько 70 ºC) і промивається у мокрому кислотному скрубері (див. наступний розділ) для видалення аміаку, а потім, нарешті, фільтрується через фільтри з активованим вугіллям для видалення сірководню і фосфіну перед викидом в атмосферу.

Активоване вугілля
Активоване вугілля, також іменоване активованим деревним вугіллям, є формою вуглецю, який був оброблений, щоб зробити його надзвичайно пористим і, таким чином, щоб він мав дуже велику площу поверхні, доступну для адсорбції або хімічних реакцій.

Відхідні гази нагріваються для запобігання конденсації води всередині адсорбера. Теплообмінник із насиченою парою підтримує температуру потоку до 70 ºC. Система складається з чотирьох адсорберів (вуглецевих ємностей), які працюють попарно паралельно. Газовий потік спрямовується на два адсорбери, тоді як два інших знаходяться на регенерації. Здійснюється моніторинг відхідних газів для контролю газоподібних викидів фосфіну і сірководню.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів H_2S (сірководень) та PH_3 (фосфін).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Викиди у довкілля
Значення PH_3 на вході коливається від 25 часток на млн (19 мг/Нм^3) до 75 часток на млн (55 мг/Нм^3), у середньому 50 часток на млн (37 мг/Нм^3). Концентрація відхідного газу становить менше ніж 0,1 частки на млн.

Значення H_2S на вході в середньому становить 20 часток на млн (15 мг/Нм^3). Концентрація відхідного газу становить менше ніж 0,1 частки на млн. Здійснюється регулярний моніторинг значень на вході та виході.

У Таблиці 4.74 показані дані про викиди, повідомлені заводом у Німеччині.

Таблиця 4.74: Викиди від млина мокрого помелу після фільтру з активованим вугіллям

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/Нм^3)		
			Мін.	У середньому	Макс.
K + S	Фільтр з активованим вугіллям	PH_3	0,1	НЗ	0,42
		H_2S	0	НЗ	0
		NH_3	0	НЗ	5
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [360, Germany 2013]					

Залишки
Активоване вугілля відновлюється. Коли він втрачає свою активність, і його вже неможливо відновити, його необхідно замінити. Потім використаний вуглець відправляється в компанію з поводження з відходами.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Утворення відходів.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується для обробки сольового шлаку за допомогою системи мокрого помелу. Система сухого помелу не потребує фільтрів з активованим вугіллям; вихлопні гази обробляються у системі спалювання (допалювач).

Економічні аспекти
Вартість на тонну сольового шлаку становить від 0,5 до 1 євро.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Заводи у Німеччині.

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012]

4.3.5.3.3 Мокрий кислотний скрубер

Опис
У процесі сухого помелу ця технологія (див. Розділ 2.12.5.2.2) використовується для очищення відхідних газів процесу відновлення солі (за винятком помелу). У процесі мокрого помелу мокрий скрубер використовується для очищення відхідних газів процесу мокрого помелу і розчинення.

Технічний опис
Мокрий скрубер використовує кисле середовище (H_2SO_4) для очищення газоподібних викидів (особливо аміаку).

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення основних викидів у повітря під час процесу відновлення солі (наприклад, аміаку).
- Скидання води відсутнє.
- Утворюється розчин сульфату аміаку, який може продаватися (наприклад, у якості добрива).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Ефективність технології переважно залежить від наступних параметрів:

- значення pH очисного розчину;
- перепад тиску.

Типовими рівнями викидів очищеного газу є:

- аміак: 1–20 мг/Нм^3;
- фосфін 0,2–1 мг/Нм^3;
- сірководень: 0,2–5 мг/Нм^3.

Пристрої контролю pH та перепаду тиску використовуються для контролю та підтримання ефективності технології.

Основними параметрами для правильної конструкції та експлуатації є:

- відносна швидкість води та газу;
- об'єм води та газу;
- кислі середовища та концентрація газових забруднювачів;
- поверхня контакту між повітряною та рідкою фазами.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Чотири заводи в Італії.

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012]

4.3.5.3.4 Допалювач

Опис
Допалювач (див. Розділ 2.12.5.2.1) використовується для очищення відхідних газів гарячого вилуговування порошку сольового шлаку.

Технічний опис
У допалювачах використовується система пальників (не обов'язково безперервного використання). Можуть використовуватися високотемпературні допалювачі, в яких гази зазвичай нагріваються до температури до 700–900 °C і витримуються не менше ніж 0,5 секунди.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання газоподібним викидам у процесі вилуговування, наприклад, аміаку, фосфіну. Скидання води відсутнє. Потенційна регенерація тепла.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Ефективність технології залежить від експлуатаційної температури та часу перебування для забезпечення ефективного руйнування матеріалів, присутніх у сировинному газі.

Паливом, яке використовується в допалювачі, є природний газ.

Типовими рівнями викидів очищеного газу є:

- аміак: 1–20 мг/Нм^3;
- фосфін 0,2–1 мг/Нм^3;
- сірководень: 0,2–5 мг/Нм^3.

У Таблиці 4.75 показані викиди, повідомлені заводами у Німеччині та Італії.

Таблиця 4.75: Викиди від дроблення, вилуговування, фільтрування та промивання сольового шлаку

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/Нм^3)		
			Мін.	У середньому	Макс.
K + S	Термічна обробка	PH_3	0,02	НЗ	0,02
		H_2S	< 0,7	НЗ	< 1,5
		NH_3	< 0,2	НЗ	< 0,2
Італія	Допалювач/ скрубер	PH_3	НЗ	0,7	НЗ
		H_2S	НЗ	4,5	НЗ
		NH_3	НЗ	5	НЗ
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [360, Germany 2013]					

Перед випусканням в атмосферу газ необхідно охолодити (можлива регенерація тепла) і очистити від пилу.

Пристрої контролю температури використовуються для камери згорання та моніторингу температури газу на виході з допалювача. Основний контроль температури призначений для забезпечення ефективності технології; другий — для захисту рукавного фільтра (якщо його встановлено).

Вплив на різні компоненти довкілля
Потенційне збільшення споживання енергії, якщо тепло, що генерується, не може бути використане.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Три заводи в Італії.

Довідкова література
[296, EAA, OEA 2012]

4.3.6 Стічні води

Повинні бути впроваджені системи запобігання та зменшення утворення стічних вод, а охолоджувальна вода повинна бути рециркульована. Усі стічні води повинні очищатися від твердих часток та масел/смол; абсорбовані кислі гази (наприклад, діоксид сірки, HCl) мають бути нейтралізовані. Технології, перелічені у розділах 0 та 4.1 є технологіями, які слід враховувати. У низці установок охолоджувальна вода й очищені стічні води, в тому числі дощова вода, повторно використовуються або переробляються в технологічних процесах.

4.4 Перспективні технології

Червоний шлам
Були розроблені процеси для використання червоного шламу та експлуатації його властивостей [247, France 2008]:

- згущення шламу для отримання високого виходу за низьких виробничих витрат або використання фільтрування під високим тиском для застосування у будівельній промисловості, наприклад, для агрономічних кріплень, дорожніх насипів, покриття відвалів контрольованої утилізації, заповнення порожнин або у цементній промисловості;
- використання його фарбувальних властивостей для потенційних застосувань пігментів, наприклад, для термопластичних продуктів, цементного покриття, фарби та спеціального покриття для підлоги;
- адсорбція та регулювання забруднювальних речовин, таких як миш'як.

Інертні аноди
Розробка нових безвуглецевих анодів дозволить побудувати абсолютно нову електролітичну камеру без анодів, що витрачаються. Замість вуглекислого газу на аноді утворюватиметься кисень, а викиди ПАВ будуть усунені. Технологія для цього все ще перебуває на стадії експериментального заводу, і аноди ще не були виготовлені [303, ENVIRONNEMENT CANADA 2008]

Змочувальні катоди
Розробка нових катодних матеріалів або покриття для наявних катодних матеріалів для підвищення енергоефективності електролітичного процесу. Вони знаходяться на етапі розробки та були протестовані у дослідницьких камерах.

Розділення сплаву
Технології розділення алюмінієвого брухту на різні типи сплавів були випробувані з використанням лазерної технології та технології вихрового струму. Перевагою цієї технології буде легший вибір матеріалів для перероблення та можливість легшого виробництва необхідних сплавів на заводах з перероблення.

Обробка дросу без використання солі
Це передбачає обробку дросу для відновлення алюмінію в обертових печах без використання сольових флюсів. Цей процес забезпечує дещо нижчий рівень відновлення алюмінію з дросу, але знімання, що залишилися, не містять солей і можуть використовуватися у виробництві сталі з використанням дугових електропечей. Цей процес пропонує як екологічні, так і економічні вигоди обох галузей. Алюмінієва промисловість отримує вигоду від збереження сольових флюсів та утворення побічного продукту, який можна легко відновити в іншій галузі, тоді як сталеливарна промисловість отримує вигоду від кращої десульфуризації, зниження енергоспоживання, збільшення виходу металу та заміни аналогічної дорогої сировини (наприклад, флюси, що містять Al/Al_2O_3, у якості розкислювачів і шлакоутворювачів).

Відновлення відпрацьованого футерування електролізера
Відновлення відпрацьованого футерування електролізерів у процесі, що зараз застосовується для повного перероблення сольового шлаку. Процес такий самий, як і той, що використовується у повній переробці сольового шлаку. Він складається з сухого помелу вихідного матеріалу, реакції, розділення розчинних та нерозчинних речовин, промивання нерозчинної фракції та випарювання розчинної фракції. Суміш відпрацьованого футерування електролізера та сольових шлаків прискорює окиснення ціанідів на етапі реакції. Розчинні фториди видаляються і кристалізуються разом із сіллю, що надходить із сольових шлаків, на етапі випарювання. Тверді відходи та стічні води не утворюються.

Плавлення дросу без використання солі
Застосування дугової електропечі для плавлення дросу без використання солі.

Перероблення сольового шлаку шляхом електродіалізу
Вилучення солі за допомогою електродіалізу, а не концентрування.

Безперервний моніторинг HF

Безперервний моніторинг викидів HF з димових труб для виявлення несправностей у системах боротьби з викидами (у глиноземному скрубері/тканинному фільтрі).

Безперервні вимірювання HF також можна застосовувати для контролю додавання глинозему в сухий скрубер, що призводить до оптимального використання адсорбційної здатності глинозему, більш цільного аналізу глинозему та кращого контролю піків викидів.

5 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА СВИНЦЮ ТА ОЛОВА

5.1 Прикладні процеси та технології

Свинець та олово отримують головним чином за допомогою пірометалургійних процесів, що передбачають використання печей. Виробництво свинцю можна розділити на первинні та вторинні процеси, залежно від матеріалів, що обробляються. Виплавка первинного свинцю спрямована на перетворення свинцевих руд та концентратів, комплексних вторинних матеріалів та часто деяких фракцій брухту свинцево-кислотних акумуляторів (пасти або сітки) у виливок чорнового свинцю, що вимагає подальшого рафінування. Вторинна виплавка свинцю переважно спрямована на перероблення брухту свинцево-кислотних акумуляторів, але інші відходи та брухт також можуть використовуватися як сировинний матеріал.

У деяких випадках використовувані технології можуть бути однаковими для вторинної або змішаної первинної та вторинної сировини, [11, Hatch Associates Ltd 1993], [99, Hähre, S. 1998]. В інших випадках відокремлюються вторинні матеріали, і деякі частини, такі як акумуляторна паста, відправляються іншим переробникам, які працюють з такими матеріалами.

Олово може бути вилучене із залишків, що утворюються у виробництві свинцю та вторинному рафінуванні міді, або під час видалення олова зі сталевих банок з покриттям. Олово також можна отримати з руди.

5.1.1 Первинний свинець

Існує два основних пірометалургійних процеси для виробництва свинцю з сульфіду свинцю або зі змішаних концентратів сульфіду свинцю та цинку:

спікання/виплавка у доменній печі або металоплавильній печі Imperial (ISF (Imperial Smelting Furnace), пряма виплавка.

Остання агломераційна/шахтна піч для виплавки первинного металу, що працює в ЄС-28, перейшла на процес прямої виплавки у жовтні 2013 року.

Всі процеси виплавки можуть використовуватися для концентратів, змішаних з вторинною сировиною.

Склад сировини варіюється в залежності від концентратів та її попередньої обробки. Можливість обробки певних концентратів визначається, серед іншого, здатністю процесу обробляти та вилучати супутні метали, такі як цинк, кадмій та ртуть.

Деякі діапазони вмісту основних компонентів свинцевого концентрату наведено у Таблиці 5.1.

Таблиця 5.1: Діапазони вмісту основних компонентів свинцевого концентрату

Компонент	Вміст (%)	Компонент	Вміст (%)
Pb	35-90	Cu	0–5
Zn	0-15	Ni	0–1
B	0-35	Cd	0–0,2
SiO_2	0–10	Cr	0–10
CaO	0–20	As	0–5
FeO	0-30	Hg	0–0,01
Джерело: [11, Hatch Associates Ltd 1993], [99, Hähre, S. 1998]			

5.1.1.1 Спіканні/виплавка в доменній печі або металоплавильній печі Imperial

У ЄС-28 є лише один об'єкт, на якому працює піч ISF для виробництва цинку та свинцю із цинкових/свинцевих концентратів. Цей процес описаний у Розділі 6.1.1.2.

Доменні печі та печі ISF все ще використовуються в країнах, що не входять до ЄС, для виробництва первинного свинцю. Крім того, в деяких країнах використовується комбінація прямої виплавки та доменних печей (наприклад, Китай).

5.1.1.2 Пряма виплавка

У прямій виплавці етап спікання не здійснюють окремо. Декілька процесів використовуються для прямої виплавки свинцевих концентратів та деяких вторинних матеріалів для виробництва чорнового свинцю та шлаку. Наступні процеси/печі передбачають пряму виплавку і використовуються як в ЄС-28, так і в усьому світі: Ausmelt/ISASMELT (ванна піч, піч з фурмою для продування методом занурення зверху), іноді в поєднанні з доменними печами, Kaldo (обертові конвертери з верхнім дуттям), інтегрованими процесами QSL (ванна піч) та електричними печами (що використовуються для обробки первинних свинцевих концентратів разом із вторинними матеріалами). Також використовується інтегрований процес Kivcet, який є процесом зваженої плавки. У печах Ausmelt/ISASMELT і QSL використовується волога сировина, а в печах Kaldo і Kivcet використовується висушена сировина [254, VDI 2004]. Процеси узагальнені в Таблиці 5.2 та Таблиці 5.3.

Інші печі, такі як плавильна піч Shuikoushan (піч з нижнім дуттям SKS), не використовуються в Європі, але експлуатуються в інших країнах.

У всіх процесах прямої виплавки концентрати окремо або разом із вторинним матеріалом змішуються з іншими плавильними добавками та флюсами, щоб отримати досить постійну сировину. Загальною практикою є відбір проб і визначення характеристик концентратів, а також окреме зберігання окремих концентратів, щоб можна було приготувати оптимальний усереднений матеріал для виплавки. Вихідний усереднений матеріал може бути підготовлений з систем бункерів-дозаторів з використанням конвеєрних ваг або систем, що працюють за принципом втрати ваги. Остаточне змішування та гомогенізація можуть відбуватися у мішалках, грануляторах або в системах транспортування та дозування. Якщо процес виплавки потребує сухої сировини, можна використовувати гарячу сушарку. Сушіння також можна застосовувати для зниження вологості сировини, коли вміст вологи є фактором, що обмежує процес виплавки.

У всіх печах суміш концентратів сульфіду свинцю та вторинних матеріалів завантажується безпосередньо в піч, а потім розплавляється та окиснюється. Діоксид сірки, що утворюється, уловлюють, очищають і перетворюють на сірчану кислоту. У розплавлену шихту додають вуглець (кокс або газ) та флюсувальні матеріали. Оксид свинцю відновлюється до свинцю та утворюється шлак. Деяка кількість цинку і кадмію випаровується в печі, а їх оксиди вловлюються на установці з очищення і відновлюються [117, Krüger, J. 1999] [117, Krüger, J. 1999]

У всіх процесах утворюється шлак, що містить свинець, і для обмеження цього ефекту в печах QSL і Kivcet передбачена вбудована зона відновлення для зниження вмісту свинцю в шлаку до прийнятного рівня. Шлак на основі діоксину кремнію з печі QSL прийнятий у якості будівельного матеріалу. З піччю Kaldo (також відомої як обертовий конвертер з верхнім дуттям) використовується суміжна шлаковипарна піч. Ausmelt/ISASMELT може працювати у двоетапному режимі, з однією піччю (періодичної дії) або двома паралельними печами (безперервної дії) для обробки первинного шлаку для використання в таких самих галузях. В іншому випадку одна піч може працювати безперервно для виробництва сирого свинцю та шлаку з високим вмістом свинцю для подальшої обробки та вилучення свинцю.

Регенерація тепла та перетворення діоксиду сірки на сірчану кислоту також є частиною цих процесів. Контроль процесу заснований на вимірюванні вмісту SO_2 у відхідних газах, що призводить до затримки реакції в процесі виробництва сірчаної кислоти.

Пил, уловлений на установках з очищення, повертається в процес і може бути промитий або підданий вилуговування для зменшення вмісту галогенідів [117, Krüger, J. 1999].

Всі ці процеси зайняли деякий час, перш ніж вони були повністю введені в експлуатацію і досягли очікуваних показників продуктивності та перетворення. Kaldo є двоетапним процесом [11, Hatch Associates Ltd 1993], [34, UNECE 1995], [99, Hähre, S. 1998] і добре зарекомендував себе з 1976 року. Процеси QSL та Ausmelt/ISASMELT подолали свої початкові проблеми та тепер працюють ефективно [234, UBA (D) 2007]. Процес Ausmelt у Німеччині може працювати із фазою відновлення шлаку, але фактично виробляє концентрат металургійного оксиду свинцю на продаж. Процес Kivcet успішно працює з 1990 року. [117, Krüger, J. 1999], [305, Ausmelt 2009].

Таблиця 5.2: Короткий огляд процесів прямої виплавки

Процес	Вміст свинцю в шлаку (%)	Коментарі
QSL	< 3	Ефективна робота. Життєздатний процес
Kivcet	3–5	Успішна робота
Ausmelt/ISASMELT	Шлак не утворюється ([1])	Ефективна робота. Життєздатний процес
Kaldo	2–4	Ефективна робота - змішаний Pb/Cu
Електрична піч		Ефективна обробка великого спектра матеріалів, що містять Cu/Pb
([1]) Ausmelt у Норденхамі зупиняє процес після етапу окиснення і продає концентрат оксиду свинцю замість відновлення шлаку. *Джерело:* [117, Krüger, J. 1999]		

Таблиця 5.3: Сировина, яка використовується в різних процесах прямої виплавки

Піч	Сировина	Коментарі
Kaldo (обертовий конвертер з верхнім дуттям) (повністю закритий)	Pb концентрат та вторинний матеріал (більшість сортів)	Суха сировина, змінний діоксид сірки. Експлуатується у комплексній установці з піччю для виплавки Cu
QSL	Pb концентрат та вторинний матеріал	Волога сировина
Kivcet	Cu/Pb концентрат та вторинний матеріал	Суха сировина
Ausmelt/ISASMELT	Pb концентрат та вторинний матеріал	Волога, гранульована сировина
Електрична	Cu/Pb концентрати та вторинні матеріали, що містять Cu/Pb	Суха сировина, сировинні матеріали у вигляді дрібного шламу гранулюються

5.1.2 Первинне олово

Первинне олово отримують за допомогою пірометалургійних процесів шляхом відновлення оксидної руди вуглецем або коксом. У ЄС-28 виробництво олова безпосередньо із руди відсутнє.

5.1.3 Виробництво вторинних свинцю та олова

У виробництві вторинних свинцю та олова можна використовувати широкий спектр матеріалів. Сюди можуть входити дрос, зола, штейн, залишки та шлак, що містить свинець та олово, з широким діапазоном всіх компонентів. Також можна використовувати брухт від свинцевого листа та відливів. Проте, свинцево-кислотні акумулятори є основною часткою сировини для вторинного свинцю.

5.1.3.1 Відновлення свинцю зі свинцево-кислотних акумуляторів

Брухт автомобільних та промислових акумуляторів (автомобільних, тягових та резервних) є основними джерелами вторинного свинцю. Директива 2006/66/ЕС Про Акумулятори містить цільовий показник ефективності перероблення свинцево-кислотних акумуляторів на рівні 65 % станом на вересень 2010 року. Типовий склад брухту свинцево-кислотних акумуляторів наведено в Таблиці 5.4.

Таблиця 5.4: Склад типового брухту свинцево-кислотних акумуляторів

Компонент	% мас.
Свинцеві (сплавні) компоненти (сітка, виводи тощо)	25–30
Електродна паста (дрібні частки оксиду свинцю і сульфату свинцю)	35–45
Розведена сірчана кислота (10–20 % H_2SO_4)	10–25
Поліпропілен	5–8
Інші пластмаси (PE тощо)	2–5
Інші матеріали (скло тощо)	< 1
Джерело: [377, ILA 2013]	

Існує два основних типи процесів вилучення свинцю з автомобільних акумуляторів [11, Hatch Associates Ltd 1993], [34, UNECE 1995], [99, Hähre, S. 1998].

1. **Процес перероблення у доменній печі:** після збору з використаних свинцево-кислотних акумуляторів зливають кислоту, яка, залежно від місцевих умов, продається у вигляді розчину кислоти для процесів водного вилуговування або нейтралізується. Поліпропіленова пластмасова фракція може бути відокремлена від всіх або частини акумуляторів. Осушені акумулятори потім змішують з коксом, флюсами та будь-яким іншим свинцевим брухтом та проміжними продуктами, щоб отримати шихту (суміш матеріалів) доменної печі. Виробляється сурм'яно-свинцевий виливок разом зі шлаком на основі діоксину кремнію та залізно-свинцевим штейном, які можуть бути відновлені у заводі з виплавки первинного свинцю [117, Krüger, J. 1999] [254, VDI 2004]. Загальний процес показано на Рисунку 5.1.

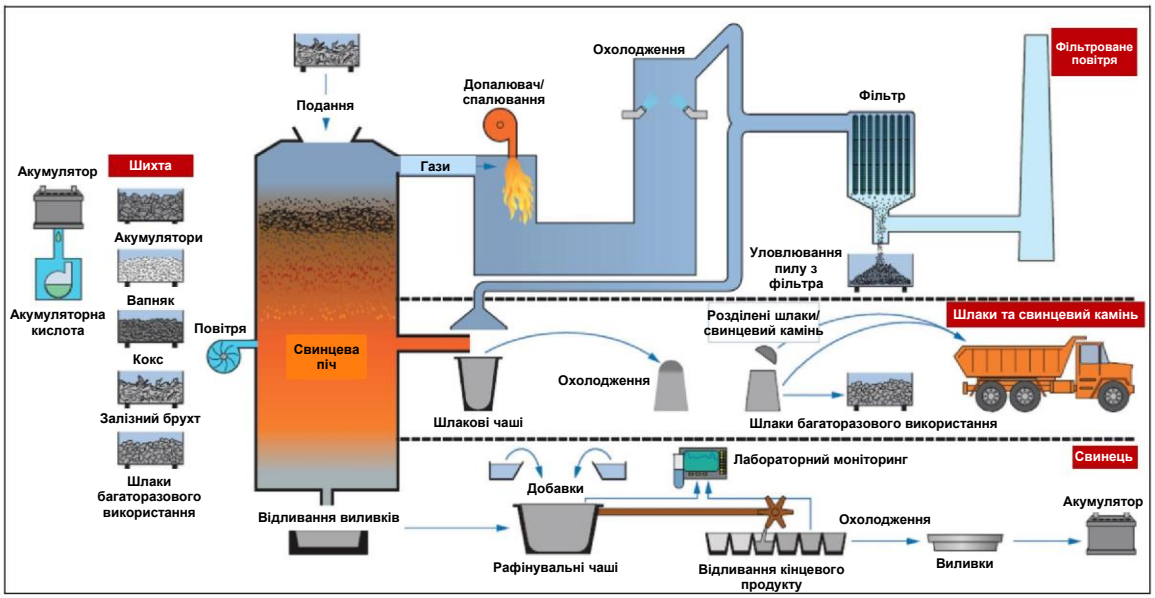


Рисунок 5.1: Схема типового процесу відновлення свинцево-кислотних акумуляторів у шахтній печі

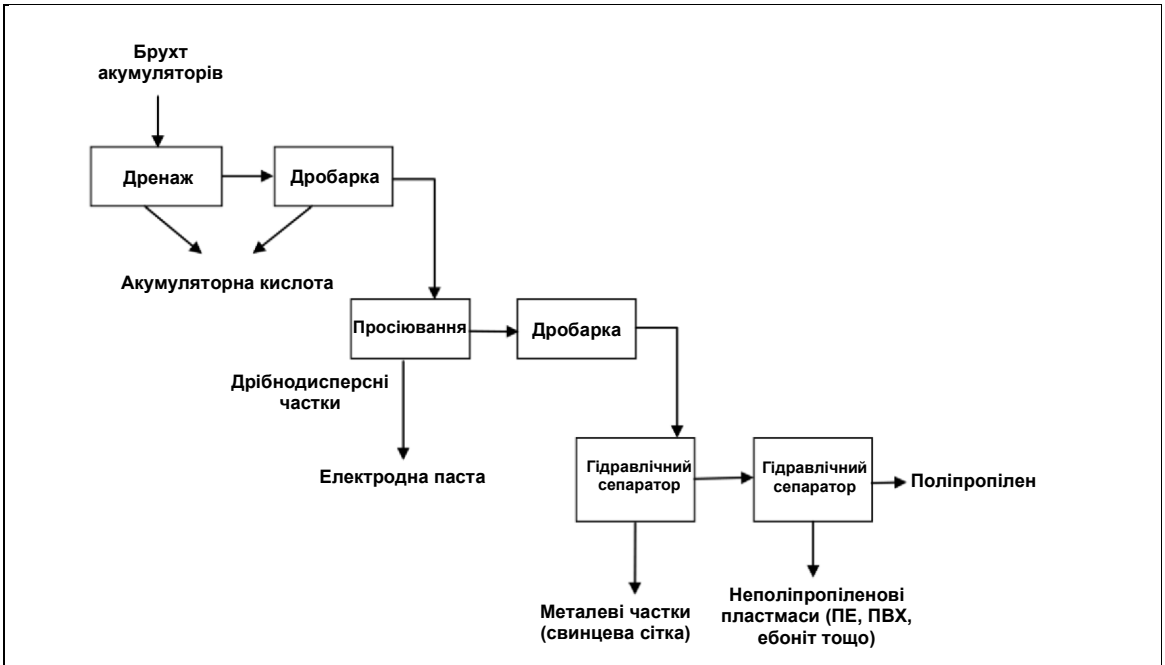
Органічні сполуки у відхідних газах печі окиснюються в допалювачі, потім гази охолоджуються і фільтруються в тканинному фільтрі. Пил з фільтра дехлорується та повертається в піч.

2. **Процеси механічного розділення акумуляторів з подальшою виплавкою:** Прикладами процесів механічного розділення є процеси MA та CX (Engitec). Ці процеси схожі за принципом, але технічні рішення для обробки акумуляторної пасти та сірчаної кислоти зовсім різні. В обох випадках з акумулятора зливають кислоту, їх розбивають і розділяють різні фракції за допомогою автоматизованого обладнання власної розробки. Десульфуризація пасти перед виплавкою допоможе зменшити кількість шлаку, що утворюється, і, залежно від використовуваного методу виплавки, кількість діоксиду сірки, що викидається в повітря [254, VDI 2004]. Процес показано на Рисунку 5.2.

І у процесі MA, і у процесі CX використовуються молоткові дробарки для дроблення цілих акумуляторів. Потім подрібнений матеріал проходить через серію сит, мокрих класифікаторів і фільтрів для отримання окремих фракцій, що містять металеві компоненти, пасту оксиду-сульфату свинцю, поліпропілен, пластмаси та гуму, що не підлягають переробленню, а також розбавлену сірчану кислоту [103, COM 1998]. У деяких процесах використовується другий етап помелу перед остаточним обробленням пластмасової фракції. Поліпропілен переробляється наскільки це можливо для широкого спектра застосувань.

Акумуляторна кислота містить 10-15% сірчаної кислоти та деякі домішки. Потенційне подальше використання залежить від місцевої ситуації, і існує кілька варіантів поводження із сіркою, що міститься в матеріалах акумулятора:
- лужне вилуговування з використанням лужної солі або розчину гідроксиду для видалення сульфатів із вторинних матеріалів перед виплавкою;
- десульфуризація сировинних матеріалів;
- фіксація сірки у фазі плавки за допомогою добавок;
- обробка потоку газу, що містить SO_2, шляхом вдування вапна та бікарбонату натрію;
- лужний або вапняний/вапняковий скрубер після фільтрування пилу;
- виробництво сірчаної кислоти.

Ці технології детально описані у Розділах 5.3.2.5 та 5.3.4.3.



Джерело: [99, Hähre, S. 1998]

Рисунок 5.2: Схема типового процесу відновлення свинцево-кислотного акумулятора

Плавка вторинного свинцю може здійснюватися у чотирьох основних типах печей:

- доменні печі;
- обертові печі;
- відбивні печі;
- електричні печі.

У процесі із застосуванням доменної печі (приблизно 15 % виробництва вторинного свинцю в ЄС-28) шихта завантажується у верхню частину печі. У нижній частині печі всередину вдувається повітря, збагачене киснем, для спалювання коксу та розплавлення матеріалів у шихті. Повітря, що подається у нижній частині, вступає в реакцію в печі, і газ, що прореагував, надходить у верхню частину печі через матеріал, завантажений через верхню частину. Сірка з акумуляторної пасти (сульфат свинцю) переважно (> 90 %) уловлюється залізним штейном. Сірка, що залишилася в печі (< 10 % введеного матеріалу), яка не була уловлена залізом у штейні, виходить з печі у вигляді газоподібного SO_2. Що стосується відхідних газів, то вуглеводні, що не прореагували, і залишковий CO обробляються в спеціальному опалювачі з подальшим очищенням SO_2 за допомогою сухого вапна або водного розчину лугу. Ці технології описані в Розділі 5.3.4.3. Там, де вони застосовуються, може бути досягнуто значної регенерації тепла з димових газів печі.

Обертові печі (найпоширеніші печі, що використовуються зараз), нахильні обертові та відбивні (найпоширеніші печі в США, також використовуються в ЄС-28) можуть працювати як на газі, так і на рідкому паливі, на деяких установках також використовується збагачення киснем. У обертових печах виплавка зазвичай відбувається партіями, шлак і метал випускаються окремо, а партії шлаку обробляються для вилучення більшої кількості свинцю та отримання стабільного шлаку. Більша частина сірки у шихті зафіксована у шлаку. Шлак може являти собою сполуку натрію, заліза та сірки з невеликими кількостями свинцю та інших металів або шлак з високим вмістом діоксину кремнію, який зазвичай більш прийнятний для утилізації. У нахильних обертових печах виплавка також здійснюється партіями, але шлак і метал можуть успішно випускатися разом без шкідливих наслідків і бути розділеними після охолодження. Фіксація сірки також дуже успішно досягається в шлаку і може бути на 40-80 % більш ефективною, ніж в обертових печах (в обох з використанням десульфурованої пасти), див. Таблицю 5.26. У відбивних печах виплавка здійснюється безперервно; спік та метал випускаються окремо. Спік плавиться (зазвичай в обертовій печі) для отримання шлаку з високим вмістом діоксину кремнію. Потік відхідних газів з відбивної печі містить SO_2, який може вступати в реакцію з вапном з утворенням гіпсу.

Наступні печі описані в Розділі 5.1.1.2 у підрозділі щодо виплавки первинного металу, але вони коротко розглядаються тут, оскільки також можуть використовуватися для обробки вторинної сировини.

В піч Ausmelt/ISASMELT безперервно подається сірковмісна паста і відновник, а також періодично випускаються свинцеві виливки. Коли технологічна камера містить максимальний обсяг шлаку, додають відновник і флюси для отримання виливка з високим вмістом сурми та шлаку [40, Ausmelt Ltd. 1996], [99, Hähre, S. 1998]. Шлак також можна відновити в окремій печі.

У печі QSL деякі компоненти акумулятора, такі як акумуляторна паста, обробляються разом з іншими вторинними матеріалами (наприклад, дросом, осадом, залишками вилуговування, димовим пилом) [254, VDI 2004].

Виливок чорнового металу, отриманий будь-яким методом виплавки, очищається методами, описаними нижче у Розділі 5.1.4.

5.1.3.2 Вилучення свинцю із залишків та брухту

Брухт металевого свинцю може мати різні форми. Він може бути забруднений пластмасовим матеріалом або бітумом і може бути легований іншими елементами, особливо оловом, сурмою та сріблом.

Чистий брухт плавиться у спеціально сконструйованих котлах, які нагріваються непрямим шляхом за допомогою нафти чи газу. Брухт завантажується з бункера, розташованого над котлом. Дрос та забруднювальні матеріали знімаються з поверхні розплавленого металу і потім проходять через сито, що розділяє дрібні та великі фракції. Дрос є дрібною фракцією

і переробляється як неметалевий залишок. Забруднювальний матеріал переважно є металом з вищою температурою плавлення, ніж свинець, і обробляється на інших майданчиках.

Залишки, переважно неметалеві за своїм характером, але часто змішані зі брухтом металевого свинцю, плавляться з флюсами в обертових або доменних печах.

Свинець або свинцевий сплав, вилучений з брухту або технологічних залишків, рафінують за допомогою технологій, описаних у Розділі 5.1.4.

5.1.3.3 Вилучення свинцю та олова із залишків та димового пилу від процесу виплавки міді

Наступні технології застосовуються для вилучення свинцю та олова на заводах з виплавки вторинної міді.

- Використання другого етапу відновлення. Ця технологія практикується на одному заводі з виплавки вторинної міді [90, Traulsen, H. 1998], де свинець та олово відновлюються за допомогою сталевого брухту або жерстяних банок в обертовому конвертері з верхнім дуттям. Додаються свинцевий та олов'яний брухт, шлак та залишки та виробляється свинцево-олов'яний сплав. Сплав надходить у струшувальний ківш для видалення залишкової міді, нікелю і кремнію, а потім очищений від міді сплав обробляється в триетапній системі вакуумного дистилювання для розділення свинцю та олова. Олово очищається шляхом кристалізації перед другим етапом вакуумного дистилювання.
- Використання димового пила з конвертеру для виробництва вторинної міді (іноді також з доменної печі) у якості вихідного матеріалу. У відновлювальних умовах цинк випаровується і відновлюється у вигляді оксиду, а свинець і олово утворюються у формі сплаву.
- Використання технології печі олов'яно-свинцевого сплаву у багатоетапному процесі відновлення для виробництва чорної міді, сплаву олова та свинцю та шлаку силікату заліза зі шлаку печі KRS або обертового конвертера з верхнім дуттям [234, UBA (D) 2007]. Поряд із розплавленим конвертерним шлаком у якості вихідних матеріалів використовуються інші проміжні продукти місцевого виробництва або третіх сторін, а також вторинні матеріали. Протягом всього процесу можна завантажувати матеріали або добавки. Склад шлаку регулюється у певних межах для отримання товарного продукту. Після кінцевого етапу гранулювання шлак також можна продавати. Чорна мідь рециркулюється у піч KRS або обертовий конвертер з верхнім дуттям. Технологічні гази та відхідні гази зі вторинних витяжок направляються до систем фільтрування. Уловлений димовий пил або продається, або повертається до ванної печі KRS. Рафінування олов'яно-свинцевого сплаву передбачає наступні етапи:
  - розділення та видалення дросу (видалення міді та нікелю);
  - видалення міді, цинку та миш'яку, що залишилися, шляхом додавання сірки, хлориду амонію й алюмінію.
- Використання обертової печі, що гойдається, для вилучення свинцю з димового пилу від виплавки первинної міді. Потоки димового пилу печей для виплавки міді, що уловлюються в системах сухого і вологого знепилення, з карбонатом натрію (флюс) і (за потреби) коксом, змішуються у необхідній пропорції, герметично закриваються і транспортуються в контейнер, розташований над піччю. Залізний брухт необхідний для процесу і зберігається в окремому контейнері для зберігання. Піч завантажується за допомогою спеціального завантажувального пристрою, після чого відбувається процес плавлення. Чорновий свинець розливають у форми для подальшого очищення. Димові гази після знепилення на рукавному фільтрі направляються на (напівсуху) установку десульфуризації, де розпилюється вапняне молоко (суспензія дрібних частинок гідроксиду кальцію у воді). Продукт десульфуризації збирається на останньому рукавному фільтрі й утилізується або повертається в печі для виплавки міді у якості флюсу. Свинцевий шлак, отриманий у процесі виплавки свинцю з димового пилу мідеплавильного заводу, повертається на об'єкт у виробництво міді, де разом із брикетованим мідним концентратом додається до шахтних печей.
- Використання електричних печей для комплексних вторинних матеріалів, наприклад, що містять мідь/свинець, наприклад, пилу, дросу, шлаків, шламів, брухту мідних

сплавів, низькосортного штейну, мідно-свинцевих концентратів та інших матеріалів, що містять мідь/свинець. Піч експлуатується на планово-періодичній основі. Залежно від вихідного матеріалу від шлаку відокремлюють свинцеві виливки, мідно-свинцевий штейн або мідно-свинцеві частки. До відновників належать залізо, вугілля та кокс. Дрібні вихідні матеріали або матеріали осадного типу гранулюються для запобігання дифузним викидам, а потім висушуються гарячим повітрям до вмісту менше ніж 2–3 % мас. води у сушарці конвеєрного типу або вакуумній сушарці. Сировина подається у верхню частину ванни, де вона вступає в реакцію з утворенням металу та шлаку, які періодично випускаються. Димовий пил уловлюється і з нього вилучається цинк. Виливок чорнового свинцю далі очищається шляхом пірометалургійного рафінування свинцю.

5.1.3.4 Вилучення олова зі сталевого брухту

Зі сталевого брухту можна видалити олово за допомогою процесів електролітичного або хімічного вилуговування з використанням каустичної соди та нітриту натрію [8, Hatch Associates Ltd 1993]. У останньому випадку виділяється аміак (0,048 кг на кг олова). Олово розчиняється, а потім вилучається шляхом електролізу, під час якого олово видаляють з катодів шляхом занурення у ванну розплавленого олова. Виготовляються виливки або порошок олова, які можна використовувати для виробництва низки сплавів і матеріалів для покриття.

Олово плавиться в котлах, подібних до тих, які використовуються для свинцю, і виробляються сплави. Олово у брухті також відновлюється у процесах плавлення. Найбільш поширеними сплавами є припої, в яких у якості легувального матеріалу використовується свинець. Використовуються й інші плавильні печі, але контроль температури здійснюється не так просто.

5.1.3.5 Вилучення свинцю, олова та інших металів з вторинної сировини та відходів

Свинець та інші метали можуть бути вилучені з вторинної сировини та відходів, таких як залишки вилуговування з заводів для виплавки цинку, дрос з заводів з рафінування свинцю, штейн, шлаки, осад та димовий пил. Додаткова сировина може складатися з комплексної первинної сировини (наприклад, мідно-свинцеві концентрати) та матеріалів з вичерпаним строком служби (наприклад, електронний брухт). Це призводить до складної схеми, в якій можна вилучати не тільки свинець, але й інші метали, такі як мідь, нікель, олово, сурма, дорогоцінні метали, селен, телур та індій.

Розрахована суміш цих матеріалів подається в окисну плавильну піч типу ISASMELT, де мідь, що містить дорогоцінні метали, відокремлюється від інших металів, які окиснюються у вигляді шлаку.

Потім цей шлак відновлюють (наприклад, у доменній печі), і разом зі збідненими шлаками отримують виливок нечистого свинцю. Свинцевий виливок направляють на подальше очищення на завод з рафінування свинцю, де в окремі фракції концентрують олово, сурму, миш'як, вісмут та дорогоцінні метали.

Технологічні гази окисного плавильного заводу містять більшу кількість SO_2. Їх направляють на установку з виробництва сірчаної кислоти після ретельного знепилення та сушіння.

5.1.4 Рафінування первинного та вторинного свинцю та олова

У виробництві первинного та вторинного свинцю та олова вироблені метали рафінуються, легуються та відливаються відповідно до ринкової якості. Легування та лиття розглядаються в Розділі 5.1.5. Крім того, використовуються метали з інших джерел (свинець та свинцевий брухт, олово та олов'яний брухт, легувальні метали).

Свинцеві виливки можуть містити різну кількість міді, срібла, вісмуту, сурми, миш'яку та олова. Свинець, вилучений із вторинних джерел, може містити подібні домішки, але зазвичай переважає сурма. Існує два методи рафінування чорнового свинцю: електролітичне рафінування та пірометалургійне рафінування. У електролітичному

рафінуванні використовуються аноди з очищеного від міді свинцевого виливка та пускові катоди із чистого свинцю. Це дорогий процес, і сьогодні він не використовується на заводах ЄС-28, хоча він використовується в низці інших країн по всьому світу.

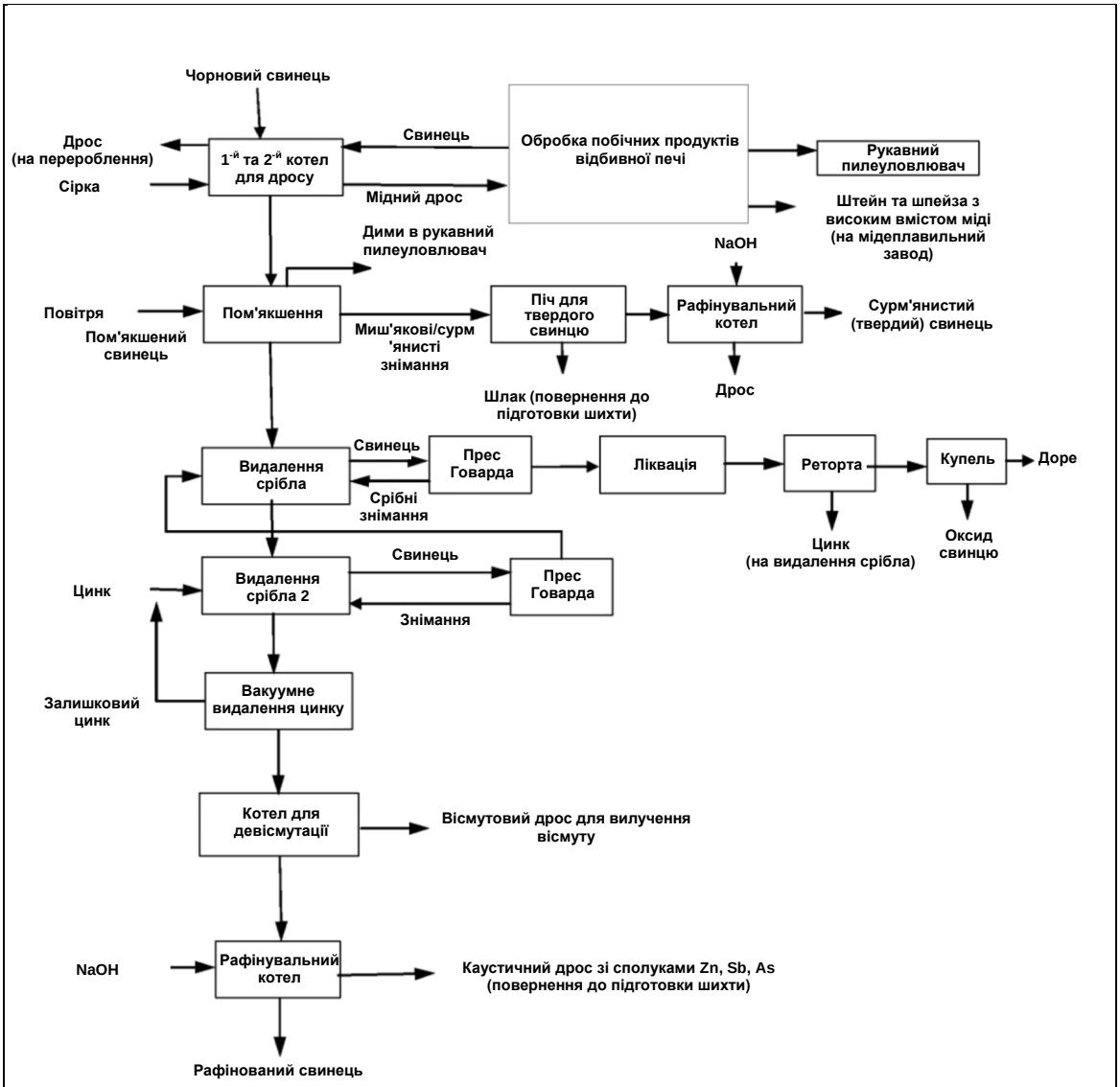
Пірометалургійне рафінування складається з серії котлів, які нагріваються непрямим шляхом нафтою або газом [4, Hatch Associates Ltd 1993], [99, Hähre, S. 1998], [304, KGHM 2009]. Переплавлення необхідне як перший етап, якщо метали надходять не в рідкому стані. Рафінувальні котли не вважаються придатними для плавлення свинцевого брухту, забрудненого органічними матеріалами. Мідь видаляється в першу чергу і відокремлюється у вигляді сульфідного дросу. Якщо в чорновому металі недостатньо сірки, її необхідно додати у вигляді порошку сірки або галеніту/піриту. Сульфідний дрос видаляється з поверхні металу механічними скімерами та зливається у контейнери.

Телур, миш'як, сурма та олово видаляються шляхом окиснення (у процесі Гарріса). Звичайний метод, часто іменований «пом'якшенням свинцю», передбачає реакцію з сумішшю нітрату натрію та каустичної соди з подальшим механічним зняттям шлаку для видалення оксидного шлаку. У якості окиснювача також можна використовувати повітря або кисень. Залежно від складу чорнового свинцю, тобто кількості домішок, суміш розплавлених солей може гранулюватися у воді, а домішки відокремлюватися гідрометалургійним шляхом [254, VDI 2004].

Олово і свинець можна відокремити один від одного шляхом вакуумного дистилювання за високих температур. В результаті можна отримати як чистий свинець, так і чисте олово.

Видалення срібла здійснюється за допомогою процесу Паркеса, в якому використовується переважна розчинність срібла в цинку. Цинк додають до свинцю за температури близько 470 °C, а потім суміш охолоджують до 325 °C. Срібно-свинцево-цинковий сплав відокремлюється й утворює на поверхні кірку. Кірку видаляють, а цинк відокремлюють від срібла шляхом вакуумного дистилювання. Срібний виливок додатково рафінується за допомогою кисню для отримання чорнового срібла. Надлишки цинку видаляють зі знесрібленого свинцю шляхом вакуумного дистилювання, а потім шляхом обробки каустичною содою.

Вісмут видаляють шляхом обробки сумішшю кальцію та магнію (процес Кролла-Беттертона). Сплав кальцію, магнію та вісмуту утворюється у вигляді дросу на поверхні свинцю, який видаляють шляхом знімання. Потім дрос окиснюється за допомогою хлориду свинцю, газоподібного хлору або суміші каустичної соди та нітрату натрію, а оксиди кальцію та магнію видаляються шляхом знімання. Сплав вісмуту і свинцю відновлюється і піддається подальшому рафінуванню для отримання вісмуту. Зразкова діаграма процесів рафінування свинцю наведена на Рисунку 5.3.



Джерело: [99, Hähre, S. 1998]

Рисунок 5.3: Зразкова схема процесів рафінування свинцю

Якщо присутній талій, його можна видалити за допомогою хлориду цинку та діоксину кремнію, з утворенням дросу, багатого на талій, який знімається [304, KGHM 2009].

Чистий свинець відливається в блоки або виливки у вигляді чистого свинцю або свинцевого сплаву. Дим, дрос, глет та інші залишки зазвичай переплавляються в невеликій доменній печі або обертовій печі для отримання виливків свинцю, які повертаються в цикл рафінування.

Олово та олов'яно-свинцеві сплави рафінуються як гідрометалургійним, так і пірометалургійним способами. Гідрометалургійний метод використовує електролітичне рафінування. Проте, у ЄС цей метод застосовується лише у дуже невеликих обсягах (< 1000 т/рік). Пірометалургійне рафінування дуже схоже на рафінування свинцю. Залізо видаляють шляхом ліквації, мідь видаляють шляхом додавання сірки, а миш'як або сурму видаляють шляхом додавання алюмінію або натрію.

5.1.5 Процеси плавлення та легування свинцю

Плавлення та легування зазвичай здійснюють у тигельних печах або котлах, що нагріваються непрямим шляхом за допомогою електроенергії, нафти або газу. Рафінований свинець плавиться в котлі, та додаються легувальні елементи. Може бути важливим здійснювати контроль температури розплаву [254, VDI 2004]. Свинець та свинцеві сплави зазвичай відливають у постійні чавунні форми [4, Hatch Associates Ltd 1993].

Для виробництва блоків, слябів та виливків використовуються статичні форми та конвеєрні ливарні машини. Машини безперервного лиття використовуються для виробництва прутків для перетворення їх на дріт. Система видалення диму використовується у жолобах та точках випускання.

5.2 Поточні рівні викидів та споживання

Основними екологічними проблемами свинцево-олов'яної промисловості є забруднення повітря та води та утворення шкідливих відходів. Заводи зазвичай мають власні очисні установки, та зазвичай практикується перероблення стічних вод.

Багато відходів використовуються повторно, але основною проблемою є залишки вилуговування, які сильно впливають на довкілля [98, Lijftogt, J.A. et al 1998]. Деякі місцеві аспекти, такі як шум, також мають відношення до цієї галузі. Через небезпечний характер деяких потоків твердих та рідких відходів також існує значний ризик забруднення ґрунту [237, UBA (A) 2004].

У Таблицях з 5.5 по 5.8 наведено баланси вхідних та вихідних потоків деяких свинцевих заводів у Європі.

Таблиця 5.5: Дані про вхідні та вихідні потоки для печі Ausmelt/ISASMELT

Вхідний потік	(тонн/рік)	Вихідний потік	(тонн/рік)
Свинцева акумуляторна паста	100 000	Чорновий свинець	125 000
Свинцеві концентрати	60 000	Сірчана кислота	50 000
Акумуляторні сітки	35 000	Свинцевий концентрат	43 500
Інші вторинні матеріали	5000	Срібло	30–70
Вугілля та кокс	5000	Футерівка печі	300–400
Кисень	15 000 000 $Нм^3$/рік	CO_2	50 000
Природний газ	140 000 МВт-год/рік	Стічні води (технологічні)	2 $м^3$/год
Електроенергія	45 000 МВт-год/рік	Відхідний газ	32 000–49 000 $м^3$/год
Джерело: [234, UBA (D) 2007]			

Таблиця 5.6: Дані про вхідні та вихідні потоки для заводу QSL

Вхідний потік	(тонн/рік)	Вихідний потік	(тонн/рік)
Свинцеві концентрати	145 000	Чорновий свинець	135 000
Вторинні матеріали	100 000	Сірчана кислота	100 000
Флюси	8000	Шлак	75 000
Вугілля	15 000	Мідно-свинцевий штейн	4500
Мастило	100	Срібло	260–300
Кисень	50 000 000 $Нм^3$/рік	Zn/Cd карбонат	250
Природний газ	3 300 000 $Нм^3$/рік	CO_2	61 500
Електроенергія	9 000 000 МВт-год/рік	Відхідний газ	20 400 $м^3$/год
		Стічні води (охолодження)	2 $м^3$/год
Джерело: [234, UBA (D) 2007]			

Таблиця 5.7: Дані про вхідні та вихідні потоки для заводу з відновлення акумуляторів з десульфуризацією (підготовка та обертова піч прискореної дії)

Вхідний потік	(тонн/рік)	Вихідний потік	(тонн/рік)
Плавильні матеріали			
Акумуляторний брухт	42 000	Чорновий свинець	43 000
Свинцевий брухт	5400	Поліпропіленові гранули	1800
Вторинні матеріали	2600	Шлак	10 000
Внутрішні відходи	10 700	Сульфат натрію	4700
Флюси		Футерівка печі	35
NaOH	7000	CO_2	10 800
Сталева стружка	2300	Відхідний газ	22 000 $м^3$/год
Сода	2200	Стічні води (технологічні)	105 000 $м^3$/рік
Свинцеве скло	1700	Шлак	10 000
Енергія			
Кокс	2400		
Кисень	3 700 000 $Нм^3$/рік		
Природний газ	1 400 000 $Нм^3$/рік		
Електроенергія	3 800 000 кВт-год/рік		
Джерело: [234, UBA (D) 2007]			

Таблиця 5.8: Дані про вхідні та вихідні потоки для заводу з відновлення акумуляторів із плавленням всього акумулятора (шахтна піч)

Вхідний потік	(тонн/рік)	Вихідний потік	(тонн/рік)
Використані акумулятори, сухі	50 000–60 000	Чорновий свинець	49 000–50 000
Інший свинцевий брухт, відходи	13 250–16 500	Димовий пил	2500–2800
Інша сировина (залізо)	5500–7000	Надлишковий шлак	1500–3000
Шлак (оборотний)	12 500–14 000	Оборотний шлак	12 500–14 000
Осад від обробки води	3850–4450	Відхідний газ	65 000 $Нм^3$/год
Димовий пил	500–650	Залізний/свинцевий штейн	9800–10 200
Кокс	4950–5950	Відпрацьована кислота	4000–8000
Вугілля	0	CO_2	
Кисень	1 000 000 $Нм^3$/рік	Відхідний газ	65 000 $м^3$/год
Природний газ	477 500 $Нм^3$/рік	Стічні води (технологічні)	0 $м^3$/рік
Електроенергія	10 390 000 Вт-год/рік	Футерівка печі	110
Джерело: [234, UBA (D) 2007], [340, ILA 2013]			

5.2.1 Енергія

Потреби в енергії для різних процесів виробництва свинцю та олова сильно відрізняються залежно від якості сировини та продуктів, використання прихованого або відпрацьованого тепла та утворення побічних продуктів. У Таблиці 5.9 показані середні потреби в енергії для різних процесів без урахування вмісту енергії в сировині.

Таблиця 5.9: Потреби в енергії для різних процесів виробництва свинцю

Процес	Електрична (кВт-год/т Pb)	Кокс (кг/т Pb)	Кокс (кВт-год/т Pb) (1)	Газ ($Нм^3$/т Pb)	Газ (кВт-год/т Pb) (2)	O_2 ($Нм^3$/т Pb)
QSL (3)	70	Вугілля: 110	900	25	275	370
Ausmelt/ISASMELT з рафінувальним заводом та іншими операціями (3)	360	40	350	102	1120	120
Шахтна піч для виробництва вторинного Pb (4)	100–150	110–130	930–1150	20–30	200–300	20
Обертова піч з системою механічного подрібнення акумуляторів та виробництвом сульфату натрію або кальцію (4)	180–250	60–100	520–900	90–180	1000–2000	150–200
Відбивна піч (4)	80–140	20–30	175–270	55–70	600–800	110–150

(1) Перетворення кт/т на кВт-год/т шляхом множення на коефіцієнт 8,85.
(2) Перетворення $Нм^3$/т на кВт-год/т шляхом множення на коефіцієнт 11.
(3) Печі для первинного металу.
(4) Печі для вторинного металу.
Джерело: [234, UBA (D) 2007], [397, ILA 2012]

5.2.2 Викиди в повітря

Викиди у повітря або вловлюються як викиди з димових труб, або можуть виходити з процесу як дифузні викиди, залежно від віку підприємства та технології, що використовується. Зазвичай проводиться безперервний або періодичний моніторинг викидів з димових труб, і його результати повідомляються. Дифузні викиди є причиною для занепокоєння, і вони мають вловлюватися.

Основні викиди у повітря від виробництва свинцю та олова:

- діоксид сірки (SO_2), інші сполуки сірки та кислотні тумани;
- оксиди азоту (NO_X) та інші сполуки азоту;
- метали та їхні сполуки;
- пилу;
- ЛОС та ПХДД/Ф.

Вважається, що інші забруднювальні речовини є незначними для промисловості, тому що вони відсутні у виробничому процесі або тому, що вони негайно нейтралізуються (наприклад, хлор або HCl), або тому що вони зустрічаються у дуже низьких концентраціях (наприклад, CO). Викиди значною мірою пов'язані з пилом (за винятком кадмію, миш'яку та ртуті, які також можуть бути присутніми у паровій фазі) [98, Lijftogt, J.A. et al 1998].

Джерела викидів залежать від використовуваного процесу та показані в

Таблиці 5.10.
До них відносяться:

- випалювання (більшість викидів утворюється під час позапланових зупинок);
- інші види попередньої обробки (наприклад, подрібнення акумуляторів);
- транспортування та поводження з матеріалами;
- установка з виробництва сірчаної кислоти;
- виплавка (в тому числі гранулювання шлаку) та рафінування;
- лиття.

Таблиця 5.10: Значущість потенційних викидів у повітря від виробництва свинцю

Компонент	Випалювання, спікання, виплавка	Рафінування	Подрібнення акумуляторів	Лиття тощо.	Установка з виробництва сірчаної кислоти
Оксиди сірки	•• ([1])	•	•	•	•••
Оксиди азоту	• ([1])	НЗ	НЗ	•	•
Пил і метали	••• ([1])	•	•••	•••	НЗ
ЛОС та ПХДД/Ф	• (••) ([2])	НЗ	НЗ	• ([1])	НЗ
([1]) Прямі викиди з етапів випалювання або виплавки обробляються та/або перетворюються на етапах газоочищення та на установці з виробництва сірчаної кислоти; решта викидів діоксиду сірки й оксидів азоту з установки з виробництва сірчаної кислоти залишаються актуальними. Дифузні та невловлені викиди також є актуальними для цих джерел. Вторинне плавлення акумуляторної пасти є джерелом утворення SO_2. ([2]) ПХДД/Ф та ЛОС можуть бути присутні, якщо використовуються вторинні матеріали, що містять ПХДД/Ф або забруднені органічними матеріалами. Примітка: ••• Більш значущі — • Менш значущі НЗ = не застосовується.					

Крім технологічних викидів, виникають дифузні викиди. Основними джерелами дифузних викидів є:

- пил від зберігання та поводження з концентратами;
- витоки з печей для випалювання та виплавки;
- пил від вихлопних газів ливарних печей;
- інше.

Хоча дифузні викиди важко виміряти та оцінити, для цього успішно використовуються деякі методи (див. Розділ 2.3.5).У Таблиці 5.11 наведено деякі дані про викиди для процесу виробництва первинного свинцю з використанням печі Ausmelt/ISASMELT [99, Hähre, S. 1998],, а також показаний потенційно високий рівень дифузних викидів.

Таблиця 5.11: Значущість дифузних викидів

Завод Ausmelt/ISASMELT (2009 р.) (кг/рік)			
Викиди	**Контрольовані**	**Дифузні**	**Загальні**
Свинець	596	312	908
Кадмій	3,07	0,24*	3,31
Сурма	5,05	1,77*	6,82
Миш'як	0,93	1,55*	2,48
Талій	1,83	< 0,01*	1,83
Ртуть	0,87	< 0,01*	0,87
Діоксид сірки (т/рік)	343	НЗ	343
* Розрахункові значення. Примітка: виробництво свинцю у 2009 р.: 114 161 т. Примітка: НЗ = не застосовується. *Джерело:* [397, ILA 2012]			

5.2.2.1 Діоксид сірки та інші сполуки сірки

Основними джерелами викидів діоксиду сірки є дифузні викиди з етапів окиснення, прямі викиди з установки з виробництва сірчаної кислоти та викиди залишкової сірки у шихті печі. Належна витяжна система та герметизація печей запобігає дифузним викидам, а уловлені гази з етапів окиснення прямують на установку з очищення газу, а потім на установку з виробництва сірчаної кислоти або гіпсовий завод.

Після очищення діоксид сірки в газі після етапів спікання, випалювання або прямої виплавки перетворюється на триоксид сірки (SO_3) (див. Розділ 2.7.1). Під час операцій запуску та зупинки можливі випадки виділення слабких газів без перетворення. Ці випадки повинні визначатися для кожної окремої установки. Проте, багато компаній забезпечили значні вдосконалення систем контролю технологічних процесів, щоб запобігти утворенню або зменшити ці викиди [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], [99, Hähre, S. 1998].

Свинцевий спік та деякі види вторинної сировини містять залишкову сірку та сульфати. Повідомляється [126, Madelin, B. et al. 1991], що 10 % вмісту сірки у свинцевому концентраті залишається в спеченому матеріалі, що подається в печі. Так само вміст сульфатів в акумуляторному брухті може бути значним залежно від способу його попередньої обробки [266, Italy 2008] і наявності пасти. У більшості випадків сірка фіксується в шлаку чи інших побічних продуктах. Ступінь фіксації залежить від використовуваних флюсів та інших металів, пов'язаних з процесом, наприклад, мідний штейн може бути отриманий під час спільної обробки мідних і свинцевих концентратів. Штейн Pb-Fe утворюється у відновлювальних умовах із додаванням залізної стружки. В інших випадках може виділятися SO_2, що може потребувати додаткової обробки.

Викиди від кількох процесів виробництва свинцю показані у Таблиці 5.12 нижче.

Таблиця 5.12: Утворення діоксиду сірки у кількох процесах виробництва свинцю

Процес	Загальне виробництво свинцю (тонн/рік)	Утворений діоксид сірки (г/т свинцю)
QSL ([1])	135 000	700
ISASMELT ([1])	120 000	3000
Акумулятор — цілий ([2])	50 000	4000–6000
Акумулятор — десульфурована паста ([2])	35 000–50 000	1070–3000
Акумулятор — паста виключена ([2])	35 000	3200
Акумулятор + додаткова паста ([2])	10 000	210 (система ДДГ)
Шахтна піч для виробництва свинцю та агломераційний завод ([1])	110 000	10 000-45 000
Акумулятори - процес MA ([2])	33 000	6600
([1]) Печі для первинного металу. ([2]) Печі для вторинного металу. *Джерело:* [234, UBA (D) 2007], [377, ILA 2013]		

Туман від подрібнювачів акумуляторів також може викликати подібні викиди. Викиди з металоплавильних заводів, що використовують матеріал, отриманий з акумуляторів, містять SO_2, концентрація якого залежить від того, чи була паста виплавлена, або спершу десульфурована, або зафіксована шлаком. Типові значення становлять від 50 мг/Нм^3 до 500 мг/Нм^3 [99, Hähre, S. 1998].

5.2.2.2 Оксиди азоту

Етапи виплавки є потенційними джерелами утворення оксидів азоту (NO_X). NO_X можуть утворюватись з компонентів азоту, присутніх у концентратах, або у вигляді термічних NO_X. Отримана сірчана кислота може поглинати значну частину NO_X, що може вплинути на якість сірчаної кислоти. Інші печі, де використовуються киснево-паливні пальники, також можуть демонструвати зниження викидів NO_X. Діапазон для всіх процесів становить від 20 мг/Нм^3 до 300 мг/Нм^3.

5.2.2.3 Пил і метали

Перенесення пилу з процесів виплавки є потенційним джерелом прямих та дифузних викидів пилу та металів. Гази уловлюються та обробляються у процесах газоочищення, а гази з високим вмістом SO_2 – на установці з виробництва сірчаної кислоти. Пил видаляють, вилуговують для виділення Cd або Cl_2, якщо це необхідно, і повертають у процес.

В результаті обробки та швидкого охолодження шлаку також утворюється пил. Діапазон викидів пилу з цих каналізованих джерел становить від 1 мг/Нм^3 до 20 мг/Нм^3. Шлак і дрос, що утворюються під час вилучення свинцю з акумуляторів, можуть містити сурму. Коли ці залишки стають вологими, можливі викиди стибіну, який є отруйним газом. Проте, це не стосується всіх шлаків (тобто якщо вони не містять матеріалів, що утворюють водень).

Викиди аерозольних часток відбуваються у корпусі камери та подрібнювачах акумуляторів та можуть містити метали. Діапазон викидів туману та пилу з цих джерел становить від 0,1 мг/Нм^3 до 4 мг/Нм^3.

Тоді як контрольовані викиди утворюються з відомих джерел і можуть бути уловлені та оброблені, дифузні викиди можуть утворюватись практично в будь-якому місці на території заводу. Основними джерелами дифузних викидів є зберігання матеріалу та поводження з ним, налипання пилу на транспортні засоби та на вулиці, а також відкриті

робочі зони або зони, де не проводилось очищення. Масові викиди металів із деяких європейських процесів наведені у Таблиці 5.13.

В останні роки деякі компанії ефективно скоротили свої дифузні викиди, застосувавши такі заходи, як [234, UBA (D) 2007] збільшення навантаження на шахтну піч та покращення уловлювання відпрацьованих газів;

- оновлення установок уловлювання та фільтрування відхідних газів;
- скорочення часу простою печі шляхом покращення вогнетривкої футерівки (тим самим скорочується час запуску та зупинки, що може призвести до збільшення викидів протягом обмеженого часу);
- закриття дахів виробничих будівель та модернізація фільтрів;
- закриття/використання корпусів у зонах доставлення, зберігання матеріалів та рафінування та встановлення систем уловлювання відхідних газів.
- вдосконалення процедур поводження з матеріалом (наприклад, змочування сипких матеріалів до та під час завантаження) та зменшення частоти транспортування (наприклад, шляхом використання більших колісних навантажувачів);
- встановлення обов'язкового миття транспортних засобів (для заводських та сторонніх транспортних засобів);
- зміцнення заводських площ та під'їзних шляхів та оптимізація процедур очищення;
- закриття та очищення старих зон утилізації шлаку.

Таблиця 5.13: Масовий викид металів від деяких європейських процесів

Процес	Продукція	Виробництво (тонни)	Пил (г/т продукції)	Zn (г/т продукції)	Pb (г/т продукції)	Cd (г/т металів)	As (г/т металів)
QSL	Свинець						
- процес	зливок Pb	120 000	1	НД	< 0,1	< 0,01	< 0,0001
- рафінувальний завод	Чистий Pb, Pb сплави	135 000	5,4	НД	< 0,1	< 0,01	< 0,01
- вторинний ([1])			12	НД	2,3	0,03	0,09
Ausmelt/ISASMELT	Свинець						
- процес	зливок Pb	113 000	< 1	0,09	2,5	< 0,1	0,01
- рафінувальний завод	Чистий Pb та Pb сплави	120 000	НД	1	4	0,01	0,02
- вторинний ([1])			НД	0,04	0,3	< 0,01	< 0,01
Акумулятор — цілий (шахтна піч)	Свинець						
- процес		49 000	10–25	0,1	2,5	< 0,1	< 0,15
- рафінувальний завод		53 000	0,49	НД	0,024	НД	НД
- вторинний ([1])			< 2 мг/Нм^3	НД	< 0,01 мг/Нм^3	НД	НД
Акумулятор - десульфурована паста	Свинець						
- процес		43 000	1–3	НД	0,1–1	0,01	0,18
- рафінувальний завод		52 000	4	НД	0,5	0,02	0,24
- вторинний ([1])			6	НД	0,3	НД	0,02
Акумулятор — цілий (обертова піч прискореної дії)	Свинець						
- процес		10 000	15–35	НД	< 0,5	НД	< 0,3

Примітка: НД = немає даних.
([1]) Знепилення у вторинному витяжному ковпаку.
Джерело: [234, UBA (D) 2007]

5.2.2.4 Органічні сполуки (ЛОС, ПХДД/Ф) та CO

Органічні сполуки вуглецю та CO можуть виділятися на стадії сушіння залежно від сировини та палива, що використовуються для сушіння. Але у виробництві свинцю найбільш значним джерелом органічних сполук вуглецю та CO є етап відновлення у процесі виплавки, особливо коли у шихті печі присутня пластмаса/пластмасові залишки. Допалювання є найбільш поширеною технологією, що використовується для зниження вмісту цих забруднювальних речовин [ILA 2012].

У виробництві свинцю викиди загального летючого органічного вуглецю (ЗЛОВ), виражені у C, залежать від типу печі та застосовуваних процесів. У разі використання допалювачів викиди ЗЛОС в середньому становлять менше ніж 10 мг/Нм^3, а максимальні значення зазвичай нижче 40 мг/Нм^3.

Викиди CO із шахтної печі знаходяться в діапазоні 500 мг/Нм^3 [ILA 2012].

У деяких процесах можливе утворення ПХДД/Ф в зоні згорання і в охолодній частині системи очищення газів (синтез de novo), особливо якщо у вторинних матеріалах, що подаються в процес, містяться пластмасові компоненти [237, UBA (A) 2004].

У виробництві свинцю викиди ПХДД/Ф в середньому нижче 0,1 нг МТЕ/Нм^3, а максимальні значення зазвичай нижче 0,4 нг МТЕ/Нм^3. Значення не залежать від вихідного матеріалу завдяки використанню методів усунення забруднення довкілля [234, UBA (D) 2007].

5.2.3 Викиди у воду

Метали, їх сполуки та завислі матеріали є основними забруднювальними речовинами, що викидаються у воду. Йдеться про такі метали: Zn, Cd, Pb, Hg, Se, Cu, Ni, As, Co та Cr [25, OSPARCOM 1996], [98, Lijftogt, JA. et al 1998], [99, Hähre, S. 1998], [27, M. Barry et al. 1993], [234, UBA (D) 2007]

Іншими значними речовинами, що викидаються у воду, є хлориди, фториди та сульфати.

Можливими потоками стічних вод, що містять вищезазначені речовини, є:

- відпрацьовані води з мокрих скруберів;
- відпрацьовані води з електростатичних фільтрів;
- відпрацьовані води етапу видалення ртуті;
- стічні води від етапів подрібнення та сортування акумуляторів;
- відпрацьовані води з процесу гранулювання шлаку;
- ущільнювальна вода від насосів;
- вода від загальних операцій, в тому числі від очищення обладнання, підлог тощо;
- скидання з циклів циркуляції охолоджувальної води;
- стік дощової води з поверхонь (зокрема зон зберігання) та дахів.

Стічні води після очищення газів плавильного заводу можуть бути найбільшим джерелом стічних вод.

5.2.3.1 Відпрацьовані води з установок з очищення

Зазвичай, системи мокрого очищення газу працюють з рециркуляцією рідини. У контрольованому зливі завислі тверді частки та розчинені солі підтримуються у визначених межах. Вода, що скидається, обробляється окремо або на інтегрованій установці з очищення відпрацьованих вод для видалення твердих та розчинених часток перед скиданням. Призначення відокремленого матеріалу залежить від походження стічних вод.

Мокрі електростатичні фільтри також утворюють кислотну змочувальну рідину. Це переробляється після фільтрування. Деяку кількість рідини необхідно відводити з цього контуру, щоб видаляти накопичені забруднювальні речовини. Ця злита рідина обробляється та аналізується перед скиданням [98, Lijftogt, J.A. et al 1998].

Етап видалення ртуті відбувається перед установкою з виробництва сірчаної кислоти та передбачає резервуар для газорідинного контакту або бризкальну градирню, де рідина містить реагент, який з'єднується з ртуттю і видаляє її. Хлорид ртуті ($HgCl_2$) часто використовується як реагент і реагує з металевою ртуттю з газу, утворюючи твердий осад Hg_2Cl_2 (каломель). Відносно чиста рідина скидається як стічна вода для подальшої обробки. Твердий Hg_2Cl_2 продається для відновлення ртуті, або обробляється для повторного утворення хлориду ртуті, або стабілізується для остаточної утилізації.

У Таблиці 5.14 вказано склад рідин з процесу газоочищення до обробки.

Таблиця 5.14: Типові стічні води від процесу газоочищення перед обробкою

Компонент	Концентрація (розчинених речовин)	Склад зважених речовин
Тверді речовини		250-1500 мг/л
Сульфат Хлорид Фторид	13–25 г/л 1,3–1,8 г/л 0,3–0,5 г/л	
Ртуть Селен Миш'як Цинк Кадмій Свинець	0,1–9 мг/л 0,1–50 мг/л 5–95 мг/л 0,1–2,5 г/л 1–95 мг/л 1–13 мг/л	5–30 % завислих твердих часток 10–60 % завислих твердих часток < 0,05 % завислих твердих часток 2–6 % завислих твердих часток 5–50 % завислих твердих часток
Джерело: [99, Hähre, S. 1998]		

5.2.3.2 Стічні води від процесу відновлення акумуляторів

На етапах подрібнення та промивання акумуляторів утворюються стічні води, які є кислими та містять свинець та інші метали у вигляді суспензії та розчину. Ці стічні води нейтралізуються, а вода переробляється у процесі. Якщо це можливо, кислота використовується в інших галузях. Частина зазвичай скидається із системи для контролю вмісту розчинених солей. Також охолоджувальна вода може утворюватися в результаті охолодження процесу дроблення [237, UBA (A) 2004].

Ці процеси також утворюють забруднену поверхневу воду, і, отже, ця вода також обробляється і використовується повторно. Загальноприйнятою практикою є скидання води із цього замкнутого водяного циклу після подальшої обробки та аналізу. Забруднення доріг та поверхонь мінімізується шляхом частого вологого очищення доріг, бетонованих майданчиків та вантажівок, а також шляхом очищення від просипів.

Якість та кількість стічних вод залежать від використовуваного процесу, складу сировини, що використовується в процесі, та методів, що використовуються операторами. Повторне використання технологічної води та дощової води є загальновживаною практикою.

Охолоджувальна вода від гранулювання шлаку або ставу-охолоджувача зазвичай рециркулюється в системі замкнутого контуру.
Типові результати аналізу стічних вод деяких процесів наведено в Таблиці 5.15.

Таблиця 5.15: Типові результати аналізу стічних вод

Процес	Стічні води	Потік	Основні компоненти (мг/л)					
	($м^3$/рік)	($м^3$/год)	Pb	Cd	As	Zn	Ni	ХСК
QSL ([1])	158 000	18	0,06	0,02	0,04	0,15	0,01	20
Ausmelt/ ISASMELT ([1])([2])	110 000	13	0,01–0,09	0,001–0,01	0,001–0,1	0,01–0,2		50–200
Механічне розділення акумулятора (СХ) + обертова піч ([3])	190 000	< 0,2 ([1])						
Механічне розділення акумулятора (МА) + обертова піч ([3])	124 000		0,02	0,07	< 0,0005	0,27	0,09	
Цілий акумулятор ([3])	150 000	40	0,4	0,01	< 0,001	0,01	< 0,05	96
Шахтна піч ([3])	17 000		< 0,2	< 0,1		< 0,3		
СХ + обертова піч + завод з рафінування Pb ([3])	105 000	2,1	0,13	0,01	0,01		0,03	

([1]) Печі для первинного металу.
([2]) На заводі Ausmelt немає установки з очищення відпрацьованих вод. Очищеними стічними водами є вода з заводу з виплавки Zn, заводу з виплавки Pb та поверхневі води.
([3]) Печі для вторинного металу.
([4]) У процесі СХ з кристалізатора утворюється конденсат з дуже низьким вмістом металу і провідністю < 10 мкСм.
Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Короткий огляд потенційних джерел стічних вод та технології очищення наведено в Таблиці 5.16.

Таблиця 5.16: Потенційні джерела стічних вод та технології очищення

Технологічна установка	Операція/джерело	Варіанти використання/обробки
Технологічний процес взагалі	Дощова вода з доріг, дворів, дахів, вологе очищення доріг, очищення вантажівок тощо.	Установка з очищення відпрацьованих вод, потім повторне використання або рециркуляція
Розділення акумулятора	Технологічний розчин	Використовується у процесі десульфуризації/на установці з очищення відпрацьованих вод
Десульфуризація пасти	Технологічний розчин	Використовується у процесі десульфуризації/на установці з очищення відпрацьованих вод
Операції виплавки та плавлення	Охолоджувальна вода з печі, машин та обладнання	Рециркуляція
Гранулювання шлаку	Стічні води з електростатичного фільтра. Вода від процесу гранулювання	Рециркуляція, установка з очищення відпрацьованих вод. Рециркуляція
Система очищення газу	Конденсат від охолодження газу та мокрого електростатичного фільтра. Конденсат від видалення ртуті	Видалення завислого пилу та повторне використання у якості сировини, установка з очищення відпрацьованих вод. Після видалення ртуті на установку з очищення відпрацьованих вод. Рециркуляція
Установка з виробництва сірчаної кислоти	Обладнання з охолоджувальною водою. Витік	Рециркуляція. Установка з очищення відпрацьованих вод
Зберігання сировинного матеріалу	Поверхневі води (дощові/змочування)	Установка з очищення відпрацьованих вод
Агломераційний завод	Скрубер (охолодження спеченої дрібнодисперсної фракції)	Установка з очищення відпрацьованих вод
Усі технологічні установки	Технічне обслуговування	Установка з очищення відпрацьованих вод
Установка з очищення відпрацьованих вод	Обробка стічних вод	Повторне використання для певних галузей застосувань/скидання

5.2.4 Технологічні залишки

Виробництво металів призводить до утворення ряду побічних продуктів, залишків та відходів, які перелічені в Європейському переліку відходів (Рішення Комісії від 3 травня 2000 р., що замінює Рішення 94/3/ЄЕС).

Тверді частки, що утворюються в результаті різних процесів та етапів боротьби з викидами, можуть мати одне з трьох можливих призначень:

1. перероблення у процесі або перед ним;
2. подальша обробка для вилучення інших металів;
3. остаточна утилізація після обробки для забезпечення безпечної утилізації.

На етапі рафінування свинцю утворюються інші тверді речовини, що мають високий вміст металу, вони зазвичай мають високий вміст певного металу і, таким чином, переробляються для відповідного виробничого процесу. Також шлак з виробництва олова з каситериту є основним джерелом танталу та ніобію.

Тверді частки утворюються також в результаті очищення рідких відходів. Основним потоком відходів є відходи гіпсу ($CaSO_4$) та гідроксиди металів, які утворюються на установці з нейтралізації відпрацьованих вод. Ці відходи вважаються наслідком впливу на різні компоненти довкілля цих технологій обробки, але багато з них повертаються в пірометалургійний процес для вилучення металів.

Пил або осад від обробки газів використовуються як сировина для виробництва інших металів, таких як Ge, Ga, In і As, або вони можуть бути повернені на плавильний завод або в цикл вилуговування для вилучення свинцю та олова.

Залишки ртуті та селену утворюються в результаті попередньої обробки потоків ртуті або селену на етапі очищення газу. Цей потік твердих відходів становить близько 40–120 т/рік на типовому заводі. Через обмеження на використання ртуті вилучення ртуті з залишків Hg-Se або каломелю на етапі видалення ртуті більше не є можливим. Обидва побічні

продукти повинні бути стабілізовані для остаточної утилізації. У виняткових випадках, коли відношення Se до Hg високе, можливе відновлення селену.

5.2.4.1 Пірометалургійні шлаки та залишки

Шлаки з доменної печі та прямої виплавки зазвичай містять дуже низькі концентрації вилужних металів. Тому вони, як правило, придатні для використання у будівництві [99, Hähre, S. 1998]. Вихід шлаку становить від 10 % мас до 70 % мас виробленого металу, залежно від використовуваної сировини.

Шлаки з заводів з обробки акумуляторів становлять 13–25% маси виробленого свинцю. Вони можуть бути придатні для використання в будівництві залежно від вилуговуваності металів, що містяться в них. На вилуговуваність впливають використовувані флюси та умови експлуатації [99, Hähre, S. 1998]. Використання флюсів на основі натрію (Na_2CO_3) для фіксації сірки в шлаку призводить до збільшення кількості вилужних металів. Ці шлаки та дрос від відновлення акумуляторів можуть містити сурму. Вона зазвичай відновлюється, але зберігання у вологих умовах може за певних умов викликати виділення стибіну.

Країни-члени використовують низку стандартних тестів на вилуговування, і вони є специфічними для кожної конкретної країни. Вивчаються процеси для зниження вмісту залучених металів, щоб у майбутньому забезпечити придатність до будівництва та інших галузей застосувань.

Дрос та тверді частки, що видаляються на етапах плавлення та рафінування свинцю та олова, містять метали, придатні для відновлення.

У Таблиці 5.17 наведено дані про деякі тверді матеріали, що отримуються в результаті рафінування свинцевих виливків.

Таблиця 5.17: Твердий матеріал від процесу рафінування свинцевих виливків

Етап рафінування	Вихідний потік твердого матеріалу	Варіанти використання/обробки
Видалення шлаку/видалення міді	Мідний дрос	Подальша обробка для вилучення міді та свинцю
Пом'якшення (процес Гарріса/кисневе пом'якшення)	Шлаки Гарріса Шлак сурми	Гідрометалургійна обробка для вилучення металу Пірометалургійна обробка для вилучення металу
Видалення срібла	Цинково-срібна кірка	Вилучення благородних металів
Видалення цинку	Металевий цинк	Повторне використання для видалення срібла
Девісмутація	Вісмутова кірка	Вилучення вісмуту
Видалення лужних та лужноземельних металів	Дрос оксиду Mg-Ca	Внутрішнє перероблення у якості флюсу
Чистова обробка	Каустичний дрос	Внутрішнє перероблення
Джерело: [13, HMIP (UK) 1994]		

У Таблиці 5.18 та Таблиці 5.19 показано варіанти використання або обробки залишків, що утворюються в результаті декількох процесів.

Таблиця 5.18: Залишки від процесу виробництва свинцю

Етап виробництва	Залишки продукту або процесу	Кількість (кг/т Pb)	Варіанти використання або обробки
Установка з випарювання шлаку			
Випарювання шлаку	Шлак	700	Водостійкий будівельний матеріал
	Штейн	2,5–25	На завод з виплавки Cu
	Пара	2500	Перетворення енергії
Процес обробки акумуляторів - обертова піч прискореної дії ([1])			
Фізична обробка акумуляторів	Na_2SO_4 (CX)	220	Продаж
	Акумуляторна паста (MA)	700	На завод з виплавки первинного та вторинного металу
	Поліпропілен	100–130	Продаж
	Залишкові пластмаси	70–80	Утилізація або спалювання
Виплавка	Чорновий свинець	830	На рафінувальний завод
	Шлак	80–120	Утилізація
	Димовий пил	30–50	Після обробки назад на завод з виплавки Pb
Рафінування	Дрос	60–90	На завод з виплавки первинного металу
Стічні води	Осад		Повернення на плавильний завод
Усі етапи	Шлак, димовий пил тощо	500–550	Внутрішня рециркуляція
Процес обробки акумуляторів - доменна піч			
Підготовка сировини	Відпрацьована кислота	70–120	Зовнішнє використання або нейтралізація
Шахтна піч	Fe-Pb штейн	80–250	Продаж на завод з виплавки Pb-Cu або утилізація
	Шлак	40–60	Будівництво доріг або утилізація
			Оборотний шлак
	Димовий пил	30–80	Зовнішнє/внутрішнє перероблення
Рафінування	Дрос	70–120	Продаж для вилучення металу
Усі етапи	Шлак, димовий пил тощо	500–550	Внутрішня рециркуляція

([1]) Обертові печі прискореної дії також можуть використовуватися у виробництві первинного свинцю для обробки залишків від рафінування.
Джерело: [117, Krüger, J. 1999], [377, ILA 2013], [397, ILA 2012]

Таблиця 5.19: Залишки від процесів прямої виплавки свинцю

Етап виробництва	Залишки продукту або процесу	Кількість (кг/т Pb)	Варіанти використання або обробки
Kivcet			
Плавильний завод	Шлак Димовий пил I Димовий пил II Пара	700 110 100 1300	Контрольована утилізація Повернення на плавильний завод На вилуговування цинку Перетворення енергії
Завод H_2SO_4	H SO Каломель Кислий осад	1100 < 0,10 0,5	Продаж Продаж Контрольована утилізація
Очищення води	Осад		
Kaldo			
Обертовий конвертер з верхнім дуттям (Kaldo)	Шлак Димовий пил Пара	350 160 700	На ф'юмінгування Повернення на плавильний завод Перетворення енергії
Завод H_2SO_4	H_2SO_4 Каломель Кислий осад	500	Продаж
Очищення води	Осад		
QSL			
Плавильний завод	Шлак Димовий пил Мідний дрос Пара	550 60 100 1300	Будівництво доріг Повернення на плавильний завод *Після вилуговування Cd* Продаж Перетворення енергії
Рафінування	Срібло	2	Продаж
Завод H_2SO_4	H_2SO_4 Каломель Кислий осад	700 0,02–0,05 0,5	Продаж Продаж Повернення на плавильний завод
Вилуговування пилу	Осад CdZn	1,9	Контрольована утилізація
Очищення води	Осад		Повернення до плавильного заводу або утилізація ([1])
Усі етапи	Шлак, димовий пил, осади тощо	130–150	Внутрішня рециркуляція
Ausmelt/ISASMELT			
Плавильний завод	Дрос ZnO пил Пара	125 50 НД	Повернення на плавильний завод ([2]) На завод з виплавки цинку Перетворення енергії
Завод H_2SO_4	H_2SO_4 Кислий осад Осад Hg	400 < 1 0,2	Продаж Повернення на плавильний завод Виробництво каломелю
Вилуговування пилу	Осад CdZn Свинцевий залишок	1,1 40	На завод з виплавки цинку Повернення на плавильний завод
Очищення води	Осад	< 5	Повернення до плавильного заводу або утилізація ([1])
Усі етапи	Шлак, димовий пил, осади тощо	~ 420	Внутрішня рециркуляція
Обертова піч, що гойдається, для обробки димового пилу з заводу з виплавки первинної міді			
Плавильний завод	Шлак Шпейза Пил Продукт напівсухої нейтралізації димових газів	1330 36 340 115	Повернення на мідеплавильний завод Піддається захороненню Повернення на завод з виплавки свинцю Повертається на мідеплавильний завод у якості флюсу, частково зберігається

([1]) В залежності від цінності металів, що містяться в осаді.
([2]) Спеціальні операції для зменшення кількості шлаку.
Джерело: [117, Krüger, J. 1999], [234, UBA (D) 2007], [305, Ausmelt 2009], [397, ILA 2012]

5.2.4.2 Пластмаси з процесу обробки акумуляторів

Деякі заводи з обробки акумуляторів також виробляють поліпропілен та поліетилен із подрібнених корпусів акумуляторів. Загальний вміст пластмаси становить 11–20 % мас. виробленого свинцю [99, Hähre, S. 1998]. Існує ряд заводів із виробництва пластмас, розроблених спеціально для цього матеріалу, і вони виробляють гранульований поліпропілен для ряду промислових та побутових застосувань, в тому числі для автомобілів, систем водопостачання та каналізації, а також для компонентів для побутових кухонь. Ефективне промивання поліпропіленової фракції та відділення інших пластмасових компонентів, таких як ебоніт або ПВХ, необхідні для виробництва продукції, що відповідає специфікації.

5.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ

У розділах цього документа під назвою «Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ» викладено технології, які зазвичай мають потенціал для досягнення високого рівня захисту довкілля в галузях, що охоплюються цим документом. Передумови способу опису технологій надано у Розділі 2.12 та Таблиці 2.10.

У цьому розділі наведено ряд технологій запобігання або зменшення викидів та залишків, а також технологій зниження загального споживання енергії. Усі вони представлені на ринку. Приклади наведено для демонстрації технологій, що демонструють хороші екологічні показники. Технології, наведені у якості прикладів, ґрунтуються на інформації, наданій галуззю, країнами-членами ЄС, а також на оцінці Європейським бюро з комплексного запобігання та контролю забруднення. Загальні технології, описані у Главі 2 стосовно загальних технологічних процесів, значною мірою застосовні до процесів у цьому секторі та впливають на те, як контролюються та керуються основні та супутні процеси.

5.3.1 Отримання сировини, поводження з нею та зберігання

Технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від приймання, поводження та зберігання первинної та вторинної сировини, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, EC 2006].

5.3.2 Попередня обробка матеріалу

5.3.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів під час підготовки первинних та вторинних матеріалів (за винятком акумуляторів)

Опис
Технології, які слід розглянути:
- закриті конвеєри або системи пневматичного транспортування (див. Розділ 2.12.4);
- закрите обладнання (див. Розділ 2.12.4);
- змішування у закритому приміщенні (див. Розділ 2.12.4);
- системи пригнічення пилу;
- гранулювання сировини (див. Розділ 2.5.1.6);
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Для виробництва первинного свинцю концентрати змішують з іншими плавильними матеріалами та флюсами для отримання досить стабільної сировини. Вихідний усереднений матеріал може бути підготовлений з систем бункерів-дозаторів з використанням конвеєрних ваг або систем, що працюють за принципом втрати ваги. Остаточне змішування та гомогенізація можуть відбуватися у мішалках, грануляторах або в системах транспортування та дозування. Ці процеси можуть призвести до викидів пилу. Для пилоподібних матеріалів використовуються закрите обладнання та конвеєри або системи пневматичного транспортування.

У виробництві вторинного свинцю та олова використовується великий спектр дросів, золи, штейну, залишків, електронного брухту та шлаку, що містять свинець та олово, з широким діапазоном всіх компонентів. Однорідне подання у печі можна забезпечити шляхом змішування багатьох окремих фракцій одна з одною. Змішування здійснюється звичайними транспортними системами (вантажівки, колісні навантажувачі) та автоматизованими мостовими кранами. Змішування також може здійснюватись за допомогою бункерів-дозаторів, оснащених ваговими дозаторами. У деяких випадках суміш сировини з цих бункерів подається в мішалку інтенсивної дії або змішувальний барабан перед завантаженням у піч. Змішування можна здійснювати у закритому приміщенні. Крім того, приміщення може бути обладнане системами пригнічення пилу

(наприклад, водяними розпилювачами або звичайними розпилювальними системами) та/або витяжними системами та системами знепилення для зони змішування або навіть для всієї будівлі. На наявних установках з обмеженим простором матеріали можна змішувати, а також попередньо обробляти (наприклад, різати) зовні, якщо матеріал залишається вологим, з використанням систем пригнічення пилу, таких як розпилювачі води, для запобігання дифузним викидам. Дрібні матеріали можна гранулювати. Зони гранулювання ізольовані та закриті. Використовуються закриті конвеєри. Застосовуються системи вентиляції з подальшим знепиленням у рукавному фільтрі.

Дроблення, подрібнення та просіювання також використовуються для зменшення розміру вторинної сировини, щоб вона була придатною для продажу або подальшої обробки. Ці операції є потенційним джерелом викидів пилу і, отже, потребують покриття. Використовуються системи видалення та боротьби з викидами, а уловлений пил повертається у процес. Можуть застосовуватись системи пригнічення пилу, такі як розпилювачі води або системи туманоутворення;

Загальні технології, що застосовуються для попередження та зменшення дифузних викидів від підготовки первинних та вторинних матеріалів, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1 та 2.12.4.2). У цьому підрозділі розглядаються лише технології, пов'язані з роботою відповідного знепилювального обладнання.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання та зменшення викидів пилу та металів.
- Скорочення використання сировини, тобто через повторне використання знепилених матеріалів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На заводі KGHM Polska Miedź SA. у Польщі пил з мідеплавильного заводу із систем обробки відпрацьованих газів електричної печі та конвертерних печей уловлюється та транспортується у спеціальних контейнерах у резервуари для зберігання заводу з виробництва свинцю. Розвантаження здійснюється пневматичним способом. Шлами із системи обробки газів типу Вентурі шахтних печей транспортуються у вигляді суспензії через трубопроводи в контейнер фільтрпресу. Партії матеріалів, таких як пил та осад з фільтрпреса, механічно дозуються у необхідній пропорції у теплу мішалку для змішування та усереднення. Партія усередненого матеріалу транспортується у контейнери над печами. Всі транспортні пристрої заводу з виробництва свинцю герметичні для запобігання викиду пилу. Контейнер-дозатор, розташований над обертовою піччю, що гойдається, вміщує достатню порцію свинцевого матеріалу, необхідну для одного виробничого циклу. Залізний брухт зберігається в окремому контейнері для зберігання та подається в печі спеціальним завантажувальним пристроєм.

На заводі Aurubis, Гамбурзі в Німеччині у 2011 році було побудовано нову криту зону зберігання для сипких вторинних матеріалів, що містять свинець, з вбудованою системою дроблення, просіювання та закритими конвеєрними стрічками. Дрібні вихідні матеріали або матеріали осадного типу гранулюються. Зона гранулювання ізольована та закрита. Використовуються закриті конвеєри. Вихлопні гази направляються у рукавний фільтр.

Завод Metallo-Chimique у Бельгії був спроєктований з критою зоною зберігання для пилоподібних матеріалів. Всмоктування повітря встановлено лише на рівні даху. Повітря фільтрується рукавним фільтром (120 000 $Нм^3$/год). Рівні викидів пилу не перевищують 0,5 $мг/Нм^3$. Це значення ґрунтується на двох 4-годинних вимірюваннях (точковий відбір проб) у 2011 році. З початку 2009 р. всі пилоподібні матеріали зберігаються та обробляються всередині будівлі.

На заводі Umicore, Хобокен, зони складування часто зрошуються водою, щоб сировина залишалася вологою. Змішування здійснюється фронтальним навантажувачем. Пилоподібні матеріали зберігаються в закритих приміщеннях і змішуються з вологою сировиною та водою перед тим, як потрапити до суміші.

У печі плавки у ванні Weser-Metall у Норденхамі в Німеччині у якості сировини в основному використовуються дрібні матеріали. Ці дрібні матеріали доставляються баржами (до власного причалу), залізничними вагонами та вантажівками.

Вилучення сировинного матеріалу з зони зберігання здійснюється шляхом його

переміщення за допомогою ковшового завантажувача в бункер, що завантажує трубчастий конвеєр, що являє собою спеціальний стрічковий конвеєр, згорнутий опорною системою в повністю закриту трубу. Трубчастий конвеєр до бункерів-дозаторів та печі поміщений у додатковий корпус для захисту від вітру.

Бункери-дозатори обладнані дозувальними конвеєрами для вилучення матеріалу та приготування суміші сировини. Суміш сировини транспортується до завантажувального отвору печі закритим трубчастим конвеєром. З бункерів-дозаторів пил видаляється за допомогою рукавного фільтра (30 000 Нм^3/год); повідомляється про рівні викидів пилу < 1 мг/Нм^3.

У Таблиці 5.20 наведено додаткові дані про викиди від попередньої обробки матеріалу.

Таблиця 5.20: Викиди пилу від попередньої обробки матеріалу

Завод	Походження	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/Нм^3)			Періодичність моніторингу
				Мін.	У середньому	Макс.	
6	Критий склад	Рукавний фільтр	Пил	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Раз на три роки
			Pb	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
16	Критий склад	Рукавний фільтр	Пил	0,004	0,015	0,055	12 разів на рік
			Pb	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
			Cd	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
			Sb	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
Завод А з виробництва вторинного металу	Двовалкова дробарка та молоткова дробарка	Скрубер Вентурі	Пил	0,3	НЗ	0,8	Періодичні вимірювання (середні значення за 2 години)
			Pb	0,03	НЗ	0,14	
			Cd	< 0,005	НЗ	< 0,005	
			Sb	< 0,005	НЗ	< 0,005	
Завод В з виробництва вторинного металу	Гідросайзер для розділення пластмас	Скрубер	Пил	0,5	НЗ	0,8	Періодичні вимірювання (середні значення за пів години)

Примітка: границя виявлення пилу 0,3 мг/м^3.
Границя виявлення металів 0,005 мг/м^3.
НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012], [385, Germany 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля

Закриті конвеєри або системи пневматичного транспортування
Збільшення енергоспоживання.

Закрите обладнання
Інформацію не надано.

Змішування у закритому приміщенні
- Під час застосування пригнічення пилу за допомогою водяного розпилення відбувається значне збільшення споживання енергії у процесі виплавки через незначне змочування матеріалу.
- Очищення великих обсягів повітря та високе споживання енергії особливо пов'язані з витяжними системами даху.

Система пригнічення пилу
Збільшення споживання енергії у процесі виплавки через незначне змочування матеріалів та утворення стічних вод.

Гранулювання сировини Збільшення споживання енергії.

Рукавний фільтр

Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Широко застосовується, хоча для наявних заводів застосування спеціальної будівлі для зберігання та змішування пилоподібних матеріалів може бути обмеженим вимогами щодо розміщення та необхідністю відповідного проєктування будівлі.

Гранулювання сировини застосовується тільки в тому випадку, якщо піч та процес призначені для роботи з гранульованими матеріалами.

Вентиляція будівлі може бути встановлена, але вона залежить від різних аспектів, таких як розмір часток, розмір та використання складу, а також ситуація відносно кожного з викидів.

Економічні аспекти
У 2007–2008 роках завод Metallo-Chimique у Бельгії інвестував близько 6,5 млн євро у будівництво критої зони зберігання для пилоподібних матеріалів. Площа зони для зберігання становить 8000 м^2 та 180 000 м^3, а максимальна місткість становить 20 000 тонн. Максимальна пропускна спроможність залу складає 50 000 т/рік. У системі пневматичного транспортування для сухих пилоподібних матеріалів використовуються труби з подвійними стінками; крім того, з 2010 року працює система виявлення витоків. Вартість визначається насамперед витратами матеріалу (приблизно 36 000 т/рік) та відстанню транспортування (120 м). Інвестиційні витрати в розмірі близько 400 000 євро охоплюють систему введення з силосу до плавильного заводу і труби з подвійними стінками між сушаркою і силосом, а також між силосом і плавильним заводом.

Будівництво критої зони зберігання (площею 5000 м^2) з інтегрованим обладнанням для дроблення, просіювання та транспортування, з'єднаним з рукавним фільтром (70 000 Нм^3/год) на підприємстві Aurubis у Гамбурзі призвело до капітальних витрат у розмірі 7,5 млн євро.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Metallo-Chimique (Бельгія), Weser-Metall (Німеччина), BSB Recycling (Німеччина), Aurubis (Німеччина), Umicore (Бельгія) та KGHM (Польща).

Довідкова література
[397, ILA 2012]

5.3.2.2 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря від сушіння первинних та вторинних матеріалів

Обертові сушарки з використанням гарячого газу, сушарки з паровим змійовиком, або сушарки конвеєрного типу з використанням гарячого повітря, або вакуумні сушарки можуть використовуватися, якщо процес виплавки вимагає сухої сировини або зниження вологості сировини (тобто вміст вологи є фактором, що обмежує процес виплавки, і, можливо, його необхідно буде зменшити). Крім того, попереднє сушіння сировини знижує споживання енергії під час виплавки, оскільки випаровування води за низької температури вимагає менше енергії, ніж обробка за високої температури. Сушарки з паровим змійовиком використовують тепло, що відходить від інших етапів процесу, за умови, що це дозволяє тепловий баланс.

Опис
Технології, які слід розглянути:

- закриті конвеєри або системи пневматичного транспортування (див. Розділ 2.12.4);
- закрите обладнання (див. Розділ 2.12.4);
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);

- допалювач (див. Розділ 2.12.5.2.1).

Технічний опис
Загальні технології, що застосовуються для попередження та зменшення дифузних викидів від виробництва первинних та вторинних свинцю та олова, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4). У цьому підрозділі надається лише конкретна інформація, пов'язана із застосуванням та ефективністю перелічених технологій.

Закрите обладнання (див. Розділ 2.12.4)
Висушений матеріал зазвичай дуже пильний. Для запобігання викиду цього матеріалу в довкілля всі технологічні процеси, в тому числі завантажувальний механізм та точка видалення газу, є закритими, і застосовуються закриті конвеєрні системи або системи пневматичного транспортування. Димові гази, що викидаються в результаті процесів, потім уловлюються установкою для боротьби з викидами газів, яка спроєктована відповідно до наявних забруднювальних речовин. Система обробки димових газів працює під негативним тиском, щоб гарантувати відсутність викидів газів у повітря. Крім того, коли можливі дифузні викиди з висушених вихідних матеріалів, конвеєрні системи є закритими та оснащені системами видалення газу.

Рукавний фільтр
Всі надані дані показують, що всі заводи ЄС-28 використовують рукавні фільтри для зменшення викидів пилу і металів (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Допалювач
Якщо у процесі сушіння утворюються СО та ЛОС, для боротьби з цими забруднювальними речовинами застосовується допалювач (див. Розділ 2.12.5.2.1). Також може бути встановлений регенеративний допалювач (РТО) для зниження енергоспоживання системою боротьби з викидами. У цьому випадку перед допалювачем застосовується система знепилення, щоб запобігти блокуванню керамічного шару.

Досягнуті екологічні переваги
Закриті конвеєри або системи пневматичного транспортування та закрите обладнання
Запобігання дифузним викидам.

Рукавний фільтр
- Зменшення викидів пилу та металів.
- Скорочення витрати сировини шляхом перероблення видаленого пилу.

Допалювач
Зменшення викидів ЛОС та СО.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавний фільтр
Висушений матеріал зазвичай дуже запилений, тому для уловлювання запилених газів використовуються витяжні системи та системи боротьби з викидами. Рукавні фільтри забезпечують кращу ефективність видалення пилу, ніж електростатичні фільтри, коли вони використовуються на цьому етапі процесу. Уловлений пил повертається в процес.

На підприємстві Metallo-Chimique, Берсе, пилоподібні матеріали вивантажуються, зберігаються та змішуються у закритому складі (див. Розділ 5.3.2.1). Змішані партії потім подаються в обертову сушарку, що працює на газі, за допомогою автоматизованого мостового крана через вібраційний механізм. Цей завантажувальний механізм ізольований та оснащений системою вентиляції. Перед випусканням в атмосферу повітря очищається від пилу у тканинному фільтрі. Дими з обертової сушарки фільтруються рукавним фільтром і обробляються в димовій трубі за допомогою допалювача для видалення органічних сполук. Після сушіння сухий продукт просіюють, щоб отримати грубодисперсну фракцію та дрібнодисперсну (< 2 мм) фракцію. Грубодисперсний матеріал повертається до складського приміщення за допомогою критої обертової стрічки. Дрібнодисперсний матеріал транспортується пневматичним шляхом до силосу для зберігання через труби з подвійними стінками. У таблиці нижче продемонстровано викиди пилу з цього заводу у 2011 р., виміряні методом точкового відбору проб.

Таблиця 5.21: Викиди від сушіння матеріалу у Metallo-Chimique, Берсе

Тип печі	Виробнича потужність	Нагрівання	Очищення відхідних газів	Викиди	Періодичність моніторингу
Обертова сушарка	15 т/год (2 тонни води/годину; ваговий вміст води до сушіння до — 12 %, після — < 1 %)	Природний газ	Первинні викиди: рукавний фільтр + допалювач Вторинні викиди: рукавний фільтр	Пил: 1–3 мг/Нм^3	Двічі на рік (4-годинний період відбору проб)
Джерело: [397, ILA 2012]					

На інших заводах сировина зберігається в закритому приміщенні, обладнаному витяжною системою, та завантажується в сушарку за допомогою мостового крана. Висушений матеріал транспортується за допомогою закритих конвеєрів та витяжних систем. Як димовий газ із сушарки, так і інші гази фільтруються через рукавний фільтр.

На заводі Aurubis, Гамбург, дрібні вихідні матеріали та матеріали осадного типу гранулюються для запобігання дифузним викидам, а потім висушуються гарячим повітрям до вмісту менше ніж 2–3 % мас. води у сушарці конвеєрного типу або вакуумній сушарці. Димові гази з сушарки обробляються рукавним фільтром. Здійснюються безперервні вимірювання пилу; спостережувані рівні концентрації пилу у 2009–2011 роках складають від 0,5 мг/Нм^3 до 10 мг/Нм^3 (середні значення за пів години). Оскільки обробляється широкий спектр вторинних матеріалів (наприклад, пил, дрос, шлак, осад), мінімальні та максимальні рівні викидів сильно залежать від розміру часток, природи, складу та фізичних характеристик, а також вмісту вологи у вихідному матеріалі, стирання очисного обладнання та віку та знос фільтрувальних елементів.

Таблиця 5.22: Викиди від сушіння матеріалу на підприємстві Aurubis у Гамбурзі

Тип печі	Потужність	Нагрівання	Очищення відхідних газів	Викиди
Сушарка конвеєрного типу з використанням гарячого повітря	До 10 т/год	Гарячим повітрям за допомогою пари	Рукавний фільтр	Безперервні вимірювання концентрації пилу, рівні концентрації пилу: 0,5–12 мг/Нм^3 (середнє значення за пів години) 1,1–4,6 мг/Нм^3 (середньодобове значення)
Вакуумна сушарка	2 т/год	Природний газ	Рукавний фільтр	

У Таблиці 5.23 продемонстровані дані, що надсилаються ILA.

Таблиця 5.23: Викиди від процесу сушіння у виробництві первинних та вторинних свинцю та олова

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Одиниці вимірю-вання	Значення, отримані за нормальних умов експлуатації			Періодичність моніторингу	Примітка (*)
				Мін.	У середньому	Макс.		
12	Рукавний фільтр	Zn	мг/нм^3	0,179	0,234	0,269	Точкова проба два рази на рік	в
		Pb	мг/нм^3	0,037	0,046	0,052		
		Cu	мг/нм^3	0,237	0,289	0,373		
		Cr	мг/нм^3	0,049	0,086	0,195		
		Mn	мг/нм^3	0,006	0,007	0,008		
		Sn	мг/нм^3	0,018	0,023	0,026		
		Ni	мг/нм^3	0,003	0,005	0,006		
		As	мг/нм^3	< ГВ	< ГВ	< ГВ		
		Cd	мг/нм^3	0,01	0,013	0,014		
		Hg	мг/нм^3	0,002	0,023	0,036		
		CO	мг/нм^3	181	188	193		
		NO_X	мг/нм^3	29	34	37		
		ЗЛОС	мг/нм^3	16	23,9	31,9		
		ПХДД/Ф	нг МТЕ/нм^3	0,18	0,18	0,18		
13	Рукавний фільтр	Пил	мг/нм^3	1,8	2,3	2,7	Двічі на рік (в середньому за 4 години)	в
		Sb	мг/нм^3	0,0024	0,0027	0,0030		
		As	мг/нм^3	0,0016	0,0017	0,0018		
		Cu	мг/нм^3	0,5815	0,6270	0,6725		
		Cd	мг/нм^3	0,0118	0,0195	0,0272		
		Pb	мг/нм^3	0,0911	0,1008	0,1105		
		Ni	мг/нм^3	0,0095	0,0103	0,011		
		Sn	мг/нм^3	0,047	0,054	0,060		
		Zn	мг/нм^3	0,3983	0,4171	0,4358		
16	Рукавний фільтр	Пил	мг/нм^3	0,11	0,52	1,77	12 разів на рік	п та в
		Pb	мг/нм^3	0,01	0,26	1,19		
		Cd	мг/нм^3	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
		Sb	мг/нм^3	< 0,01	< 0,01	< 0,01		

(*) п — завод з виробництва первинного свинцю.
в — завод з виробництва вторинних свинцю та олова.
ГВ = Границя виявлення
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля

Закритий конвеєр або системи пневматичного транспортування
Не повідомлено.

Закрите обладнання
Інформацію не надано.

Рукавний фільтр
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес.

Допалювач
- Збільшення викидів NO_X.
- Необхідне паливо, якщо енергії, що утворюється в результаті окиснення димових газів, недостатньо для досягнення необхідної температури.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Закритий конвеєр або системи пневматичного транспортування
Загальнозастосовна.

Закрите обладнання
Загальнозастосовна.

Рукавний фільтр
Загальнозастосовна.

Допалювач
Ця технологія застосовується для зниження викидів CO та ЛОС, якщо існує ризик того, що за робочої температури процесу висушений матеріал може виділяти ці забруднювальні речовини.

Економічні аспекти
Рукавний фільтр
Приклад витрат, пов'язаних із встановленням рукавного фільтра та допалювача, наведено для заводу Metallo-Chimique, Берсе. У 2007–2008 роках для очищення димових газів із сушарки завод замінив наявний рукавний фільтр на новий (19 500 $Нм^3$/год). Це призвело до інвестицій у розмірі 665 000 євро (рукавний фільтр включно з допалювачем в димовій трубі та самою димовою трубою). Для вторинних викидів у 1994–1995 роках було встановлено ще один рукавний фільтр (20 500 $Нм^3$/год) вартістю 400 000 євро.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Metallo-Chimique (Бельгія), Elmet (Іспанія), Aurubis (Німеччина) та Weser-Metall (Німеччина).

Довідкова література
[397, ILA 2012]

5.3.2.3 Технології запобігання та зменшення викидів в результаті розбирання, спікання, брикетування та гранулювання

Розділення, розбирання, спікання, брикетування та гранулювання допомагають забезпечити контроль над вхідним потоком у процес виплавки та покращити процеси вилучення металу. Ці операції виконуються для отримання менших розмірів зерна з вищою питомою поверхнею або для агломерації матеріалу у вигляді спеку, брикетів або котунів. Спікання використовується для підготовки концентратів до деяких процесів виплавки. Для цього можна використовувати агломераційні машини з висхідним або низхідним потоком. Також можуть бути використані останні розробки, такі як процес спікання на сталевій стрічці.

Опис
Технології, які слід розглянути:

- закрите обладнання з видаленням газу (див. Розділ 2.12.4);
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Загальні технології, що застосовуються для попередження та зменшення дифузних викидів від виробництва первинних та вторинних свинцю та олова, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4).

Брикетування та гранулювання застосовуються до дрібнодисперсних матеріалів. Для запобігання дифузним викидам зони гранулювання ізолюються та накриваються. Використовуються закриті конвеєри. Застосовуються системи вентиляції з подальшим знепиленням у рукавному фільтрі.

Використовуються технології помелу, дроблення та подрібнення з належною системою видалення пилу і рукавним фільтром.

Уловлювання диму та газів під час спікання є важливим, і за своєю природою процес спікання зі висхідним потоком може бути легше застосований для уловлювання диму.

Досягнуті екологічні переваги
Закрите обладнання з видаленням газу
Запобігання викидам пилу.

Рукавний фільтр
- Зменшення викидів пилу
- Зменшення обсягів використання сировини.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На заводі Aurubis у Гамбурзі дрібні вихідні матеріали та матеріали осадного типу гранулюються. Димовий пил перед гранулюванням зберігається у закритих силосах. Зона гранулювання ізольована та закрита. Використовуються закриті конвеєри. Вихлопні гази направляються у рукавний фільтр.

Вплив на різні компоненти довкілля
Закрите обладнання з системою видалення газу та рукавним фільтром
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Закрите обладнання з видаленням газу
Загальнозастосовна.

Рукавний фільтр
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Aurubis (Німеччина).

Довідкова література
[397, ILA 2012]

5.3.2.4 Технології запобігання та зменшення викидів під час підготовки акумуляторів

Опис
Технології, які слід розглянути:

- закрите обладнання та система видалення газу (див. Розділ 2.12.4);
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2);
- кислотостійке покриття підлоги та система уловлювання кислоти;
- відновлення та повторне використання кислоти;
- обробка кислотного туману на установці з очищення відпрацьованих вод.

Технічний опис
Закрите обладнання та система видалення газу (див. Розділ 2.12.4)
Викиди пилу та кислотного туману від дроблення, просіювання та мокрого розділення акумуляторів уловлюються та спрямовуються в систему боротьби з викидами, таку як рукавний фільтр або мокрий скрубер.

Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4)
Фільтри для вловлювання туману необхідно встановлювати, коли димові гази з кислотним туманом спрямовуються у рукавний фільтр.

Мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2);
Мокрий скрубер використовується для видалення пилу та кислотного туману. Промивна вода прямує на установки з очищення відпрацьованих вод для обробки зібраної відведеної та розведеної кислоти з акумуляторів. Метали видаляють шляхом нейтралізації, осадження з використанням Na_2CO_3та додавання флокулянтів. Залишок відправляється на плавильний завод.

Кислотостійке покриття підлоги та система уловлювання кислоти
Кислота, що міститься в акумуляторах, може забруднювати землю та воду. З цієї причини поверхня підлоги заводу з підготовки акумуляторів повинна бути захищена кислототривким шаром, з'єднаним або з резервуарами для відпрацьованої кислоти, або з установками для очищення стічних вод. Все обладнання, що використовується, повинно бути кислотостійким.

Відновлення та повторне використання кислоти
Див. Розділ 5.3.7.2.

Обробка кислотного туману на установці з очищення відпрацьованих вод
Інформацію не надано.

Досягнуті екологічні переваги
Закрите обладнання та система видалення газу
Запобігання викидам газу та витоку кислоти.

Рукавний фільтр
Зменшення викидів пилу.

Мокрий скрубер
Зменшення викидів пилу та кислотного туману.

Кислотостійке покриття підлоги та система уловлювання кислоти
Запобігання забрудненню ґрунту та води.

Відновлення та повторне використання кислоти
- Повторне використання вторинного матеріалу.
- Запобігання викидам у воду.

Обробка кислотного туману на установці з очищення відпрацьованих вод
Зменшення кислотних викидів та зменшення викидів у воду.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На одному заводі у Німеччині відпрацьовані акумулятори попередньо подрібнюють у двовалковій дробарці. Після цього подроблений матеріал проходить стадію магнітного розділення і, нарешті, подається до молоткової дробарки для подальшого дроблення. Відхідні гази з двовалкової дробарки та молоткової дробарки видаляються й очищаються від пилу в скрубері Вентурі. Відокремлена сірчана кислота обробляється далі для виробництва гіпсу. Повідомляється про викиди пилу від 0,32 мг/Нм^3 до 0,8 мг/Нм^3 (точкова проба) та викиди свинцю від 0,031 мг/Нм^3 до 0,14 мг/Нм^3 (точкова проба) [385, Germany 2012].

На Заводі 7 здійснюється кілька етапів розділення свинцевої пасти, металевого свинцю, сірчаної кислоти, поліпропілену та інших пластмас. Димові гази від гідросайзерів обробляються в скрубері. Повідомляється про викиди пилу від 0,5 мг/Нм^3 до 0,9 мг/Нм^3 [385, Germany 2012].

У Таблиці 5.24 та Таблиці 5.25 показані викиди у повітря та воду з чотирьох заводів, на яких застосовуються деякі з технологій, описаних вище.

Таблиця 5.24: Викиди у повітря в результаті підготовки акумуляторів

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Похибка (%)	Значення (мг/Нм^3)			Періодичність моніторингу
				Мін.	У середньому	Макс.	
5	Мокрий скрубер	Пил	40	0,18	0,59	0,9	4 рази у 2011 році (в середньому за 4 години)
		Свинець і сполуки	40	0,097	0,591	0,903	
		Кадмій та сполуки	40	0,001	0,001	0,002	
		Cu, Pb, Zn, Ni та сполуки	40	0,099	0,205	0,343	
		Sb, Sn, Te та сполуки	40	0,003	0,005	0,007	
		Cd, As, Hg, Tl, Se та сполуки	40	0,004	0,018	0,054	
6	Рукавний фільтр	Пил ([1])	НЗ	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Кожні 3 роки
		Pb ([1])	НЗ	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
		As+Cd ([1])	НЗ	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
7	Скрубер	Пил	НЗ	< 0,5	0,5	0,9	Безперервні вимірювання (Середньодобові значення)
		Pb	НЗ	< 0,5	< 0,5	< 0,5	4 рази на рік
19	Викиди від подрібнення акумулятора	Пил	НЗ	0,2	0,5	1	Раз на рік

([1]) Вимірювання, здійснені у 2011 році.
НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012], [393, Austria 2012]

Таблиця 5.25: Викиди у воду в результаті підготовки акумуляторів на Заводі 5

Походження	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Похибка (%)	Значення (кг/день)			Періодичність моніторингу
				Мін.	У середньому	Макс.	
Технологічна вода; поверхневі стоки, технологічна зона для вилучення свинцю з вторинних джерел	Регулювання pH - Додавання хлориду заліза - Флокуляція та відстоювання - Аніонна/катіонна флокуляція - Механічне фільтрування	Pb	16	0,06	0,57	1,45	періодична складена проба за 24 години
		Cd	12	0,003	0,115	0,552	
		Sb	20	0,002	0,212	1,096	
		As	25	0,001	0,018	0,092	
		Cu	10	0,001	0,017	0,046	
		Hg	25	0,001	0,002	0,009	
		Ni	10	0,001	0,130	0,428	
		NH_4^+	25	0,21	2,478	6,17	
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Вплив на різні компоненти довкілля

Закрите обладнання та система видалення газу

Інформацію не надано.

Рукавний фільтр

- Збільшення енергоспоживання.
- Відходи можуть утворюватися, якщо пил не може бути повернений у процес або повторно використаний як сировина.

Мокрий скрубер

- Збільшення енергоспоживання.
- Утворюються відпрацьовані води, які потребують додаткового очищення для запобігання скиданню кислоти та металів у воду.

Кислотостійке покриття підлоги та система уловлювання кислоти

Інформацію не надано.

Відновлення та повторне використання кислоти

Збільшення енергоспоживання.

Обробка кислотного туману на установці з очищення відпрацьованих вод.

- Збільшення енергоспоживання.
- Використання хімічних речовин.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Закрите обладнання та система видалення газу

Загальнозастосовна.

Рукавний фільтр

Загальнозастосовна.

Мокрий скрубер

Загальнозастосовна. Утворюються відпрацьовані води, які потребують додаткового очищення для запобігання скиданню кислоти та металів у воду.

Кислотостійке покриття підлоги та система уловлювання кислоти

Загальнозастосовна.

Відновлення та повторне використання кислоти
Див. Розділ 5.3.7.2.

Обробка кислотного туману на установці з очищення відпрацьованих вод.
Застосовується лише для заводів з належною установкою з очищення відпрацьованих вод.

Економічні аспекти
Збільшення інвестиційних витрат у зв'язку з потребою у додатковій специфічній інфраструктурі та обладнанні.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Harz-Metall (Німеччина), BSB Recycling (Німеччина), Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik (Німеччина) та BMG Metall und Recycling GmbH (Австрія).

Довідкова література
[397, ILA 2012]

5.3.2.5 Технологія зменшення викидів сірчистого газу від процесу виплавки

Опис
У лужному вилуговуванні використовується розчин лужної солі для видалення сульфатів із вторинних матеріалів перед виплавкою.

Технічний опис
Вторинні матеріали, що містять сірку, можуть викликати викид цієї забруднювальної речовини під час виплавки. Прикладом цього є свинцево-кислотна акумуляторна паста. Вона може містити низку сполук свинцю, деякі з яких містять сірку, наприклад, $PbSO_4$. Щоб запобігти або зменшити викиди SO_2 у процесі виплавки, сірку, яка присутня у вигляді сульфатів, можна видалити шляхом лужного вилуговування матеріалу перед операцією виплавки.

Десульфуризація свинцево-кислотної акумуляторної пасти шляхом реакції з лужним розчином (карбонатом натрію або гідроксидом натрію) описана нижче у вигляді спрощених хімічних реакцій:

$$PbSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow PbCO_3 + Na_2SO_4$$

$$PbSO_4 + 2\ NaOH \rightarrow PbO + Na_2SO_4 + H_2O$$

Реакції відбуваються швидко й ефективність перетворення дуже висока. Потім десульфурований матеріал подається у піч. Технологічну схему процесу показано Рисунку 5.4.

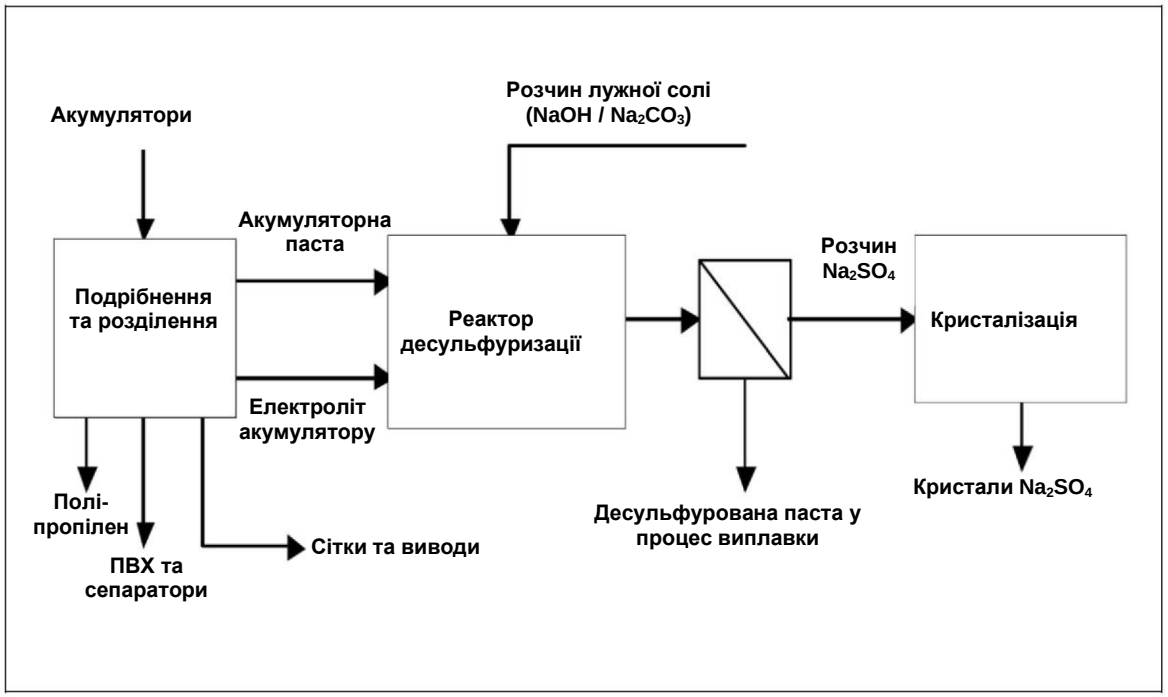


Рисунок 5.4: Технологічна схема десульфуризації акумуляторної пасти лужним вилуговуванням

Акумуляторний електроліт (кислота) може бути відділений для повторного використання замість того, щоб подавати його в реактор десульфуризації для утворення сульфату натрію.

Розчин сульфату натрію, отриманий в результаті цього процесу, можна обробляти двома способами, залежно від місцевих умов довкілля, економіки та технічних вимог до продукту:
- відновлення сульфату натрію шляхом кристалізації;
- утилізація розчину сульфату натрію після видалення інших домішок (наприклад, металів).

Коли сульфат натрію вилучають із розчину шляхом кристалізації, вода, що надходить у процес, рециркулюється, і рідкі відходи не утворюються. Однак це можливо лише за наявності ринку для відновленого сульфату натрію. Це не завжди можливо і залежить від умов місцевого ринку та необхідних вимог до якості для продукту. Якщо комерціалізація неможлива, необхідна утилізація.

Зона на заводі, де здійснюється ця діяльність, зазвичай має непроникний і кислото- (або сульфато-) стійкий шар, щоб запобігти будь-яким випадковим витокам агресивних рідин або солей. Розливи та вода після очищення надходять на установки з очищення відпрацьованих вод, якщо вони не переробляються.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів SO_2 під час виплавки.
- Зменшення витрати плавильних добавок, зменшення кількості шлаку та втрат свинцю у шлаку.
- Зниження енергоспоживання для процесу виплавки через меншу кількість матеріалу, що плавиться.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Лужне вилуговування є гідрометалургійним процесом, що здійснюється без нагрівання за температури близько 50 °C, що призводить до екзотермічної реакції. Отримується вологий десульфурований фільтрувальний осад. Таким чином, в результаті цієї операції не виділяється пил. Якщо для печі потрібна суха сировина, необхідно ввести додатковий етап сушіння між етапом вилуговування та етапом виплавки. Що стосується витрати реагенту,

з урахуванням, наприклад, свинцево-кислотної акумуляторної пасти стандартного складу, 220 кг Na_2CO_3 на тонну виробленого з акумуляторів свинцю (з урахуванням нейтралізації кислоти) потрібно для отримання близько 280 кг Na_2SO_4 на тонну свинцю. У цих умовах показник видалення сірки є високим.

У Таблиці 5.26 показані викиди SO_2 з заводу, на якому застосовувалася ця технологія.

Таблиця 5.26: Викиди від обертових печей, до яких подається десульфурована сировина

Походження	Технологія	Забруднювальна речовина	Одиниці вимірювання	Значення			Періодичність моніторингу
				Мін.	У середньому	Макс.	
Обертова піч	Лужне вилуговування	SO_2	мг/нм^3	< 10	109	375	Безперервний/ Під час завантаження
Обертова піч	Лужне вилуговування	SO_2	мг/нм^3	< 10	134	НЗ	Безперервний/ Під час завантаження
Обертова піч	Лужне вилуговування	SO_2	мг/нм^3	150	350	480	Безперервний/ Середньодобове значення
Обертова піч, що нахиляється	Лужне вилуговування	SO_2	мг/нм^3	< 20	66	148	Безперервний/ На основі проб
Примітка: НХ = Не характерно *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]							

Вплив на різні компоненти довкілля
- Використання хімічних речовин (Na_2CO_3, NaOH).
- Утворення відходів, якщо сульфат не може бути перетворений на товарний продукт.
- Збільшення енергоспоживання через необхідність додаткового етапу технологічного процесу.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується тільки для матеріалів, що містять сірку у формі сульфатів, і потребує встановлення додаткового спеціального обладнання.

Перевага кристалізації полягає в отриманні Na_2SO_4, а також можливості рециркуляції води, що призводить до значного покращення водного балансу. Однак це можливо лише за наявності ринку для відновленого сульфату натрію. Це не завжди можливо і залежить від умов місцевого ринку та необхідних вимог до якості для продукту. Якщо комерціалізація неможлива, необхідна утилізація.

Економічні аспекти
Можливе позитивне зниження витрат на виплавку компенсується вищими витратами, пов'язаними з необхідними додатковими етапами технологічного процесу для десульфуризації перед завантаженням печі.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Зниження вартості системи очищення газів.
- Зменшення обсягу використання плавильних добавок; зменшення кількості утвореного шлаку та втрат свинцю у шлаку.
- Зменшення витрати пального на роботу печі, оскільки для плавлення потрібно менше матеріалу.
- Вища продуктивність печі (+ 20–30 % у випадку свинцевої акумуляторної пасти).

Приклади заводів
BMG Metall und Recycling (Австрія) та Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik (Німеччина).

Довідкова література
[237, UBA (A) 2004], [266, Italy 2008], [397, ILA 2012]

5.3.3 Виробництво свинцю з використанням первинних та вторинних матеріалів (заводи з виплавки первинного металу)

5.3.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів у повітря технологічних газів заводу з виплавки первинного металу

Опис

Технології, які слід розглянути:

- закрите/ізольоване обладнання (див. Розділ 2.12.4);
- гарячий електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1);
- мокрий електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.2);
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- видалення ртуті (див. Розділ 2.12.5.5);
- установка з виробництва сірчаної кислоти (див. Розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2);
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2).

Технічний опис

Закрите/ізольоване обладнання (див. Розділ 2.12.4)

Для запобігання викидам у довкілля використовуються покриття, такі як:

- ізольовані системи завантаження (подвійний конус, герметизація вікна, закриті конвеєри та завантажувальні механізми);
- герметичні або закриті печі;
- робота під негативним тиском та з достатньою швидкістю видалення газу для запобігання підвищенню тиску в печі.

Перед спрямуванням димових газів з заводу з виробництва первинного металу на установку з виробництва сірчаної кислоти їх ретельно очищають від пилу та газових забруднень. Це захищає каталізатор та забезпечує сірчану кислоту хорошої якості.

Типовий порядок цього процесу наступний:

- По-перше, використання системи стримування пилу з електростатичним фільтром для гарячого газу, за яким передбачений мокрий електростатичний фільтр. Пил з електростатичного фільтра для гарячого газу повертається в процес після вилуговування хлориду або кадмію, якщо це необхідно.
- По-друге, після мокрого електростатичного фільтра газ проходить через систему видалення ртуті. Системи вилучення ртуті використовуються із застосуванням однієї з технологій, розглянутих у Розділі 2.12.5.5. Вміст ртуті у відхідних газах має бути дуже низьким, щоб забезпечити виробництво сірчаної кислоти хорошої якості. Залишки з мокрого електростатичного фільтра та від видалення ртуті піддаються захороненню, якщо вони не використовуються для інших процесів.
- По-третє, після вилучення ртуті газ спрямовується на установку з виробництва сірчаної кислоти. Установки з виробництва сірчаної кислоти описані у Розділах 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2.
- Мокрий скрубер використовується для зменшення викидів пилу, якщо він використовується перед установкою з виробництва сірчаної кислоти, або SO_2, як скрубер залишкових газів, після установки з виробництва сірчаної кислоти.

Гази з високим вмістом SO_2 мають відносно невеликий об'єм у порівнянні з іншими потоками.

Відокремлений пил/залишки переробляються на об'єкті або за його межами для вилучення металу; іноді після попередньої обробки для видалення хлоридів, кадмію та/або інших небажаних домішок.

У разі використання електричних печей відхідні гази охолоджуються, фільтруються у рукавному фільтрі й обробляються на установці з видалення ртуті перед надходженням на установку з виробництва сірчаної кислоти без додаткового промивання та охолодження.

Досягнуті екологічні переваги

Закрите/ізольоване обладнання

Запобігання дифузним викидам.

Гарячий електростатичний фільтр
- Зменшення викидів пилу та металів.
- Відновлення сировини.

Мокрий електростатичний фільтр
Зменшення викидів пилу та ртуті.

Рукавний фільтр
- Зменшення викидів пилу та металів.
- Відновлення сировини.

Система видалення ртуті
Боротьба з ртуттю.

Установка з виробництва сірчаної кислоти
- Зменшення викидів SO_2.
- Відновлення сірки.

Мокрий скрубер
Зменшення викидів пилу та SO_2.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Концентрація ртуті (загальна) перед фільтруванням може варіюватися від 10 мкг/м^3 до 9900 мкг/м^3, а після фільтрування — від 3 мкг/м^3 до 50 мкг/м^3, що становить від 70 % до 99,7 % видалення залежно від використовуваних технологій видалення ртуті.

На заводі Aurubis у Гамбурзі для обробки первинних свинцевих концентратів використовується закрита електрична металоплавильна піч (13,5 МВт та діаметром 8,4 метра). Відхідний газ електричної печі охолоджується холодним газом, що рециркулює, та повітряно-газовим холодильником. Охолоджені гази направляються у рукавний фільтр, потім на етап видалення ртуті та, нарешті, на кислотний завод.

Піч Ausmelt компанії Weser-Metall в Норденхамі складається з вертикального циліндра (10 метрів у висоту, 4 метри в діаметрі) з фурмою для продування методом занурення зверху для подання природного газу і повітря, збагаченого киснем у якості технологічного газу. Первинні та вторинні матеріали, що містять сірку, розплавляються з отриманням виливків свинцю, концентрату оксиду свинцю та SO_2, а також відхідних газів, що містять пил (6–10 % SO_2). Відхідні гази охолоджуються в котлі-утилізаторі та проходять через гарячий електростатичний фільтр з температурою на виході близько 240 °C. Потім вони охолоджуються в скрубері Вентурі до 80 ° C, проходять через перший ряд мокрих електростатичних фільтрів, промивну колону з насадкою і, нарешті, другий ряд мокрих електростатичних фільтрів для видалення залишкового пилу, що в них міститься Потім очищений холодний газ проходить етап видалення ртуті (протиструминна промивна колона з насадкою), перш ніж потрапити в п'ятиетапну контактну установку для перетворення SO_2 на сірчану кислоту. Середньодобові викиди SO_2 (безперервно вимірювані) становлять від 160 мг/Нм^3 до 750 мг/Нм^3, в середньому 470 мг/Нм^3.

У Таблиці 5.27 продемонстровані викиди Заводу 8, на якому використовується комбінація технологій, описаних вище.

Таблиця 5.27: Викиди з печі на Заводі 8

Технологія	Забруднювальна речовина	Одиниці вимірювання	В середньому за рік	Періодичність моніторингу
Установка подвійного контактування/подвійної абсорбції з процесом BAYQIK®	SO_2	мг/нм^3	490	Безперервні вимірювання (середні значення за пів години)
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]				

Піч Ausmelt з фурмою для продування методом занурення зверху на новому (2013 р.) заводі з виробництва свинцю КСМ в Болгарії (Пловдив) працює в режимі періодичної дії в три етапи, що повторюються, а саме:

- плавка (приблизно 7 годин);
- відновлення (приблизно 1,5 години);
- Режим роботи пальника у ненавантаженому стані/витримка фурми (приблизно 1 година).

Піч спроєктовано з урахуванням готовності до експлуатації 7008 годин на рік або 738 партій на рік (кожна партія передбачає всі три етапи роботи: плавка, відновлення, режим роботи у ненавантаженому стані/витримка фурми).

У печі обробляються первинні (свинцеві концентрати) та вторинні матеріали (акумуляторна паста та перероблена сировина, переважно від пірометалургійного рафінування свинцю) для виробництва 74 500 тонн свинцю на рік.

Димові гази, що викидаються плавильним заводом, уловлюються за допомогою герметичної печі Ausmelt з фурмою для продування методом занурення зверху, і перед спрямуванням їх на установку з виробництва мокрої сірчаної кислоти ці гази ретельно очищаються від пилу та газових забруднень з використанням наступного обладнання:

- вежа швидкого охолодження газу до температури адіабатичного насичення та видалення першої порції пилу;
- мокрий скрубер з регульованим перепадом тиску, що забезпечує необхідну ефективність видалення пилу у будь-яких умовах технологічного процесу;
- освітлювач/згущувач для обмеження вмісту твердих часток у рідині, що циркулює, та направлення згущеної суспензії в систему зневоднення (фільтрпрес);
- шламовідстійник для збору нижнього зливу з освітлювача/згущувача;
- ще одна градирня, в якій газ охолоджується до кінцевої температури перед надходженням на установку з виробництва сірчаної кислоти;
- система дозування силікату натрію для зниження вмісту фториду у відхідних газах до прийнятного рівня для надходження в установку з виробництва мокрої сірчаної кислоти;
- два мокрих електростатичних фільтри (два послідовних етапи) для остаточного видалення пилових домішок та кислотного туману зі спеціальним резервуаром для промивної води;
- два вентилятори для вологого газу (один в експлуатації та один у резерві) для регулювання необхідної тяги печі під час перебування у резерві, запуску та/або аварійних ситуацій;
- під час фази випускання/витримки фурми, паралельний вентилятор для рециркуляції частини газу після вентилятора для вологого газу в мокрий скрубер, щоб підтримувати визначений мінімальний потік газу для створення перепаду тиску в самому скрубері та забезпечення сталого контролю тяги.

Залишкові гази з установки з виробництва сірчаної кислоти прямують у скрубер із зворотним струменем. Оскільки SO_2 поглинається змочувальною рідиною, що циркулює, pH рідини падає. Вапняне молоко ($Ca(OH)_2$) додається з контролем pH, щоб підтримувати можливість безперервного видалення SO_2 з газового потоку. Поглинений SO_2 вступає в реакцію з вапном та утворює суспензію сульфіту/сульфату кальцію.

Після котла-утилізатора (вхід в установку мокрого очищення газу) вміст SO_2 коливається від 0,32 % об. (етап відновлення) до 6,48 % об. (етап плавки). Під час етапу випускання (режим роботи у ненавантаженому стані/витримка фурми) SO_2 не утворюється.

Установка з виробництва мокрої сірчаної кислоти на новому заводі з виробництва свинцю KCM (Пловдив) призначена для уловлювання і перетворення SO_2, що надходить на етапі плавки, з ефективністю не менше ніж 99,8 %, в результаті чого рівень викидів SO_2 зі скрубера залишкових газів становить менше ніж 2,6 кг/тонну виробленої кислоти (у вигляді 100 % H_2SO_4), і у всіх випадках рівень викидів SO_2 зі скрубера залишкових газів не перевищує 400 мг/Нм^3. Фактично гарантований викид SO_2 для цієї установки становить не більше ніж 110 часток на млн об'єму (у перерахунку на суху речовину), що дорівнює 322 мг/Нм^3 (у перерахунку на суху речовину). Зверніть увагу, що вимога «2,6 кг SO_2/тонну виробленої 100% кислоти» є менш суворою, ніж вимога перетворення 99,8%.

Через низький вміст SO_2 у відхідних газах на етапі відновлення вимоги до перетворення 99,8 % або 2,6 кг SO_2/тонну виробленої кислоти є практично неможливими, оскільки вони призводять до рівнів SO_2, які важко виміряти або які є недосяжними (< 10 часток на млн об'єму або 29,3 мг/Нм^3). Очікувані викиди SO_2 зі скрубера залишкових газів на етапі відновлення оцінюється як < 10 частин на млн об'єму або < 29,3 мг/Нм^3.

У Таблиці 5.28 показано очікувані показники уловлювання SO_2, що надходить на установку з виробництва сірчаної кислоти.

Таблиця 5.28: Викиди SO_2 на установці з виробництва мокрої сірчаної кислоти на новому заводі з виробництва свинцю KCM у Пловдиві

Етап	Швидкість потоку у димовій трубі	Час	SO_2, (у перерахунку на суху речовину)	SO_2, (у перерахунку на суху речовину)	Уловлювання SO_2	Викид SO_2
Одиниці вимірювання	Нм^3/год сухої речовини	h	мг/нм^3	ppmv	%	кг/цикл
Виплавка	~ 37 950	7	< 322	< 110	99,8	< 85,54
Відновлення	~ 21 700	1,5	< 29,3	< 10	-	< 0,95
Витримка-Випускання	-	1	-	-	-	0
Всього	-	9,5	-	-	-	< 86,49
Джерело: [377, ILA 2013], [397, ILA 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля

Закрите обладнання
Інформацію не надано.

Гарячий електростатичний фільтр
Збільшення енергоспоживання.

Мокрий електростатичний фільтр
- Збільшення енергоспоживання.
- Утворюються відпрацьовані води, які необхідно очищати, щоби запобігти потраплянню металів та інших речовин у воду.
- Залишки піддаються захороненню.

Рукавний фільтр
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес. Коли пил має бути повернений у процес, необхідно зробити очищення для видалення домішок.

Видалення ртуті
- Збільшення енергоспоживання.
- Використання добавок.
- Утворюються тверді та рідкі відходи, які потребують захоронення.

Установка з виробництва сірчаної кислоти
Див. Розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2. Вплив на різні компоненти довкілля сильно залежать від технологій, що використовуються для виробництва сірчаної кислоти.

Мокрий скрубер
Утворюються стічні води, які потребують належного очищення для запобігання скиданню металів та інших забруднювальних речовин у приймальне водоймище. Залишки необхідно обробляти.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Закрите/ізольоване обладнання
Загальнозастосовна.

Гарячий електростатичний фільтр, мокрий електростатичний фільтр, рукавний фільтр, система видалення ртуті
Загальнозастосовна. Комбінація технологій залежить від характеристик димових газів.

Установка з виробництва сірчаної кислоти
Застосовується до димових газів, що містять більше ніж 1 % мас. SO_2. Як альтернатива вилучення SO_2 на кислотній установці подвійного контактування/подвійної абсорбції застосовується для печей, що обробляють комбінацію первинної та вторинної сировини, або якщо на одному об'єкті є печі для виплавки первинного та вторинного металу.

Мокрий скрубер
Утворюються стічні води, які необхідно належним чином очищати перед скиданням. Застосовність мокрого скрубера також може бути обмежена дуже високими швидкостями потоку відпрацьованих газів, а в посушливих районах — необхідним великим обсягом води.

Економічні аспекти
Підприємство Aurubis, Гамбург, повідомляє про інвестиційні витрати на встановлення установки з видалення ртуті до 5 мільйонів євро (конденсатор, нагрівачі, рукавний фільтр, систему вдування, абсорбер та вентилятори) [397, ILA 2012].

Інвестиційні витрати на встановлення котла-утилізатора (тільки радіаційної секції) становлять до 5,1 млн євро (новий завод з виробництва свинцю KCM у Пловдиві) [397, ILA 2012]

Інвестиційні витрати на встановлення установки мокрого очищення газу, а потім установки з виробництва мокрої сірчаної кислоти становлять до 20 180 000 євро (вежа швидкого охолодження, скрубер з радіальним потоком, градирня, освітлювач/згущувач, шламовідстійник з нижнім зливом, система дозування силікату натрію, мокрий електростатичний фільтр, вентилятори для вологого газу, паралельний вентилятор, пускова/аварійна димова труба, установка з виробництва мокрої сірчаної кислоти: основне газодмухало, підігрів газу, система регенерації тепла розплаву солі, реактор, концентраційна колона, система виробництва сірчаної кислоти, мокрий електростатичний фільтр, скрубер залишкового газу, остання димова труба) [397, ILA 2012]

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Відновлення сірки.

Приклади заводів
Aurubis (Німеччина), Weser-Metall (Німеччина), новий завод з виробництва свинцю KCM (Бельгія) та Завод 8.

Довідкова література
[117, Krüger, J. 1999], [305, Ausmelt 2009], [397, ILA 2012]

5.3.3.2 Технології запобігання та зменшення дифузних викидів у виробництві первинного свинцю внаслідок завантаження, випускання та попереднього видалення міді

Опис
Технології, які слід розглянути:

- ізольовані системи завантаження;
- покриття/витяжні ковпаки в точках завантаження та випускання (див. Розділ 2.12.4);
- закрите обладнання з видаленням димових газів та робота печі та маршрут димових газів під негативним тиском (див. Розділ 2.12.4);
- місцева система вентиляції зон завантаження та випускання з кінцевим етапом видалення пилу в рукавному фільтрі (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- закрите приміщення (див. Розділ 2.12.4);
- підтримання герметичності печі (див. Розділ 2.12.4);
- підтримання температури в печах на найнижчому необхідному рівні (див. Розділ 2.12.4).

Технічний опис
Для запобігання дифузним викидам під час завантаження, випускання та попереднього видалення міді у джерелах викидів застосовуються покриття або витяжні ковпаки для уловлювання газів. Відхідні гази, що уловлюються, очищаються за допомогою рукавного фільтра.

Детальний опис технологій, що застосовуються для уловлювання відхідних газів для запобігання дифузним викидам, наведено в Розділі 2.12.4.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання та зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Піч Weser-Metall Ausmelt у Норденхамі повністю поміщена у захисний корпус. Вежі на даху будівлі з'єднані з тканинним фільтром. Завантажувальний отвір та подавальна конвеєрна стрічка очищаються за допомогою невеликої системи фільтрів із зіркоподібними патронами.

Шлак безперервно випускається з печі та зливається в струмінь води для гранулювання. Вологі та сухі дими видаляються вентилятором, підключеним до мокрого електростатичного фільтра (10 000–12 000 $м^3$/год).

На нижньому рівні печі розташовано чотири котли для видалення міді (знеміднення). Всі котли герметизовані належним чином, а сталева кришка має отвори, через які можна управляти мішалкою і скребками для дросу. Кришка має всмоктувальний отвір із трубним з'єднанням з рукавним фільтром. Рукавний фільтр також видаляє пил з відхідних газів з льотки для свинцю.

Для видалення дросу використовують ізольований скребок або шнек, з'єднаний з невеликим сталевим контейнером. Контейнер випорожнюється рухомою трубкою, яка з'єднана з вакуумним всмоктувальним пристроєм. Повний контейнер закривається залізною кришкою, а потім за допомогою крана переміщається за межі будівлі. Для цього відчиняються зазвичай закриті двері крана в будівлі. Контейнер транспортується вилочним навантажувачем у зону для зберігання дросу.

Очищені відхідні гази з мокрого електростатичного фільтра і рукавного фільтра об'єднуються і безперервно контролюються щодо викидів пилу і SO_2.

Потужність рукавного фільтра становить 111 000 $Нм^3$/год з площею фільтрування 1400 $м^2$ та 748 мішками. Середні викиди за 2010 р. склали: 0,66 мг/$Нм^3$ пилу, 0,39 мг/$Нм^3$ свинцю та 230 мг/$Нм^3$ SO_2.

На заводі Aurubis у Гамбурзі використовується закрита електрична металоплавильна піч з ізольованою ліфтовою системою завантаження. Верхня частина печі розташована під покриттям. У всіх зонах випускання встановлені ковпаки-вловлювачі. Вторинні гази з електричної печі уловлюються та знепилюються у рукавному фільтрі.

У Таблиці 5.29 нижче наведено рівні викидів, досягнуті після обробки вторинного газу з електричної печі. Коливання концентрацій пилу та SO_2 пов'язані з періодичним характером операції випускання шлаку та металу. Дані, що отримані в результаті безперервних вимірювань, показують тривалу нормальну експлуатацію в різних умовах, таких як мінливість вихідного матеріалу, різні навантаження та режими роботи, стирання обладнання або зношування фільтрувальних елементів.

Таблиця 5.29: Вторинні викиди в електричної печі на Заводі 18.

Походження	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/Нм^3)		Періодичність моніторингу
			Мінімум	Максимум	
Вторинний газ з електричної печі	Рукавний фільтр	Пил	< 0,5	5,5	Безперервний (середнє значення за пів години)
		Пил	< 0,5	4,2	Безперервний (середньодобове значення)
		SO_2	< 50	840	Безперервний (середнє значення за пів години)
		SO_2	< 50	800	Безперервний (середньодобове значення)
		Cu	< 0,01	0,2	Періодичний (4 рази на рік)
		Pb	< 0,01	0,2	
		Ni	< 0,01	0,1	
		As	< 0,01	0,02	
		Cd	< 0,02	< 0,02	

А у Таблиці 5.30 показані вторинні викиди з печей Заводу 17.

Таблиця 5.30: Вторинні викиди з печей на Заводі 17.

Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/нм^3)			Похибка (%)	Періодичність моніторингу
		Мін.	У середньому	Макс.		
Рукавний фільтр (*)	Пил	1	1,1	5	10	12 разів на рік
	Cu	0,002	0,006	0,4	30	
	Pb	0,3	0,458	2,8	20	
	As	0,03	0,037	0,6	50	
	Cd	0,006	0,014	0,1	20	
	SO_2	0	3,4	38	10	
	NO_X	0	2,3	13	10	
	H_2S	0,0	1,28	4,5	20	
	CS_2	0,0	0,45	1,5	15	
Рукавний фільтр (**)	Пил	1	1,1	5	10	12 разів на рік
	Cu	0,002	0,006	0,05	30	
	Pb	0,3	0,462	3,5	20	
	As	0,03	0,042	0,75	50	
	Cd	0,006	0,014	0,1	20	
	SO_2	9	16,9	38	10	
	NO_X	0	4,1	20	10	
	H_2S	0,0	0,87	4,5	20	
	CS_2	0,0	0,19	1,6	15	

(*) Викиди з: корпусу обертової печі, лиття чорнового свинцю, бункерів для шихти, резервуарів цеху стримування пилу, резервуарів періодичного завантаження, завантаження брухту, резервуарів для зберігання.
(**) Викиди з: з'єднання печей і камер згорання, випускання з камер згорання.

Вплив на різні компоненти довкілля
Витяжні ковпаки
Інформацію не надано.

Закрите обладнання з видаленням димового газу
Інформацію не надано.

Рукавний фільтр
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Екологічні норми та норми у галузі охорони здоров'я.

Приклади заводів
Усі заводи з виробництва первинного свинцю у Європі.

Довідкова література
[117, Krüger, J. 1999], [305, Ausmelt 2009], [397, ILA 2012]

5.3.3.3 Технології запобігання та зменшення дифузних викидів у повітря у виробництві первинного свинцю від обробки шлаку

Опис
Технології, які слід розглянути:

- зберігання шлаку в силосах або використання розпилювачів води для зберігання відкритого зберігання;
- закрите обладнання та витяжний ковпак з видаленням димового газу (див. Розділ 2.12.4);
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- мокрий електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.2).

Технічний опис
Зберігання шлаку в силосах або використання розпилювачів води для відкритого зберігання
Для запобігання викиду пилу під час зберіганні та поводженні зі шлаком встановлено систему розпилення води, що забезпечує підтримання вологості всіх шлакових мас.

Також використовуються закриті конвеєрні стрічки, з'єднані із силосним сховищем.

З іншими технологіями можна ознайомитись у розділах, зазначених вище.

Досягнуті екологічні переваги
Зберігання шлаку в силосах або використання розпилювачів води для відкритого зберігання та закритого обладнання та витяжних ковпаків з відведенням димового газу
Запобігання викидам пилу та металів.

Рукавний фільтр
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Шлак, отриманий у печі QSL, гранулюється водою. Вологий шлак використовується для будівельних цілей.

Піч Weser-Metall Ausmelt у Норденхамі виробляє товарний свинцевий концентрат металургійного походження із вмістом свинцю 40–60 %. У рамках операції можна переробити цей концентрат для утворення шлаку з низьким вмістом свинцю.

Свинцевий (оксидний) концентрат у Норденхамі виробляється шляхом водного гранулювання рідкого шлаку, що випускається із печі. Дрібнодисперсна фракція вимивається грануляційною водою до резервуарів для збору з лотковим ланцюговим конвеєром, який витягує дрібнодисперсну фракцію на прогумований стрічковий конвеєр. Конвеєрна стрічка з'єднана зі складом із подвійним силосом, що є проміжним сховищем для зберігання шлаку. Подальша обробка не здійснюється.

Вологі та сухі дими з гранулятора висмоктуються вентилятором, підключеним до мокрого електростатичного фільтра (10 000–12 000 $м^3$/год). Очищений газ контролюється разом з іншими димами з фільтра для видалення міді (склад див. у Розділі 5.3.3.2).

У Німеччині було зареєстровано викиди пилу від заводів із виробництва первинного свинцю < 1 $мг/Нм^3$.

Вплив на різні компоненти довкілля
Зберігання шлаку в силосах або використання розпилювачів води для відкритого зберігання
- Збільшення споживання води та енергії.
- Стічні води з герметизованої підлоги зони зберігання, якщо вони не використовуються повторно, підлягають очищенню на установці з очищення відпрацьованих вод.

Закрите обладнання та витяжний ковпак з видаленням димового газу
Інформацію не надано.

Рукавний фільтр та електростатичний фільтр
- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Усі заводи з виробництва первинного свинцю у Європі.

Довідкова література
[117, Krüger, J. 1999], [397, ILA 2012]

5.3.4 Виробництво свинцю та олова з використанням вторинних матеріалів (заводи з виплавки вторинного металу)

5.3.4.1 Технології запобігання та зменшення дифузних викидів у повітря у виробництві вторинного свинцю та олова.

Опис
Технології, які слід розглянути:
- витяжні ковпаки (див. Розділ 2.12.4);
- закрите обладнання з видаленням димового газу (див. Розділ 2.12.4);
- система «house-in-house» (див. Розділ 2.12.4)
- підтримання температури в печах на найнижчому необхідному рівні (див. Розділ 2.12.4);
- робота під негативним тиском та з належним видаленням газу для запобігання підвищенню тиску в печі (див. Розділ 2.12.4);
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Для запобігання дифузним викидам під час завантаження, випускання та попереднього видалення міді у джерелах викидів необхідно застосовувати покриття або витяжні ковпаки для уловлювання газів. Відхідні гази, що уловлюються, слід очищати за допомогою рукавного фільтра.

Детальний опис технологій, що застосовуються для запобігання дифузним викидам і для уловлювання відхідних газів, наведено в Розділі 2.12.4.3.

Система «house-in-house»
У системі «house-in-house» обладнання знаходиться в закритому приміщенні та додатково розміщено в належним чином герметизованому корпусі, що вентилюється в систему фільтрів. Операції з розливання та транспортування відбуваються всередині цього покриття, обладнаного з цією метою мостовим краном (візком для завантаження). Переміщенням крану та обладнання управляють дистанційно. Автоматизована система використовується для автоматизованого керування вентиляторами під час роботи етапів процесу, під час яких утворюється дим.

Обсяг відхідних газів, що підлягають видаленню та очищенню, нижчий у порівнянні зі звичайними системами вентиляції будівель, і, отже, потреба в енергії значно нижча.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання та зменшення викидів пилу та металів.
- Повернення пилу у процес.
- Метод «house-in-house» дозволяє уникнути встановлення системи вентиляції будівлі.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У Таблиці 5.31 наведено дані щодо викидів пилу для заводу Metallo-Chimique у Бельгії.

Таблиця 5.31: Викиди пилу з установки для боротьби з дифузними викидами у Metallo-Chimique

Установка	Очищення газу	Викиди
Витяжна система	Рукавний фільтр	Пил < 5 мг/Нм^3
Джерело: [397, ILA 2012]		

На заводі Aurubis у Гамбурзі використовується закрита електрична металоплавильна піч з ізольованою ліфтовою системою завантаження. Сировиною для печі є широкий спектр матеріалів, що містять мідь/свинець. Верхня частина печі розташована під покриттям. У зонах випускання встановлені ковпаки-вловлювачі. Вторинні гази з електричної печі уловлюються та знепилюються у рукавному фільтрі.

Ливарні форми для чорнового свинцевого штейну (свинцевого виливка) розміщені всередині закритого приміщення і додатково розміщені у належним чином герметизованому корпусі (система уловлювання «house-in-house»), вентиляція якого здійснюється у рукавний фільтр із вдуванням вапна. Операції лиття переважно відбуваються всередині цього покриття, обладнаного з цією метою мостовим краном (візком для завантаження), або у зонах, що вентилюються (наприклад, витяжними вихровими ковпаками). Переміщенням крану та ливарних форм управляють дистанційно.

У Таблиці 5.32 наведено приклад рівнів викидів після уловлювання диму від машини для лиття свинцевих виливків в системі «house-in-house» та обробки у рукавному фільтрі з вдуванням вапна. Дані отримані в результаті безперервних вимірювань і показують тривалу нормальну експлуатацію в різних умовах, таких як мінливість вихідного матеріалу, різні навантаження та режими роботи, стирання обладнання та зношування фільтрувальних елементів.

Таблиця 5.32: Викиди пилу та SO_2 після системи «house-in-house» та рукавного фільтра з вдуванням вапна

Походження	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення, отримані за нормальних умов експлуатації (мг/нм^3)		Періодичність моніторингу
			Мін.	Макс.	
Машина для лиття свинцевих виливків	Витяжні ковпаки та система «house-in-house» Рукавний фільтр і вдування вапна (максимальний потік 250 000 Нм^3/год)	Пил	< 0,5	10	Безперервний (середнє значення за пів години)
		Пил	0,8	2,7	Безперервний (середньодобове значення)
		Пил	2	4	Безперервний (в середньому за рік)
		SO_2	< 50	1425	Безперервний (середнє значення за пів години)
		SO_2	65	250	Безперервний (середньодобове значення)
		SO_2	100	200	Безперервний (в середньому за рік)
		Cu	< 0,01	0,23	4 рази на рік (3*30 хв)
		Pb	0,01	0,3	
		Ni		< 0,02	
		As	< 0,01	0,07	
		Cd	< 0,01	0,02	
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

У Таблиці 5.33 наведено рівні викидів, досягнуті після обробки вторинного газу з електричної печі. Коливання концентрацій пилу та SO_2 пов'язані з періодичним характером операції випускання шлаку та металу. Дані отримані в результаті безперервних вимірювань і показують тривалу нормальну експлуатацію в різних умовах, таких як мінливість вихідного матеріалу, різні навантаження та режими роботи, стирання обладнання та зношування фільтрувальних елементів.

Таблиця 5.33: Вторинні викиди з електричної печі з рукавним фільтром

Завод	Походження	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/Нм^3)		Періодичність моніторингу
				Мін.	Макс.	
18	Вторинний газ з електричної печі	Рукавний фільтр	Пил	< 0,5	5,5	Безперервний (середнє значення за пів години)
			Пил	< 0,5	4,2	Безперервний (середньодобове значення)
			SO_2	< 50	840	Безперервний (середнє значення за пів години)
			SO_2	< 50	800	Безперервний (середньодобове значення)
			Cu	< 0,01	0,2	Періодичні вимірювання, 4 рази на рік (3*30 хв)
			Pb	< 0,01	0,2	
			Ni	< 0,01	0,1	
			As	< 0,01	0,02	
			Cd	< 0,02	< 0,02	
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]						

У Таблиці 5.34 наведено викиди з трьох інших заводів

Таблиця 5.34: Викиди пилу та металів від Заводів 6, 15 та 19

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/нм^3)			Періодичність моніторингу
			Мін.	У середньому	Макс.	
6	Система відсмоктуванні печі (назовні) / рукавний фільтр	Пил	< 1	< 1	6	Безперервні вимірювання (середньодобове значення)
		Pb	НЗ	< 1	2	
		Hg+Tl	< 0,002	< 0,002	< 0,002	
		Pb+Ni+Se	< 0,05	< 0,05	0,06	
		Sb+Cu+Sn	НЗ	0,05	0,08	
15	Рукавний фільтр, вторинні гази	Пил	0,03	НЗ	0,33	На основі 11 (пил) та 2 (метал) проб по 3-5 годин
		Cu	< 0,002	НЗ	0,002	
		Pb	< 0,001	НЗ	0,002	
		Sb	НЗ	НЗ	0,1	
		As	НЗ	НЗ	0,002	
		Cd	НЗ	НЗ	0,001	
19	Рукавний фільтр	Пил	0,2	0,5	1	Періодичні вимірювання (середнє значення за пів години)
		Pb+Cr+Cu+Mn+V	0,002	0,1	0,1	
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля
Витяжні ковпаки
Інформацію не надано.

Закрите обладнання з видаленням димового газу
Збільшення енергоспоживання. Обсяг відхідних газів, що підлягають видаленню та очищенню у звичайній вентиляції будівлі в порівнянні з системою «house-in-house» вище, і, отже, потребує більше енергії.

Система «house-in-house»
Інформацію не надано.

Рукавний фільтр
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Витяжні ковпаки та закрите обладнання з видаленням димового газу
Загальнозастосовна.

Система «house-in-house»
Через вимоги щодо розміщення та зв'язок з іншим обладнанням технологія «house-in-house» підходить для зменшення викидів від процесів випускання та завантаження печей та лиття на нових установках або за умови капітальної модернізації наявної установки.

Рукавний фільтр
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Основні експлуатаційні витрати на обробку газів пов'язані зі споживанням електроенергії вентилятором. Для системи тканинного фільтра потрібно 1,5 кВт-год на 1000 $м^3$ вихлопних газів. Електроенергія для типового заводу з виплавки вторинного металу потужністю 300 000 $м^3$/год (з якого основні технологічні гази становлять менше ніж 10%) коштує приблизно 400 000 євро на рік (0,10 євро за кВт-год).

Інші експлуатаційні витрати на рукавні фільтри охоплюють:

- заміну відпрацьованого тканинного фільтра: до двох разів на рік;
- стандартне технічне обслуговування інших пристроїв вартістю від 5 % до 10 % інвестиційних витрат на рік;
- вартість обробки.

Збільшення інвестиційних витрат також може статися через:

- тримання будівель закритими;
- адаптування систем вентиляції будівель;
- фільтрацію повітря перед випусканням в атмосферу.

Підприємство Aurubis повідомляє, що капітальні витрати на встановлення системи «house-in-house» склали 6 мільйонів євро [397, ILA 2012].

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм та норм у галузі охорони здоров'я.

Приклади заводів
BSB Recycling (Німеччина), Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik (Німеччина), Metallo-Chimique (Бельгія), Umicore (Бельгія), Aurubis (Німеччина), Elmet (Іспанія), Weser-Metall (Німеччина) та BMG Metall und Recycling GmbH (Австрія).

Довідкова література

[397, ILA 2012]

5.3.4.2 Технології зменшення каналізованих викидів запиленого повітря з відхідного газу заводу з виплавки вторинного металу

Опис
Технології, які слід розглянути:

- циклон (див. Розділ 2.12.5.1.3);
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- мокрий скрубер (радіальний або форсунковий) (див. Розділ 2.12.5.1.6);
- мокрий електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.2);
- система видалення ртуті (див. Розділ 2.12.5.5).

Ці технології можна застосовувати як окремо, так і в комбінації.

Технічний опис
Для зменшення викидів пилу з відхідних газів заводу з виробництва вторинного металу використовуються наступні технології.

- Циклони можна використовувати як пристрій попереднього очищення, завжди у поєднанні з рукавними фільтрами, див. Розділ 2.12.5.1.3.
- Рукавні фільтри дуже ефективні для уловлювання дрібних часток і є системою фільтрації, що часто застосовується. Введення добавок може здійснюватись для уловлювання забруднених газів.
- Як правило, весь уловлений фільтром пил переробляється (за необхідності після вилуговування небажаних компонентів), див. Розділ 2.12.5.1.4.
- Системи видалення ртуті з використанням абсорбентів або інших технологій, описаних в Розділі 2.12.5.5 можуть застосовуватись залежно від складу вихідних матеріалів.

Для газів з високим вмістом води (наприклад, від сушіння матеріалу або гранулювання шлаку) або з піроформним пилом використовуються такі технології.

- Мокрий скрубер (радіальний або форсунковий). Їх також можна використовувати в поєднанні з відповідним промивним розчином (наприклад, лужним розчином) для очищення димових газів, з яких необхідно видалити газоподібні забруднення, див. Розділ 2.12.5.2.2.
- Мокрі електростатичні фільтри дозволяють видаляти дуже дрібні частки пилу з меншим споживанням енергії, але з високими інвестиційними витратами, див. Розділ 2.12.5.1.2.
- Пил, вилучений із мокрих систем, видаляється у вигляді шламу в окремому водяному контурі або під час очищення стічних вод заводу.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу та металів.
- Відновлення сировини.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Нижче наведено деякі приклади комбінації перелічених вище технологій.

На заводі Metallo-Chimique, Берсе, та Elmet, Беранго, плавильний завод можна використовувати для виплавки (у рамках операцій) вторинних свинцево-олов'яних матеріалів. Metallo-Chimique використовує обертову конвертерну піч з верхнім дуттям для виплавки вторинного свинцю та олова. Гази з печі перед викидом проходять через повітряно-повітряний холодильник, циклон і рукавний фільтр.

У Таблиці 5.35 показані викиди пилу із трьох різних печей, що виробляють вторинний свинець.

Таблиця 5.35: Приклад викидів пилу від печей з виплавки вторинного металу

Тип печі	Потужність	Попередня обробка газу	Очищення газу	Викиди
Доменна піч	50 000 т/рік	НЗ	НЗ	< 2 мг/Нм^3 Газовий потік 90 000 м^3/год
Обертовий конвертер з верхнім дуттям (маленький)	30 т/завантаження	Холодильник + циклон	Рукавний фільтр	Пил < 5 мг/Нм^3
Плавильний завод	60 т/завантаження	Холодильник + циклон	Рукавний фільтр + рукавний фільтр з вдуванням сорбаліту	Пил < 5 мг/Нм^3
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012], [397, ILA 2012]				

Завод Umicore у Хобокені використовує процес періодичної дії у металоплавильній печі ISASMELT для комплексної вторинної сировини, що містить Pb, Cu та Ni, та деякої первинної сировини, внаслідок чого виходить неочищений гранулят міді та шлак з високим вмістом оксиду свинцю. Тепло від технологічних газів регенерується як пара. Після подальшого охолодження технологічні гази очищуються від пилу за допомогою сухого електростатичного фільтра та різко охолоджуються перед надходженням на установку з виробництва сірчаної кислоти. Вторинні гази видаляються біля завантажувального отвору, фурмового отвору, льотки та рафінувальної печі спеціальними ковпаками. Вони очищаються у рукавному фільтрі потужністю 230 000 Нм^3/год, а гази викидаються в атмосферу з < 1 мг/Нм^3 пилу та < 300 мг/Нм^3 SO_2.

Шлак оксиду свинцю дробиться і подається в доменну піч разом з іншими вторинними матеріалами, що містять свинець, коксом і вапняком, в результаті чого виходить нечистий свинець, штейн і збіднені шлаки. Технологічні гази спочатку частково допалюються для окислення пірофорних металевих часток, охолоджуються з рекуперацією енергії, очищуються від пилу в рукавному фільтрі та, нарешті, допалюються для CO. Тепло використовується для нагрівання повітря, що вдувається в доменну піч. Потім технологічні гази додатково охолоджуються в теплообміннику і змішуються з вторинними газами для конденсації летких металів (As, Hg) та фільтруються у другому рукавному фільтрі перед викидом в атмосферу. У Таблиці 5.36 показані досягнуті характеристики.

Таблиця 5.36: Приклад викидів пилу металоплавильної печі ISASMELT та доменної печі для виробництва вторинного свинцю та олова на заводі Umicore, Хобокен

Тип печі	Потужність	Попередня обробка газу	Очищення газу	Викиди
ISASMELT	1000 т/день	Рекуперація енергії, сухий електростатичний фільтр, швидке охолодження	Установка з виробництва сірчаної кислоти (подвійного контактування/подвійної абсорбції)	Пил < 1 мг/Нм^3
Доменна піч	1000 т/день	Часткове допалювання, охолодження, рукавний фільтр	Допалювання CO, охолодження шляхом змішування зі вторинними газами, рукавний фільтр	Пил < 1 мг/Нм^3
Джерело: [397, ILA 2012]				

Завод KGHM здійснює виплавку первинної міді на плавильних заводах у Легниці, Глогуві 1 і Глогуві 2. Димовий пил від плавки міді, що уловлюється рукавними фільтрами та системами мокрого знепилення, обробляється до чорнового свинцю в чотирьох обертових печах, що гойдаються, у Глогуві 1.

Виплавка свинцю є періодичним процесом. Після завантаження в піч партії свинцевої шихти та необхідного обсягу залізного брухту починається виробничий цикл. На першому етапі процесу матеріал нагрівають, а потім висушують. Вуглеводні випаровуються, а органічний вуглець згорає. Найважливіші хімічні реакції — відновлення сполук свинцю — відбуваються, коли сировинний матеріал, вже у вигляді розплаву, досягає температури близько 1000 °C. За температури 1050-1100 °C розплав зливають із печі в ковші для природного відділення металу від шлаку. Тривалість виробничого циклу у печі становить близько чотирьох годин.

Кожна піч має індивідуальну установку допалювання та охолодження відхідних газів. Гази від цих установок надходять у центральну установку знепилення, що складається зі змішувальної камери та фільтрувальної системи. Після знепилення гази надходять на установку десульфуризації для подальшого очищення. Тут гази з обертових печей, що гойдаються (65 000 $м^3$/год), обробляються разом з димовими газами електростанції (1 000 000 $м^3$/год). У 2014 році (під час завершення огляду Довідкової документації за найкращими доступними технологіями для підприємств кольорової металургії) були внесені зміни для направлення димових газів з обертових печей, що гойдаються, в спеціальну систему боротьби з викидами, що складається з рукавного фільтра для зменшення викидів пилу і металів, а також мокрого скрубера для зменшення викидів SO_2.

На заводі Aurubis в Гамбурзі відхідні гази з електричної печі охолоджуються холодним газом, що рециркулює, і повітряно-газовим холодильником. Охолоджені гази направляються у рукавний фільтр, потім проходять етап видалення ртуті, а потім — на кислотний завод. Вторинні гази з електричної печі уловлюються та знепилюються у рукавному фільтрі.

Додаткові дані повідомлені у наступній таблиці.

Таблиця 5.37: Викиди пилу та металів із печей для виробництва вторинного свинцю

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/Нм^3)			Періодичність моніторингу
			Мін.	У середньому	Макс.	
1	Закрита система, вдування вапна, рукавний фільтр	Пил	0,2	< 0,5	2	Двічі на рік
		Pb	0,1	0,2	0,6	
3,1	Невідомо	Пил	0,0	0,061	6,829	Безперервний (середнє значення за пів години)
		Pb	0,295	0,311	0,328	Двічі на рік
		Cu	0,0107	0,0212	0,0317	
		Ni	0,009	0,0237	0,0384	
		Zn	0,0256	0,231	0,438	
		As	0,002	0,0074	0,0128	
		Cd	0,0003	0,0017	0,128	
		Hg	0,0003	0,0015	0,003	
3,2	Невідомо	Пил	0,014	0,72	6,627	Безперервний (середнє значення за пів години)
		Pb	1,707	3,653	5,6	Двічі на рік
		Cu	0,0192	0,0233	0,0275	
		Ni	0,0208	0,022	0,0232	
		Zn	0,0605	0,0727	0,085	
		As	0,004	0,0068	0,0095	
		Cd	0,0098	0,006	0,0021	
		Hg	0,0003	0,0007	0,001	
		Tl	0,0	0,0019	0,0038	
		Se	0,0015	0,0018	0,002	
		Sb	0,0607	0,0683	0,076	
		Sn	0,0001	0,0115	0,0228	
4	Вдування вапна та рукавний фільтр	Пил	0,2	0,8	3	Безперервний (у середньому за місяць)
		Pb	0,1	0,3	1	
5	Камера допалювання, високотемпературний рукавний фільтр, рідке середовище, десульфуризація димового газу	Пил	0,140	0,460	1,24	4 рази на рік
		Pb	0,010	0,030	0,059	
		Cu+Pb+Zn+Ni та сполуки	0,011	0,035	0,062	
		Sb+Sn+Te та сполуки	0,003	0,01	0,01	
		Cd+As+Hg+Tl+Se та сполуки	0,01	0,02	0,05	
6	Рукавний фільтр	Пил	НЗ	< 1	5	Безперервний (середньодобове значення)
		Pb	НЗ	< 1	2	
		Hg+Tl	НЗ	< 0,01	< 0,01	Раз на рік
		Pb+Ni+Se	НЗ	0,3	0,4	Раз на три роки
		Sb+Cu+Sn	НЗ	< 0,1	0,2	
7	Рукавний фільтр	Пил	< 0,5	< 0,5	1	Безперервний (середньодобове значення)
		Pb	< 0,05	0,06	0,16	11 разів на рік
		As+Cd	< 0,005	< 0,005	0,007	
	Рукавний	Пил	< 0,5	< 0,5	0,5	Безперервний

	фільтр					(середньодобове значення)
		Pb	< 0,05	< 0,05	< 0,05	9 разів на рік
		As+Cd	< 0,005	0,005	0,018	7 разів на рік
9	Вдування вапна у камері допалювання та рукавний фільтр	Пил	0,2	0,7	2	Безперервний (середньодобове значення)
		Pb	0,1	0,2	0,7	Раз на три роки
11	Рукавний фільтр	Пил	0,1	0,8	5	3 рази на рік
		Pb	0,06	0,5	3	
12,1	Рукавний фільтр	Пил	1,7	2,5	3,9	Безперервний (середнє значення за пів години)
		Zn	0,14	0,219	0,304	Раз на рік (Вимірювання, проведені у різні роки, використовувались для розрахунку мінімального, максимального та середнього значення)
		Pb	0,029	0,034	0,05	
		Cu	0,16	0,286	0,444	
		Cr	0	0,015	0,029	
		Mn	0,005	0,006	0,008	
		Sn	0,01	0,015	0,024	
		Hg	0	0,0016	0,004	
12,2	Рукавний фільтр	Пил	НЗ	1,5	14,6	Безперервний (середнє значення за пів години)
		Zn	0,139	0,17	0,204	Раз на рік (Вимірювання, проведені у різні роки, використовувались для розрахунку мінімального, максимального та середнього значення)
		Pb	0,036	0,047	0,064	
		Cu	0,147	0,18	0,204	
		Cr	0,0002	0,006	0,01	
		Sn	0,001	0,015	0,026	
		As	0	0,006	0,017	
		Cd	0,007	0,009	0,011	
		Hg	0	0,002	0,004	
13,1	Рукавний фільтр, адсорбційний фільтр з вдуванням сорбаліту	Пил	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Двічі на рік
		Sb	< 0,0005	0,0011	0,0016	
		Cu	0,0018	0,0046	0,0073	
		Cd	< 0,0005	0,0008	0,0011	
		Pb	0,0015	0,0160	0,0305	
		Sn	< 0,001	0,002	0,003	
		Zn	0,0055	0,0352	0,0649	
13,2 (Обертовий конвертер з верхнім дуттям)	Рукавний фільтр	Пил	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Двічі на рік
		Cu	0,0011	0,0067	0,0116	
		Pb	0,0022	0,0063	0,0104	
		Sn	< 0,001	0,003	0,004	
		Zn	0,0066	0,0136	0,0206	
13,3 (Обертовий конвертер з верхнім дуттям)	Рукавний фільтр	Пил	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Двічі на рік
		Cu	< 0,0005	0,0007	0,0008	
		Pb	0,0023	0,0082	0,0141	
		Sn	< 0,001	0,002	0,003	
		Zn	0,0018	0,0044	0,0070	
15,1	Допалювач, рукавний фільтр, регенерація тепла, змішування з	Пил	0,07	0,27	0,91	11 разів на рік
		Pb	0,03	0,08	0,15	
		Cu	< 0,001	0,001	0,001	
		Cd	0,0004	0,003	0,01	
		As	0,004	0,09	0,24	
		Zn	0,01	0,02	0,03	

	вторинними газами, 2-й рукавний фільтр	Sb	0,0003	0,01	0,04	
		Sn	0,002	0,006	0,03	
		Hg	< 0,001	0,019	0,08	
15,2	Скрубер	Пил	0,42	2,17	6,01	13 разів на рік
		Pb	0,01	0,17	1,19	
		Cu	0,0004	0,01	0,05	
		Cd	0,002	0,006	0,01	
		As	0,001	0,02	0,09	
		Sb	0,14	0,92	2,18	
		Zn	0,0	0,03	0,2	
15,3 (ISASMELT)	Рукавний фільтр	Пил	0,03	0,12	0,33	11 разів на рік
		Pb	< 0,001	НЗ	0,004	Двічі на рік
		Cu	< 0,002	НЗ	0,002	
		Cd	< 0,0002	НЗ	0,0009	
19	Не повідомлено	Пил	0,4	3	7	Безперервні вимірювання (середньодобове значення)
		Sb+Cr+Cu+Mn+V+Zn+Sn+Фторид+Ціанід	0,05	< 0,1	0,1	3 рази на рік
		Pb+Co+Ni+Se+Te	< 0,05	< 0,05	0,01	
		Hg	0,0012	0,032	0,05	
		As+Cd+Cr (VI)	0,001	0,001	0,002	

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012], [385, Germany 2012], [393, Austria 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля

Циклон

Збільшення енергоспоживання.

Рукавний фільтр та електростатичний пиловловлювач

- Збільшення енергоспоживання.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути повернений у процес. Для відновлення димового пилу необхідне очищення, на об'єкті або за його межами, для видалення домішок.

Мокрий скрубер та мокрий електростатичний пиловловлювач

- Збільшення енергоспоживання.
- Утворюються відпрацьовані води, які необхідно очищати, щоби запобігти потраплянню металів та інших речовин у воду. Для відновлення димового пилу необхідне очищення, на об'єкті або за його межами, для видалення домішок.

Видалення ртуті

- Збільшення енергоспоживання.
- Використання добавок.
- Утворюються тверді або рідкі відходи, які необхідно обробляти на об'єкті або за його межами.
- Відходи, що містять ртуть, підлягають захороненню.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Циклон
Загальнозастосовна. Циклонів недостатньо для зменшення викидів пилу у якості самостійної технології. Вони повинні використовуватись у поєднанні з іншою фільтрувальною системою, такою як рукавний фільтр.

Рукавний фільтр
Загальнозастосовна.

Мокрий скрубер та мокрий електростатичний пиловловлювач
Ці технології використовуються тільки для газів з високим вмістом води або пірофорного пилу.

Установка з видалення ртуті
Використання цих технологій залежить від складу вихідних матеріалів.

Економічні аспекти
Інвестиційні витрати на встановлення установки з видалення ртуті, за даними Aurubis у Гамбурзі, становлять до 5 мільйонів євро (конденсатор, нагрівачі, рукавний фільтр, система вдування, абсорбер та вентилятори) [397, ILA 2012]

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм. Відновлення сировини.

Приклади заводів
Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik (Німеччина), Aurubis (Німеччина), HJ Enthoven & Sons (Велика Британія), Umicore (Бельгія), KGHM (Польща), Boliden Bergsöe (Швеція), Metallo-Chimique (Бельгія) та Elmet (Іспанія).

Довідкова література
[397, ILA 2012]

5.3.4.3 Технології зменшення викидів SO_2 з печей заводів з виплавки вторинного металу

Опис
Технології зменшення викидів SO_2 з печей заводів з виплавки вторинного металу:

- десульфуризація сировинних матеріалів;
- фіксація сірки у фазі плавки за допомогою добавок;
- обробка потоку газу, що містить SO_2, шляхом вдування вапна та бікарбонату натрію;
- лужний скрубер після фільтрування пилу;
- установка з виробництва сірчаної кислоти (див. Розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2).

Технічний опис
Десульфуризація сировинних матеріалів
Десульфуризація сировинних матеріалів охоплена у Розділі 5.3.2.5. Вона здійснюється перед виплавкою.

Фіксація сірки
Викиди SO_2 від заводів з виплавки вторинного металу можна зменшити шляхом додавання заліза та/або соди. Залізо, що додається в піч, вступає в реакцію з сіркою, що міститься у вихідному матеріалі, з утворенням штейну (наприклад, сульфіду заліза), таким чином уловлюючи сірку і запобігаючи викидам SO_2. Коефіцієнт уловлювання у виробництві штейну становить приблизно 90 % за оптимальних умов. Штейн виходить із печі в рідкому стані, але за кімнатної температури стає твердим, тому він не утворює пил та є легким у користуванні.

Мідь, якщо вона присутня у вихідному матеріалі, діятиме так само як залізо, що призведе до фіксації сірки у вигляді сульфіду міді.

Штейн складається в основному із заліза, сірки та Na_2S, а також невеликого відсотка свинцю і може продаватися як відновник, або для вилучення цих елементів, або бути захороненим. Таким чином, склад шихти повинен бути збалансований для досягнення складу шлаку, прийнятного для майбутнього продажу, перероблення або захоронення (за необхідності після попередньої обробки з мінімальними можливими втратами металу).

Вдування вапна та бікарбонату натрію

Видалення SO_2 досягається шляхом сухого вдування вапна або бікарбонату натрію на виході з допалювача за 1100 °C або, за нижчої температури, в газоході перед рукавним фільтром. Вищі виходи можливі у разі одночасного впорскування води, вдування більшої кількості вапна або використанні вапна з високою питомою поверхнею.

У разі використання наявного газоочисного обладнання з тканинним фільтром, призначеним для видалення технологічного пилу, вдування вапна може бути встановлено для видалення SO_2, якщо це дозволяє потужність фільтра. Вдування вапна можливе, коли температура, вміст вологи та час контактування є достатніми, хоча може знадобитися змішувальна камера для отримання належної суміші технологічного газу, води та вапна, що вводяться. Наявної фільтрувальної установки може бути недостатньо, оскільки кількість пилу сильно зростає, і тому може знадобитися заміна фільтрувальної установки.

Лужне очищення у скрубері
Потік газу з печі спочатку швидко охолоджують водою до 200 °C. Потім він проходить через рукавний фільтр і прямує в мокрий скрубер з промивним розчином (наприклад, вапняним, NaOH або H_2O_2) для уловлювання SO_2. Сульфіт окислюється до сульфату, за чим відбувається відновлення гіпсу після фільтрування у разі використання вапна або сульфату натрію після випарювання води у разі використання гідроксиду натрію. Гази, насичені водою, охолоджують для видалення вологи. За оптимальних умов може бути досягнута ефективність видалення SO_2 щонайменше 99%.

Установка з виробництва сірчаної кислоти (див. Розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2)
*М*ожна використовувати комбінацію деяких технологій, при цьому технології обираються в залежності від складу сировини та типу печі, що використовується для виплавки.

Ці технології можуть застосовуватися для зменшення викидів SO_2 з плавильних заводів, що обробляють димовий пил від виробництва первинної міді.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів SO_2. SO_2 може бути відновлений у вигляді сірчаної кислоти, що виробляється на установках з виробництва сірчаної кислоти. Гіпс, що утворюється в результаті лужного скруберного очищення, можна використовувати повторно.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Ефективність описаних технологій обробки залежатиме від складу газу (вологості та концентрації SO_2), використовуваної печі, коливань складу газу в залежності від часу та температури.

Фіксація сірки
Коефіцієнт уловлювання у виробництві штейну становить приблизно 90 % за оптимальних умов.

Вдування вапна та бікарбонату натрію
Вдування вапна призведе до видалення пилу та SO_2 за допомогою того ж самого тканинного фільтра. Є також позитивний вплив на викиди діоксинів. Отримана суміш твердих часток вапна та гіпсу може бути повторно використана в інших металургійних процесах або процесах очищення води.

Оскільки реакція SO_2 з вапном відбувається на поверхні часток вапна, і реакція протікає швидше за більшого вмісту вологи, знизити споживання вапна можна таким чином:
- одночасне упорскування води (пара);
- використання гашеного вапна з великою/пористістю поверхнею;
- та/або шляхом рециркуляції пилу з тканинного фільтра.

В результаті цього процесу загальне уловлювання сірки перевищить 95 % за оптимальних умов.

Значення, наведені тут, стосуються введення вапна, натрію або лужної води в димові гази з типового виробництва 30 000–50 000 тонн свинцю на рік для заводу з типовою доменною піччю для виробництва вторинного металу (наприклад, Boliden Bergsöe, Швеція; Johnson Controls Recycling, Німеччина; Kovohute Pribram, Чехія; Campine (Бельгія).

- Потік технологічного газу: 50 000–90 000 $Нм^3$/год.
- Викиди SO_2: < 500 мг/$Нм^3$ (*) (середньорічне значення).
- Викиди пилу: < 2 мг/$Нм^3$.

(*) Очищення залишкових газів із вдуванням сухого вапна або впорскуванням водного розчину лугу в допалювач.

У Берсе, Бельгія, діє наявний безперервний процес із різними концентраціями SO_2. Сухе вапно вдувається у двох точках процесу, які мають відповідно високі та низькі температури. Засмічення та блокування труб обмежують практичну швидкість вдування вапна. Суміш сульфату свинцю та пилу переробляється на об'єкті, але гіпс не може бути перероблений на об'єкті, а витрати на утилізацію гіпсу/пилу високі.

У Бергсе, Швеція, використовується наявний безперервний процес плавки свинцю з різними концентраціями SO_2 з використанням вдування вапна в допалювач заводу з виплавки свинцю. Основний процес призначений для уловлювання SO_2 шляхом додавання заліза в піч та утворення залізного штейну. Коефіцієнт уловлювання у виробництві штейну становить приблизно 90 %. Подальше видалення SO_2 досягається шляхом сухого вдування вапна (~ 60 кг/год) на виході з допалювача за 1100 °C.

Упорскування води неможливе через засмічення та блокування труб та можлива проблема утворення конденсату в рукавних фільтрах. Вищі виходи можливі за вищої швидкості вдування вапна, але вапно викликає засмічення та блокування труб за високої швидкості вдування. Через вміст свинцю у пилу з фільтра його повертають у піч після дехлорування, а вміст вапна сприяє утворенню шлаку. Вартість обробки пилу з фільтра відносно невисока.

Дані про продуктивність для прикладів заводів наведено в Таблиці 5.38.

Таблиця 5.38: Дані про продуктивність для прикладів заводів

Завод	SO_2 (мг/Нм^3)		Пил (мг/нм^3)		Коментар
	На вході	На виході	На вході	На виході	
Metallo-Chimique, Берсе (завод з відновлення цілого акумулятора)	1000	400	НЗ	НЗ	Вдування у двох точках
Boliden Bergsöe (Завод з виплавки свинцю)	1000	400	НЗ	< 1	Сірка видаляється у вигляді залізного штейну з додаванням 650 кг/год вапна у допалювач. Пил використовується у процесі
НЗ = Не зазначено *Джерело:* [346, SO2 - Lime injection FINAL 4.2.2010]					

Установка з виробництва сірчаної кислоти
Прикладом використання плавильної печі ISASMELT продуктивністю 1000 т/д (періодичний процес) є завод Umicore у Бельгії:
- вихідні матеріали: матеріали, що містять свинець та мідь;
- вихідні потоки: шлак нечистої міді та оксиду свинцю;
- потік технологічного газу: 54 000 Нм^3/год;
- концентрація SO_2 у технологічних газах: до 10 %;
- концентрація SO_2 після установки з виробництва сірчаної кислоти подвійного контактування/подвійної абсорбції: < 300 мг/Нм^3 (середньодобове значення).

На заводі Aurubis, Гамбург вторинні матеріали, шлаки, штейновий пил, що містять свинець і мідь, а також первинні свинцеві концентрати переробляються в електричних печах. Відхідний газ електричної печі охолоджується холодним газом, що рециркулює, та повітряно-газовим холодильником. Потім відхідні гази фільтруються у рукавному фільтрі та проходять через установку абсорбції ртуті з абсорбером, що містить селен. Технологічні відхідні гази потім передаються на кислотну установку подвійного контактування/подвійної абсорбції, якщо вони містять значну кількість SO_2, або в димову трубу виключно для зменшення кількості газу з низьким вмістом SO_2. Безперервні вимірювання виконуються для контролю концентрації SO_2, і повідомляються рівні 330-1980 мг/Нм^3, як середні значення за пів години. Вторинні гази (покриття склепіння печі, витяжні ковпаки на льотках) з електричної печі уловлюються та очищаються від пилу у рукавному фільтрі. Безперервні вимірювання проводяться для контролю концентрації пилу та SO_2, повідомляються рівні 0,5–5,5 мг/Нм^3 та 50–840 мг/Нм^3 відповідно, як середні значення за пів години.

У Таблиці 5.39 продемонстровані показники ефективності заводів з виробництва вторинного свинцю та олова в ЄС-28, на яких застосовується комбінація перелічених вище технологій.

Таблиця 5.39: Викиди SO_2 із заводів з виробництва вторинного свинцю та олова в ЄС-28

Завод	Технологія	Викиди SO_2 ($мг/нм^3$)			Періодичність моніторингу
		Мін.	У середньому	Макс.	
1	Уловлювання сірки в штейні приблизно 90 %, закрита система. Вдування вапна у газовий потік для повного уловлювання SO_2 понад 95 %.	200	360	800	Безперервні вимірювання (в середньому за рік) (Мінімальне і максимальне значення пов'язані з середньодобовим значенням)
4	Вдування вапна з рукавним фільтром	350	480	1000	Безперервні вимірювання (середнє значення за годину)
5	Камера допалювання, високотемпературний рукавний фільтр, рідке середовище, десульфуризація димового газу	1	102	202	Двічі на рік (в середньому за 4 години)
7	Десульфурована паста та флюси (сода) додаються у піч	< 10	109	375	Безперервні вимірювання (середнє значення засноване на тривалості періоду виробництва партії)
9	Уловлювання до 90 % сірки у сировині для печі шляхом додавання заліза для утворення штейну (сульфіт заліза); Адсорбція SO_2 з відхідних газів шляхом вдування вапна у камеру допалювання	200	370	500	Безперервні вимірювання (середньодобове значення)
11	Залізо у шихті, введення лужної води у допалювач	279	402	800	4 рази на рік
13	Рукавний фільтр та адсорбційний фільтр з вдуванням сорбаліту	0	80	500	Безперервні вимірювання (середнє значення за годину)
15	Уловлювання сірки у твердій фазі > 97 %, допалювач, рукавний фільтр, рекуперація тепла, змішування з вторинними газами, 2-й рукавний фільтр	50	83	154	11 разів на рік (1–2-годинна проба)
18	Установка з виробництва сірчаної кислоти	330		1080	Безперервні вимірювання (середньодобове значення)

Джерело: [385, Germany 2012], [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
Десульфуризація вхідної сировини
Див. Розділ 5.3.2.5.

Фіксація сірки у фазі плавки за допомогою добавок
- Використання добавок.
- Збільшення утворення шлаку та втрат свинцю у шлаку.

Обробка потоку газу, що містить SO_2, шляхом вдування вапна та бікарбонату натрію
- Збільшення енергоспоживання. Використання змішувальної камери створює додатковий перепад тиску, що призводить до вищого споживання енергії вентилятором.
- Використання добавок.
- Можуть утворюватися відходи, якщо уловлений пил не може бути використаний повторно.

Лужний скрубер після фільтрування пилу
- Збільшення енергоспоживання.
- Утворюються відпрацьовані води, які необхідно очищати, щоби запобігти потраплянню металів та інших речовин у воду.

Установка з виробництва сірчаної кислоти
Див. Розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Умови місцевого ринку та вимоги до якості побічних продуктів, що утворюються, можуть допомогти визначити, яку технологію слід застосовувати.

Десульфуризація вхідної сировини
Див. Розділ 5.3.2.5.

Фіксація сірки у фазі плавки за допомогою добавок
Уловлювання SO_2 шляхом додавання заліза або лужних флюсів застосовується, якщо існує місце призначення для отримуваного залізного штейну або шлаку.

Обробка потоку газу, що містить SO_2, шляхом вдування вапна та бікарбонату натрію
Уловлювання SO_2 в потоці відпрацьованих газів шляхом введення добавок в сухому стані застосовується для обробки відхідних газів заводів з виплавки вторинного металу, що використовують сірковмісні матеріали, за сприятливих умов процесу (наприклад, вміст SO_2, мінливість вмісту SO_2, температура, вміст вологи, добавки).

Лужний скрубер після фільтрування пилу
Технології мокрого очищення можуть застосовуватися лише за наявності відповідних рішень для водного потоку (очищення стічних вод або випарювання) та отриманих сульфатних продуктів (продаж, перероблення або скидання). Застосовність мокрого скрубера також може бути обмежена в посушливих районах через необхідність великого об'єму води.

Установка з виробництва сірчаної кислоти
Вилучення SO_2 на кислотній установці подвійного контактування/подвійної абсорбції переважно застосовується для печей, що обробляють сірковмісні матеріали, або комбінацію первинної та вторинної сировини, або якщо на об'єкті є печі для виплавки первинного та вторинного металу.

Економічні аспекти
Витрати необхідно визначити та порівняти для робочої ефективності кожної технології, оскільки умови процесу можуть змінюватись від одного плавильного заводу до іншого.

Десульфуризація вхідної сировини
Якщо десульфуризація відбувається до плавки, для утворення шлаку потрібна менша кількість добавок та енергії. Таким чином, вартість десульфуризації вихідного матеріалу слід порівнювати з перевагами використання меншої кількості флюсів та реагентів, меншого часу плавки, нижчого споживання енергії та меншої кількості шлаку, що

утворюється для утилізації.

Фіксація сірки у фазі плавки за допомогою добавок
Фіксація сірки добавками, такими як залізо або сода, призводить до збільшення експлуатаційних витрат через вартість добавок та маніпуляцій із продуктами. Проте, отриманий шлак часто гірше вилуговується, і тому його легше використовувати та утилізувати.

Обробка потоку газу, що містить SO_2, шляхом вдування вапна та бікарбонату натрію
Установка системи сухого уловлювання SO_2 (вдування вапна або бікарбонату натрію) на наявних заводах пов'язана з низькими інвестиційними витратами, за умови, що потужність встановленої системи уловлювання пилу є достатньою для обробки додаткової кількості пилу. Вартість додаткового рукавного фільтра у разі потреби буде значною. Необхідну кількість вапна можна зменшити, використовуючи вапно з високою питомою поверхнею та/або шляхом рециркуляції пилу з тканинного фільтра. Також можна застосовувати вдування бікарбонату натрію, хоча вартість буде значно вищою.

Інвестиційні витрати на установку в Берсе становлять 550 000 євро (змішувальна камера: 100 000 євро, додаткові витрати на тканинний фільтр: 190 000 євро, система вдування, включно з силосом: 60 000 євро).

Лужний скрубер після фільтрування пилу
Скрубери вимагають значних інвестицій, і встановлення іноді може вимагати адаптування до наявних установок з очищення відпрацьованих вод.

Для всіх в експлуатаційних витратах методів слід враховувати обробку отриманих побічних продуктів або відходів.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Boliden Bergsöe (Швеція), Johnson Controls Recycling (Німеччина), Kovohute Pribram (Чехія), Campine (Бельгія), Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik (Німеччина), HJ Enthoven & Sons (Велика Британія), Aurubis (Німеччина), Umicore (Бельгія), KGHM (Польща) та Metallo-Chimique (Бельгія).

Довідкова література
[346, Eurometaux 2010], [397, ILA 2012]

5.3.4.4 Використання допалювачів для видалення чадного газу та органічного вуглецю, в тому числі ПХДД/Ф

Опис
Для допалювачів потрібна достатня кількість кисню, висока температура, турбулентність та достатній час перебування для розкладання та окислення всього вуглецю в димових газах та для руйнування діоксинів.

Технічний опис
Комбінація допалювача та системи охолодження може використовуватися для видалення органічного вуглецю (в тому числі ПХДД/Ф) та CO з відхідних газів печі. Рукавний фільтр використовується для зменшення викидів пилу.

Допалювач являє собою камеру, в якій димовий газ змішується з надлишковим киснем в умовах турбулентності та за високих температур (> 850 °C) і за достатнього часу перебування для розкладання та спалювання всього вуглецю в газовому потоці та для руйнування будь-яких діоксинів. Потім гази швидко охолоджуються (нижче 250 °C), щоб уникнути повторного утворення діоксинів, або, якщо це застосовне, охолоджуються для рекуперації тепла.

Наведений нижче приклад (див. Рисунок 5.5) є частиною системи відновлення свинцево-кислотних акумуляторів, яка використовує відхідні гази шахтної печі в допалювачі. Система боротьби з викидами передбачає допалювач для знищення органічного вуглецю (в тому числі ПХДД/Ф).

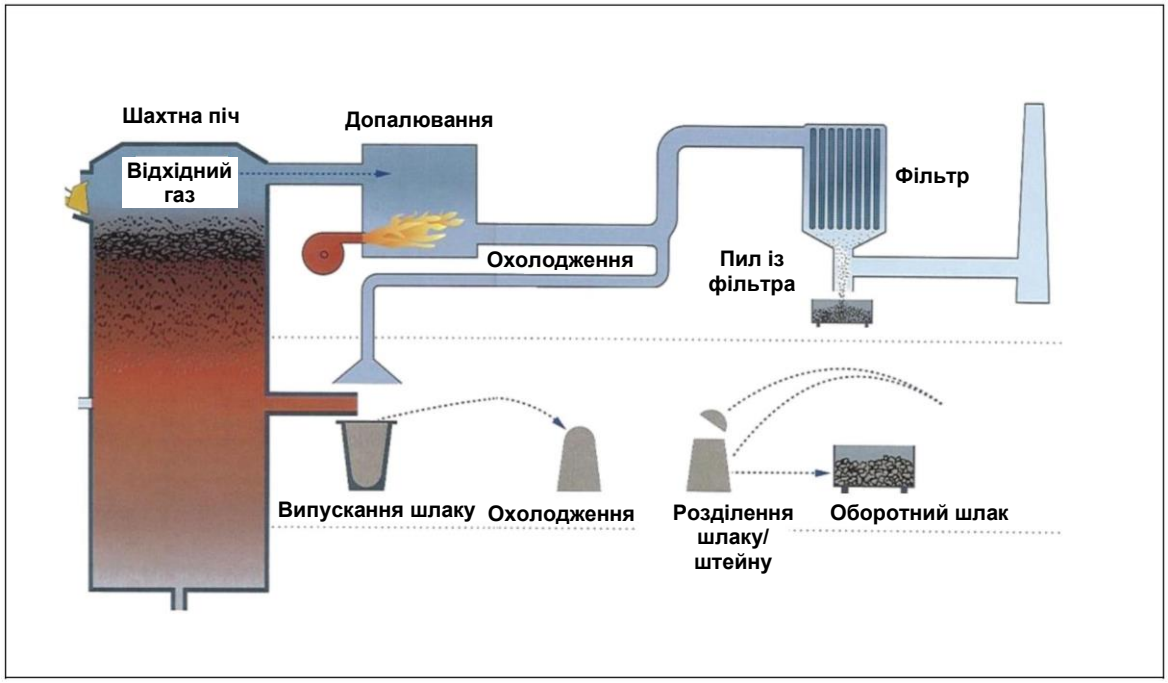


Рисунок 5.5: Система допалювача, що використовується на плавильному заводі з відновлення цілого акумулятора (процес VARTA)

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів CO та ЛОС (в тому числі ПХДД/Ф).
- Рекуперація енергії, де це можливо.
- Зменшення кількості додавання вапна в шлак, коли пил, що містить вапно, повертається в піч.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Якщо це застосовне, енергія може бути рекуперована для внутрішнього опалення ділянки та/або зовнішнього централізованого теплопостачання; 30-40 ГВт-год можна рекуперувати з одного заводу із шахтними печами.

Завод KGHM виробляє чорновий свинець з димового пилу, що містить мідь, в Глогуві 1. Використовуваний періодичний процес виплавки свинцю відбувається в чотирьох обертових печах, що гойдаються. На першому етапі матеріал нагрівають, а потім висушують. Вуглеводні випаровуються, а органічний вуглець згорає. Кожна піч має індивідуальну установку допалювання та охолодження відхідних газів. Гази від цих установок надходять у центральну установку знепилення, що складається зі змішувальної камери та рукавного фільтра. Після видалення пилу гази змішуються з газами з електростанції та направляються на установку з десульфуризації для подальшої обробки.

У доменній печі Umicore, Хобокен, допалювання технологічних газів призводить до вихідного потоку за димової труби у розмірі < 0,005 нг MTE /Нм^3 для ПХДД/ПХДФ та < 50 мг/Нм^3 для CO. Спочатку гази частково допалюються, охолоджуються та очищаються від пилу, а потім піддаються повному допалюванню з рекуперацією тепла.

Типові дані про ефективність шахтної печі з допалювачем наведено у Таблиці 5.40.

Таблиця 5.40: Дані про ефективність шахтної печі з допалювачем

Параметр	Одиниці вимірювання	Вміст
Потік технологічного газу (у димовій трубі)	$м^3$/год	50 000–90 000
CO	мг/$нм^3$	< 500
ПХДД/ПХДФ	нг МТЕ/$Нм^3$	< 0,1
Джерело: [397, ILA 2012]		

При рекуперації тепла рівні ПХДД/ПХДФ можуть бути високими через повторне утворення цих сполук, але зазвичай вони нижче 0,3 нг МТЕ /$Нм^3$.

Таблиця 5.41: Викиди від допалювачів у виробництві вторинного свинцю та олова

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Метод	Одиниці вимірювання	Значення			Періодичність моніторингу
					Мін.	Середнє значення	Макс.	
1	Допалювач	ЛОС		мг/$нм^3$	НЗ	НЗ	НЗ	
		CO		мг/$нм^3$	НЗ	НЗ	НЗ	
5	Камера допалювання	ЛОС (у вигляді C)	EN13526	мг/$нм^3$	31,2	32,4	33,5	- Двічі на рік (проби за 4 години)
		CO		мг/$нм^3$	НЗ	НЗ	НЗ	
11	Допалювач	ЗЛОС	Нз	мг/$нм^3$	5	8	33	Точкова проба (4 рази на рік)
		CO		мг/$нм^3$	7	47	315	Точкова проба (4 рази на рік)
		NO_2		мг/$нм^3$	40	77	260	Точкова проба (4 рази на рік)
15	Допалювач	ЗЛОС	EN12619 EN13526	мг/$нм^3$	3	15	27	Двічі на рік (1-годинна проба)
		CO		мг/$нм^3$	16	23	33	Точкова проба (4 рази на рік)
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]								

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення викидів NO_X.
- Необхідне паливо, якщо енергії, що утворюється в результаті окиснення димових газів, недостатньо для досягнення необхідної температури.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Загальнозастосовна. Допалювач використовується на заводах, які не відокремлюють пластмасу перед плавкою.

Економічні аспекти

Слід враховувати такі витрати:

- збільшення споживання енергії
- збільшення інвестиційних витрат.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Рекуперація тепла.

Приклади заводів
Metallo-Chimique (Бельгія), Boliden Bergsöe (Швеція), Johnson Controls Recycling (Німеччина), Kovohute Pribram (Чехія), Campine (Бельгія), KGHM Głogów (Польща) та Umicore (Бельгія).

Довідкова література
[254, VDI 2004], [397, ILA 2012]

5.3.4.5 Використання регенеративного термічного окисника (RTO) для видалення органічного вуглецю, в тому числі ПХДД/Ф

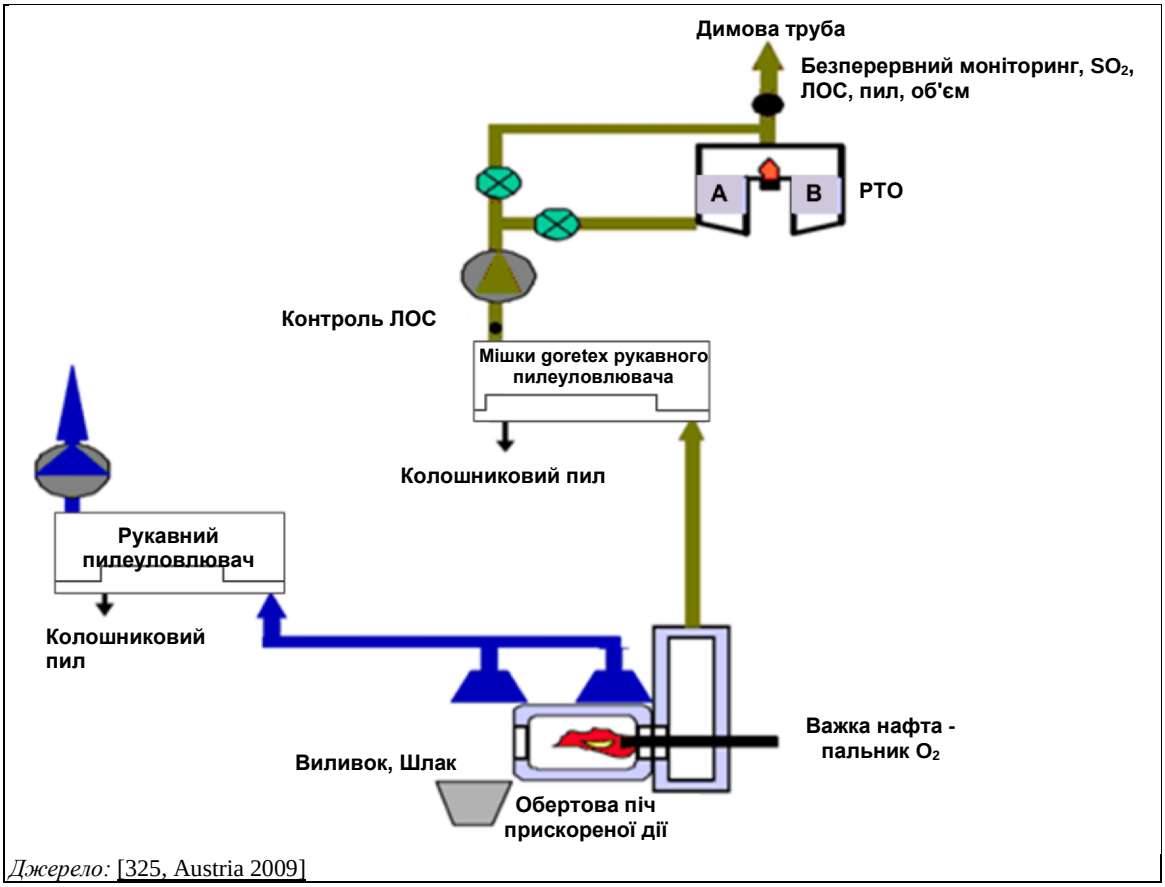
Опис
Регенеративні термічні окисники (RTO) використовують теплову енергію димових газів з допалювача для нагрівання димових газів, що надходять у камеру згорання.

Технічний опис
У цьому типі допалювача димовий газ нагрівається перед надходженням в камеру згорання шляхом проходження через керамічний шар, попередньо нагрітий потоком газу, що виходять з камери згорання.

У RTO потік газу проходить наступні етапи:
- спочатку потік димових газів надходить в окисник через загальний вхідний отвір і проходить у регенеративну камеру через дросельну заслінку;
- потім потік димових газів проходить через керамічну матрицю теплообмінника, що підвищує температуру газу до температури окиснення;
- потім потік надходить у камеру згорання, температура якої підтримується пальниками на рівні близько 850 °C;
- потім він виходить з камери згорання через другу керамічну матрицю теплообмінника, передаючи свою теплову енергію для повторного використання для підігрівання в наступному циклі;
- нарешті тепер очищений газовий потік випускається через випускний клапан.

Тепло, що виділяється, знижує споживання палива пальниками.

Для димових газів з високим вмістом пилу потрібна ефективна система знепилення перед тим, як газ потрапить у RTO, інакше пил може заблокувати керамічний шар. ЛОС, залишковий CO, ПХДД/Ф і пил можуть бути присутніми у відхідних газах печі. Ці відхідні гази очищуються від пилу тканинним фільтром і потім направляються в RTO (див. Рисунок 5.6). Після рукавного фільтра контролюється вміст ЛОС. Якщо концентрація ЛОС підвищується, відхідні гази можна направити в RTO. Це спеціальна опція для додаткового етапу обробки газу, яка використовується тільки для високих концентрацій ЛОС (в тому числі ПХДД/Ф), які можуть зустрічатися в деяких процесах. Здійснюється постійний моніторинг викидів у димовій трубі на наявність пилу, SO_2, ЛОС та об'єму.



Джерело: [325, Austria 2009]

Рисунок 5.6: Загальна схема заводу з РТО

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення викидів CO, ЛОС та ПХДД/Ф.
- Зменшення витрати палива через рекуперацію енергії з відхідних газів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Для запобігання викидам під час зміни напрямку потоку газу з одного керамічного шару на інший необхідна компенсаційна камера. Як альтернативу можна використовувати систему РТО із трьома керамічними шарами.

У Таблиці 5.42 наведено досягнуті значення концентрацій викидів деяких органічних забруднювальних речовин після РТО.

Таблиця 5.42: Викиди загального C та BaP у головній димовій трубі

Точка викиду	Рік	Загальний C (мг/нм^3)	Бензо(а)пірен (мг/нм^3)
Димова труба	2000	15,8	0,0016
	2003	11,4	НД
	2007	7,9	0,00685
Примітка: безперервні вимірювання.			

Викиди ЛОС становлять від 15 мг/Нм^3 до 40 мг/Нм^3, у середньому 20 мг/Нм^3 (середньодобове значення, безперервні вимірювання), а викиди ПХДД/Ф становлять 0,0231–0,0898 нг МТЕ/Нм^3 (точкова проба, середнє значення за шість годин [237, UBA (A) 2004], [372, BMG Metall und Recycling GmbH 2010]. Досягається автотермічний режим роботи, і потребується менше газу.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії, якщо тепла, що виділяється під час окислення компонента димових газів, недостатньо для досягнення необхідної температури.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Збільшення інвестиційних витрат.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Потребується менше енергії в порівнянні з використанням допалювача.

Приклади заводів
BMG Metall und Recycling (Австрія)

Довідкова література
[325, Austria 2009], [397, ILA 2012]

5.3.4.6 Технології запобігання та зменшення викидів ПХДД/Ф у повітря

Опис
Технології, які слід враховувати, наведено нижче. Ці технології можуть застосовуватися як окремо, так і у комбінації. Опис цих технологій див. у Розділі 2.12.5.3.

- Зменшення вмісту органічних сполук та/або галогенів (наприклад, Cl, Br) у вихідних матеріалах.
- Використання оптимальних умов горіння.
- Використання систем завантаження, що дозволяють робити невеликі добавки сировини у напівзакриті печі.
- Термічне руйнування діоксинів у печі за високих температур (> 850 °C).
- Вдування кисню у верхню зону печі.
- Відмова від витяжних систем із накопиченням великої кількості пилу за температури > 250 °C.
- Застосування камери допалювання, допалювача (див. Розділ 5.3.4.4) або РТО (див. Розділ 5.3.4.5).
- Швидке охолодження відхідних газів в діапазоні температур від 400 °C до 200 °C.
- Вдування адсорбенту (наприклад, активованого вугілля, буровугільного коксу, вапна) перед знепиленням.
- Використання ефективної системи уловлювання пилу.

Технічний опис
Технічний опис цих технологій див. у Розділі 2.12.5.3.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення вмісту органічних сполук та/або галогенів (наприклад, Cl, Br) у вихідних матеріалах
- Зменшення викидів газів з ПХДД/Ф.
- Збільшення продуктивності печі.

Використання оптимальних умов горіння, вдування кисню у верхню зону печі та застосування камери допалювання, допалювача або РТО.
Зменшення викидів газу з ПХДД/Ф, ЛОС та CO. Якщо відпрацьоване тепло з допалювача не використовується або не може бути використане, РТО потребує менше енергії, ніж допалювач.

Використання систем завантаження, що дозволяють робити невеликі добавки сировини у напівзакриті печі
- Запобігання повторному утворенню ПХДД/Ф.
- Оптимізація процесу.

Термічне руйнування діоксинів у печі за високих температур (> 850 °C), швидке охолодження відхідних газів за температури від 400 °C до 200 °C і відмова від витяжних систем з накопиченням пилу за температури > 250 °C.
Запобігання утворенню ПХДД/Ф.

Вдування адсорбенту (наприклад, активованого вугілля, буровугільного коксу, вапна) перед знепиленням
Зменшення викидів ПХДД/Ф, ЛОС та важких металів.

Використання ефективної системи уловлювання пилу
Зменшення викидів ПХДД/Ф, пилу та важких металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Можна застосовувати обробку брухту для видалення органічних та галогенних забруднень, але зазвичай для обробки газів, що утворюються, використовуються допалювачі з подальшим швидким охолодженням. Коли немає можливості обробити газів із печей у допалювачі, їх можна піддати окисненню шляхом додавання кисню над зоною плавлення.

На заводі Metallo-Chimique у Берсе, металоплавильна міні-піч оснащена окремим адсорбційним фільтром з вдуванням сорбаліту у кінці виробничого циклу. У колошнику печі встановлений допалювач (див. Рисунок 5.7).

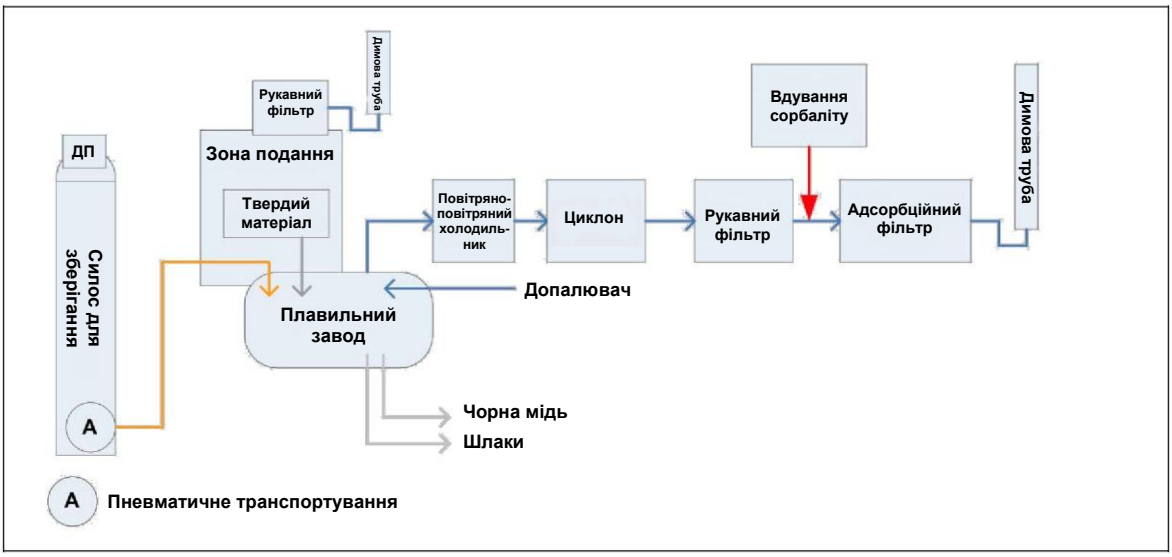


Рисунок 5.7: Схема, що показує методи усунення викидів ПХДД/Ф на заводі Metallo-Chimique у Берсе

Адсорбційний фільтр у кінці виробничого циклу має потужність 100 000 Нм^3/год. Концентрація ПХДД/Ф вимірюється два рази на рік по шість годин. Концентрації підтримуються на рівні < 0,1 нг МТЕ/Нм^3. Безперервний моніторинг кінцевого викиду пилу здійснюється за допомогою трибоелектричної системи.

На заводі Aurubis у Гамбурзі термічне руйнування діоксинів здійснюється в електричних печах за високої температури (вище 950 °C) з подальшим швидким охолодженням газу, щоб запобігти подальшому повторному утворенню діоксинів. Подальша обробка на кислотній установці також дозволяє уникнути утворення діоксинів.

На заводі Umicore у Хобокені використовується плавильна піч ISASMELT потужністю 1000 т/д (періодичний процес). Димові гази спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти. Повідомляється концентрація ПХДД/Ф після установки з виробництва сірчаної кислоти < 0,001 нг МТЕ/Нм^3 (точкова проба, середнє значення за шість годин). У доменній печі гази допалюються у два етапи та двічі фільтруються. Концентрації ПХДД/Ф нижче 0,005 нг МТЕ/Нм^3.

У Таблиці 5.43 наведені дані щодо викидів діоксинів, що відстежуються на деяких підприємствах ЄС-28, надані ILA.

Таблиця 5.43: Викиди ПХДД/Ф від печей з виробництва свинцю та олова

Завод	Технологія	Викиди ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)			Печі	Періодичність моніторингу
		Мін.	У середньому	Макс.		
1	Допалювач, діоксини, повторно утворені в економайзері, та вдування вапна	0,1	0,2	0,3	Шахтна	Раз на рік
5	Камера допалювання, високотемпературний рукавний фільтр, рідке середовище, десульфуризація димового газу	0,1	0,1	0,1	Комбінація відбивної та обертової печі	Раз на рік
6	Рукавний фільтр	0,1	0,1	0,1	Обертова піч прискореної дії	Раз на три роки
7	НЗ	< 0,01	0,025	0,08	Обертова A	5 разів на рік
	НЗ	0,01	0,1	0,21	Обертова B	4 рази на рік
9	Камера допалювача, швидке охолодження відхідних газів, діоксини, частково відтворені в економайзері, та вдування вапна	0,01	0,04	0,2	Шахтна	Раз на три роки
11	Допалювач	0,0181	0,038	0,0584	Шахтна	Точкова проба (3 рази на рік)
12	Рукавний фільтр	0,05	0,05	0,05	Плавильний завод	Раз на рік
13	Вдування Сорбаліту + рукавний фільтр	< 0,005	< 0,005	< 0,005	Плавильний завод	Двічі на рік
14	Рукавний фільтр	0,0187	0,0413	0,0639	Обертова піч	Двічі на рік
15	Допалювання + рукавний фільтр	НЗ	< 0,005	НЗ	Доменна	Раз на рік
	Установка з виробництва сірчаної кислоти	НЗ	< 0,001	НЗ	ISASMELT	Двічі на рік

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Для вдування абсорбенту кількість та склад добавки значною мірою залежать від умов технологічного процесу, походження та складу вихідних матеріалів. Щоб знизити витрати на адсорбенти весь або частина пилу з фільтра може бути повернута у процес.

Вплив на різні компоненти довкілля

Зменшення вмісту органічних сполук та/або галогенів (наприклад, Cl, Br) у вихідних матеріалах

- Збільшення енергоспоживання.
- Вартість необхідного додаткового обладнання та/або використання добавок.

Використання оптимальних умов горіння
Інформацію не надано.

Вдування кисню у верхню зону печі
Збільшення вартості через вартість кисню.

Застосування камери допалювання, допалювача або регенеративного термічного окисника
- Збільшення енергоспоживання.
- Вартість додаткового обладнання.
- Може також збільшити викиди NO_X.

Використання систем завантаження, що дозволяють робити невеликі добавки сировини у напівзакриті печі
Інформацію не надано.

Термічне руйнування діоксинів у печі за високих температур (> 850 °C), швидке охолодження відхідних газів за температури від 400 °C до 200 °C і відмова від витяжних систем з накопиченням пилу за температури > 250 °C
Інформацію не надано.

Вдування адсорбенту (наприклад, активованого вугілля, буровугільного коксу, вапна) перед знепиленням
Збільшення вартості через потребу у добавках та витрати на обробку відходів.

Ефективна система уловлювання пилу.
Уловлений пил може мати високі концентрації ПХДД/Ф, і може знадобитися його утилізація або ретельна обробка шляхом повернення у виробничий процес.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології застосовні до циклів виробництва свинцю та олова на нових та наявних заводах з виробництва міді, залежно від типу використовуваної сировини та печі.

Зменшення вмісту органічних сполук та/або галогенів (наприклад, Cl, Br) у вихідних матеріалах
Технології, що використовуються для контролю, вибору та сортування сировини та брухту, залежать від типу печі та використовуваного процесу.

Використання оптимальних умов горіння
Загальнозастосовна.

Вдування кисню у верхню зону печі
Загальнозастосовна.

Застосування камери допалювання, допалювача або регенеративного термічного окисника
Загальнозастосовна.

Використання систем завантаження, що дозволяють робити невеликі добавки сировини у напівзакриті печі
Загальнозастосовна, залежно від типу печі та процесу, що використовуються.

Термічне руйнування діоксинів у печі за високих температур (> 850 °C)
Загальнозастосовна.

Швидке охолодження відхідних газів в діапазоні температур від 400°C до 200°C
Загальнозастосовна. У випадку термічної рекуперації діоксини можуть утворюватися шляхом синтезу de novo.

Відмова від витяжних систем із накопиченням великої кількості пилу за температури > 250 °C
Загальнозастосовна.

Вдування адсорбенту (наприклад, активованого вугілля, буровугільного коксу, вапна) перед знепиленням
Загальнозастосовна.

Ефективна система уловлювання пилу.
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Щоб знизити витрати на адсорбенти димовий пил може бути повернутий у процес.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Metallo-Chimique Beerse (Бельгія), Aurubis (Німеччина), Umicore (Бельгія) та BMG Metall und Recycling GmbH (Австрія).

Довідкова література
[397, ILA 2012]

5.3.5 Переплавлення та рафінування, легування та лиття у виробництві свинцю та олова

5.3.5.1 Технології запобігання та зменшення викидів під час переплавлення, рафінування та лиття під час виробництва первинного та вторинного свинцю та олова

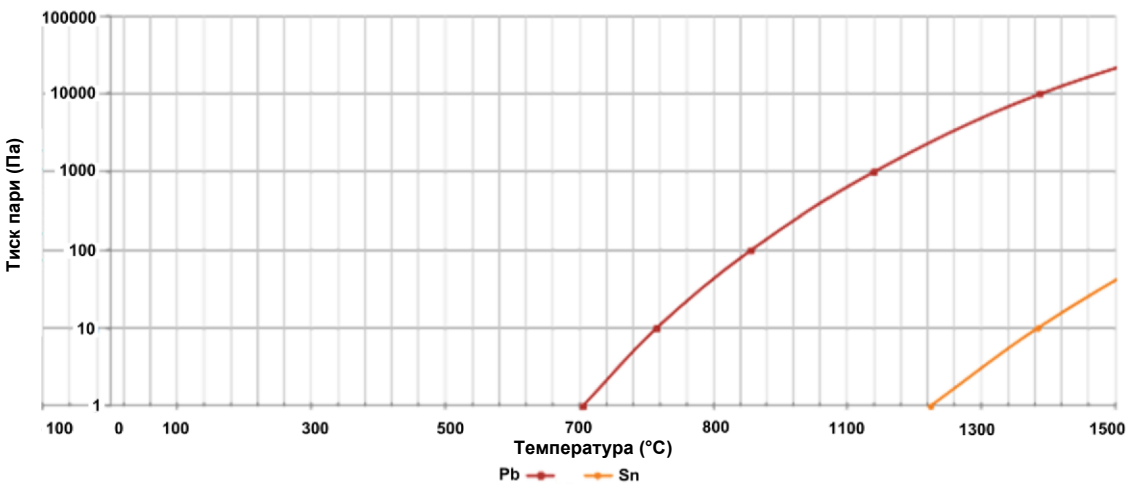
Опис
Технології, які слід розглянути:

- контроль температури розплаву;
- закриті механічні скімери для видалення запилених дросу/залишків;
- кришки або ковпаки на печах або котлах з системою видалення диму (див. Розділ 2.12.4.3);
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2);
- технологія вакуумної плавки та рафінування.

Технічний опис
Технології, які застосовуються для зменшення викидів, залежать від різних етапів рафінування та форми продукту реакції у рафінуванні свинцю.

Контроль температури розплаву
Належний контроль температури ванни розплаву важливий для зменшення викидів свинцю та інших газових забруднювачів, і навіть для управління технологічним процесом. Це також важливо для енергоефективності печі.

Викидів олова можна уникнути, якщо температура розплаву під час операцій рафінування та лиття нижче 500 °C. Дійсно, як показано на Рисунку 5.8, тиск парів олова дуже низький (незначний в порівнянні зі свинцем) аж до температур на кілька сотень градусів Цельсія вище точки плавлення олова. Цей рисунок був створений заводом Metallo-Chimique на основі даних, зазначених у [364, Metallo-Chimique 2014].



Джерело: [364, Metallo-Chimique 2014]

Рисунок 5.8: Порівняння тисків парів свинцю та олова

Закриті механічні скімери для видалення запилених дросу/залишків
Запилений дрос/залишки видаляються закритим механічним скімером, а потім вивантажуються у закриті контейнери.

Кришки або ковпаки на печах або котлах з системою видалення диму (див. Розділ 2.12.4.3)
Тигельна піч або котел застосовується для плавлення свинцю та олов'яного матеріалу. Для уловлювання викидів на тигельну піч або котел встановлюється витяжний ковпак. Рафінувальні котли можна накривати кришками, які залишаються закритими під час реакції рафінування та додавання хімічних речовин. Розплавлений свинець автоматично перекачується у закриту систему і передається з одного етапу рафінування на інший. Система видалення диму слід використовувати у жолобах та точках випускання. Уловлені викиди потім направляються у рукавний фільтр або мокрий скрубер, якщо йдеться про вихлопні гази з процесів мокрого рафінування або гази, що містять липкі речовини, наприклад, гідроксид натрію.

Технологія вакуумної плавки та рафінування
Свинцево-олов'яний сплав можна розділити на свинець і олово шляхом вакуумного дистилювання за високих температур.

З іншими технологіями можна ознайомитись у розділах, зазначених вище.

Досягнуті екологічні переваги
Контроль температури розплаву
Запобігання викидам важких металів та зниження споживання енергії.

Закриті механічні скімери для видалення запилених дросу/залишків
Запобігання дифузним викидам.

Кришки або ковпаки на печах або котлах з системою видалення диму
Зменшення дифузних викидів.

Рукавний фільтр
- Зменшення викидів пилу та важких металів.
- Зменшення витрати сировини.
- Уловлений пил переробляється в процесі виплавки.

Мокрий скрубер
Див. Розділи 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2.

Технологія вакуумної плавки та рафінування
Зменшення викидів пилу та важких металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Переплавлення, рафінування та легування зазвичай здійснюють у тигельних печах або котлах, що нагріваються непрямим шляхом за допомогою електроенергії, нафти або газу. Застосовується також пряме нагрівання котла газовим пальником. Рафінувальні котли не вважаються придатними для плавлення брухту (свинцевого та олов'яного), який містить велику кількість органічних матеріалів. Все обладнання встановлено в будівлі із застосуванням додаткових заходів щодо запобігання потрапляння викидів назовні.

На заводі Metallo-Chimique вакуумне дистилювання використовується для розділення свинцево-олов'яного сплаву. Котли використовуються для (пере)плавлення та рафінування.У Таблиці 5.44 показано викиди пилу від цього процесу.

Таблиця 5.44: Викиди від процесу рафінування на заводі Metallo-Chimique у Берсе

Тип печі	Очищення газу	Викиди
Котли	Рукавний фільтр	Пил < 5 мг/Нм^3
Вакуумна піч	Немає	Не застосовується
Джерело: [397, ILA 2012]		

На заводі Aurubis у Гамбурзі та на заводі KGHM у Легниці рафінувальні котли закриті кришками. Кришки закриті під час реакції рафінування та додавання хімічних речовин. У піч подаються лише великі блоки/брухт. Застосовується система видалення диму. Розплавлений свинець автоматично перекачується у закриту систему і передається з одного етапу рафінування на інший. Запилений дрос/залишки видаляються закритим механічним скімером і вивантажуються у закриті контейнери. Для уловлювання диму, що утворюються під час лиття свинцю, встановлюються витяжні ковпаки. Усі уловлені гази з етапів рафінування обробляються у централізованому рукавному фільтрі. У очищених відхідних газах рівні пилу становлять від 0,5 мг/Нм^3 до 10 мг/Нм^3 (в середньому за пів години) і від 0,5 мг/Нм^3 до 4,9 мг/Нм^3 (в середньому за день) на основі безперервних вимірювань.

На заводі з рафінування свинцю Umicore у Хобокені нечистий свинець рафінується у серії котлів, що нагріваються газовими пальниками з низьким рівнем виходу NO_X. Залишкове тепло пальників використовується для утворення пари 10 барів у котлі. Всі котли мають закриті кришки та працюють під негативним тиском. Видалення дросу здійснюється автоматично в умовах аспірації за допомогою закритої системи знімання шлаку. Повітря всіх сухих процесів очищається у рукавному фільтрі. Солі Sb, Sn і As видаляються зі свинцю в процесі Гарріса і далі обробляються у гідрометалургійному процесі. Вихлопні гази та пари цих процесів разом із вихлопними газами з котлів, де використовується гідроксид натрію, очищаються мокрим скрубером.

У Таблиці 5.45 наведено дані про викиди від процесів рафінування та лиття.

Таблиця 5.45: Дані про викиди від рафінування та лиття

Завод	Технологія	Забруднювальна речовина	Викиди (мг/Нм^3)			Частота
			Мін.	У середньому	Макс.	
2,1	Рукавний фільтр	Пил	0,28	0,44	1,02	Безперервний (середньодобове значення)
		Пил	НЗ	1,56	НЗ	Раз на рік
		Pb	НЗ	0,04	НЗ	
2,2	Рукавний фільтр	Пил	0,27	0,64	2,75	Безперервний (середньодобове значення)
		Пил	НЗ	0,61	НЗ	Раз на рік
		Pb	НЗ	0,08	НЗ	
2,3	Рукавний фільтр	Пил	0,33	0,46	2,37	Безперервний (середньодобове значення)
		Пил	НЗ	0,32	НЗ	Раз на рік
		Pb	НЗ	0,14	НЗ	
2,4	Рукавний фільтр	Пил	0,14	0,23	3,81	Безперервний (середньодобове значення)
		Пил	НЗ	0,79	НЗ	Раз на рік
		Pb	НЗ	0,06	НЗ	
2,5	Рукавний фільтр	Пил	0,16	0,26	0,94	Безперервний (середньодобове значення)
		Пил	НЗ	1,1	НЗ	Раз на рік
		Pb	НЗ	0,04	НЗ	
2,6	Рукавний фільтр	Пил	0,13	0,4	2	Безперервний (середньодобове значення)
		Пил	НЗ	1,3	НЗ	Раз на рік
		Pb	НЗ	0,03	НЗ	
2,7	Рукавний фільтр	Пил	0,98	1,78	3	Безперервний (середньодобове значення)
		Пил	НЗ	0,35	НЗ	Раз на рік
		Pb	НЗ	0,25	НЗ	
5.1	Рукавний фільтр (85 000 Нм^3/год)	Пил	0,015	0,097	0,26	4 рази на рік (проби за 4 години)
		Pd	0,003	0,014	0,033	
		Cd	0	0	0	
		Cu+Pb+Zn+Ni та сполуки	0,005	0,017	0,036	
		Sb+Sn+Te та сполуки	0,004	0,005	0,006	
		Cd+As+Hg+Tl+Se та сполуки	0,006	0,008	0,01	
		ЗЛОС	12,3	15	17,6	Двічі на рік (проби за 4 години)
		ПХДД/Ф (нг МТЕ/Нм^3)	0,05	0,05	0,05	Раз на рік
5,2	Мокрий скрубер Вентурі, рукавний фільтр (42 000 Нм^3/год)	Пил	0,3	1	10	4 рази на рік (в середньому за 4 години)
		Pb та сполуки	0,009	0,39	1,3	
		Cd та сполуки	0,001	0,001	0,003	
		Cu+Pb+Zn+Ni та сполуки	0,09	0,41	1,3	
		Sb+Sn+Te та сполуки	0,003	0,032	0,094	
		Cd+As+Hg+Tl+Se та сполуки	0,007	0,027	0,054	
		ЛОС (у вигляді вуглецю)	9,5	29,3	49	Двічі на рік (проби за 4 години)
		HCl	0,17	0,17	0,17	Раз на рік (проби за 4 години)
		SO_2	1	5	10	
		ПХДД/Ф (нг МТЕ/Нм^3)	0,06	0,06	0,06	Раз на рік

6,1	Рукавний фільтр (система всмоктування у котлі)	Пил	< 1	< 1	< 1	Безперервний (середнє значення за пів години)
		Pb	< 1	< 1	< 1	Раз на рік
		Hg+Tl	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
		Pb+Ni+Se	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Раз на три роки
		Sb+Cu+Sn	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
		As+Cd	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
7,1	Рукавний фільтр	Пил	< 0,5	1	4,6	5 разів на рік
		Pb	< 0,05	0,11	0,4	
		As+Cd	< 0,005	0,07	0,26	
7,2	Рукавний фільтр	Пил	< 0,5	0,16	0,3	3 рази на рік
		Pb	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Раз на рік
		As+Cd	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
10,1	Рукавний фільтр	PM_{10}	0,02	0,82	2	4 рази на рік
		Cu у пилу	0,0003	0,006	0,04	
		Pb у пилу	0,0008	0,11	0,8	
		As у пилу	0,0001	0,004	0,028	
		NO_2	0,02	2	36	
		SO_2	0,15	1,6	21	
		CO	2,5	15	37	
10,2	Рукавний фільтр	PM_{10}	0,02	0,82	2	4 рази на рік
		Cu у пилу	0,0003	0,006	0,04	
		Pb у пилу	0,0009	0,11	0,8	
		As у пилу	0,0001	0,0042	0,028	
		NO_2	0,02	2	36	
		SO_2	1,5	180	770	
		CO	2,5	15	37	
13	Рукавний фільтр	PM_{10}	НЗ	< 0,5	НЗ	Двічі на рік (проби за 4 години)
		Cu		< 0,0005		
		Pb		0,0011		
		Zn		0,0018		
		Cd		< 0,0005		
		As		< 0,0005		
		Sb		< 0,0005		
		Ni		< 0,0005		
14	Рукавний фільтр	Пил	0,17	1,4	4,6	Раз на кожні 15 днів
		Pb	0,001	0,04	0,4	
		Zn+Sb+Cu+Cr+Mn+As +Cd+Ni	0,003	0,04	0,13	
15,1	Рукавний фільтр (90 000 $Нм^3$/год)	Пил	0,02	0,2	0,86	Пил 6 разів на рік Метал два рази на рік (проби по 3–5 годин)
		Pb	0,02	0,06	0,09	
		Cu	0,005	0,006	0,007	
		As	0,0007	0,004	0,007	
		Sb	0,02	0,25	0,49	
		Zn	0,007	0,008	0,008	
15,2	Скрубер (70 000 $Нм^3$/год)	Пил	0,42	2,17	6,01	13 разів на рік (проби по 2–5 годин)
		Pb	0,01	0,17	1,19	
		Cu	0,0004	0,01	0,05	
		As	0,001	0,02	0,09	
		Sb	0,14	0,92	2,18	
		Zn	0,0006	0,03	0,2	
16	Витяжні ковпаки, рукавний фільтр, витяжні вентилятори	Пил	0,03	0,31	0,84	24 рази на рік
		Pb	0,02	0,13	0,4	12 разів на рік
		Cd	< 0,001	< 0,001	0,002	
		Sb	< 0,001	< 0,001	0,011	

18	Рукавний фільтр (100 000 Нм^3/год)	Пил	0,5	НЗ	4,9	Безперервний (Середньодобове значення)
		Cu	< 0,01		0,1	4 рази на рік (3 проби по 30 хвилин)
		Pb	0,01		0,31	
		Ni			< 0,02	
		As	< 0,01		0,3	
		Cd	< 0,01		0,02	
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012] [385, Germany 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля
Контроль температури розплаву
Інформацію не надано.

Закриті механічні скімери для видалення запилених дросу/залишків

Інформацію не надано.

Кришки або ковпаки на печах або котлах з системою видалення диму
Інформацію не надано.

Рукавний фільтр
- Збільшення енергоспоживання.
- Обробка пилу для вилучення металів повинна здійснюватись на об'єкті або за його межами.

Мокрий скрубер
Див. Розділи 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2.

Технологія вакуумної плавки та рафінування
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Перелічені вище технології є загальнозастосовними.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
KGHM (Польща), Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik (Німеччина), BSB Recycling (Німеччина), HJ Enthoven & Sons (Велика Британія), Metallo-Chimique (Бельгія), Weser-Metall (Німеччина), Aurubis (Німеччина) та Umicore (Німеччина).

Довідкова література
[397, ILA 2012]

5.3.6 Стічні води

5.3.6.1 Технології для запобігання утворенню стічних вод

Опис
Для всіх стічних вод, що утворюються на заводі з виробництва свинцю та олова, потрібна обробка перед скиданням [397, ILA 2012].

Кількість стічних вод, що підлягають обробці, можна зменшити за допомогою таких технологій.

- Багаторазове використання одних і тих самих потоків стічних вод:
  - у якості каскадної охолоджувальної води;
  - шляхом повторного використання охолоджувальної води або сконденсованої пари для технологічних цілей;
  - шляхом повторного використання технологічної води для іншого застосування, якщо це можливо.
- Відмова від технологій мокрого очищення технологічного газу.
- Використання замкнутої системи охолодження з повітряними холодильниками у якості вторинних теплообмінників.
- Мінімізація дренажної води випарних холодильників.
- Рециркуляція потоків води після обробки для повторного використання.
- Відокремлення потоків незабрудненої води (наприклад, дощової води, безконтактної охолоджувальної води) від потоків технологічної води. Примітка: контактна охолоджувальна вважається технологічною водою.

Технічний опис
Багаторазове використання одних і тих самих потоків стічних вод шляхом повторного використання конденсованої пари для технологічних цілей
В процесі лужного вилуговування, коли відбувається кристалізація сульфату натрію, вода, отримана в результаті кристалізації, використовується для приготування розчину лужної солі.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення використання прісної води.
- Зменшення споживання енергії, яка використовується для перекачування води.
- Зменшення кількості реагентів, які використовуються на установках з очищення відпрацьованих вод.
- Зменшення кількості стічних вод, що скидаються, і забруднювальних речовин, що містяться в стічних водах.
- Зниження передачі тепла в приймальне водоймище.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На заводі Umicore у Хобокені вода, що впорскується для охолодження газів плавильного заводу, конденсується разом з водою із сировини та повторно використовується для швидкого охолодження цього газового потоку. У доменній печі процес сухої обробки газу дозволяє виключити використання води. На заводі з рафінування свинцю усі сухі гази проходять очищення у рукавному фільтрі; у мокрому скрубері очищаються тільки гази з вищим вмістом води або з липким матеріалом. Дощова вода, надлишкова вода для зрошування, вода для охолодження та дренажна вода збираються в каналізаційній системі та обробляються для повторного використання у якості води для зрошування та охолодження, таким чином забезпечуючи 60 % загальної кількості води, необхідної для заводу. Кількість дренажної води випарних градирень мінімізується.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення інвестиційних витрат.
- Підвищена складність процесу.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Багаторазове використання одних і тих самих потоків стічних вод і рециркуляція потоків води після обробки для повторного використання
Ці технології можуть застосовуватися тільки в тому випадку, якщо дотримуються необхідні критерії для наступного застосування щодо швидкості потоку, температури, складу та кислотності.

Відмова від технологій мокрого очищення технологічного газу
Ця технологія не застосовується, коли гази, що підлягають очищенню, містять багато води, кислотного туману або липких речовин.

Замкнута система охолодження з повітряними холодильниками у якості вторинних теплообмінників
Ця технологія вимагає відповідної площі, оскільки для встановлення повітряних холодильників потрібно більше місця, а також через менш ефективну теплопередачу повітряних холодильників в порівнянні з випарними холодильниками.

Економічні аспекти
На наявних заводах впровадження цих технологій може передбачати великі інвестиційні витрати.

Багаторазове використання одних і тих самих потоків стічних вод
Ця технологія вимагає додаткових інвестицій у місткість проміжного сховища, щоб збалансувати вхідний та вихідний потоки залежних процесів.

Відокремлення потоків незабрудненої води від потоків технологічної води
Інвестиції в окремі каналізаційні системи мають бути оцінені з економічної точки зору з урахуванням обсягу незабрудненої дощової води, яку потенційно можна відновити.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Запобігання утворенню стічних вод знижує витрати на обробку на установці з очищення відпрацьованих вод.

Приклади заводів
Усі заводи в Європі.

Довідкова література
[254, VDI 2004], [397, ILA 2012]

5.3.6.2 Процес неорганічного очищення стічних вод

Опис
Більшість заводів ЄС-28 застосовують процес неорганічного очищення до своїх стічних вод. Цей процес передбачає такі етапи:
- відстоювання;
- можливе окиснення;
- осадження гідроксиду;
- осадження сульфідів;
- можливе додавання розчину сульфату заліза(III) за наявності надлишку сульфіду;
- додавання $FeCl_3$ для видалення миш'яку;
- фільтрування;
- регулювання pH.

Технічний опис
Установки з очищення відпрацьованих вод мають кілька етапів, які застосовуються для всіх типів стічних вод. Загалом, роздільне очищення або попереднє очищення окремих потоків стічних вод не має переваг, оскільки якість стічних вод, що отримуються в результаті, не покращується [397, ILA 2012].

На заводах з виробництва свинцю та олова ЄС-28 на типовій установці з очищення відпрацьованих вод відбувається осадження гідроксидів, а в деяких випадках – осадження сульфідів. Доочищення від миш'яку можна здійснити за допомогою $FeCl_3$. За необхідності (наприклад, для прямого скидання до річок) будь-які надлишки сульфідів можуть бути видалені шляхом додавання розчину сульфату заліза (III).

Відстоювання та можливе окиснення
Всі виробничі стічні води можуть бути передані у став для збору води достатньої місткості для зберігання стічних вод. Вхідна зона цього ставу має нижній злив води, щоб можна було видалити фракції, що випливають (деревина, пластмаса, мастило тощо). Додавання сірчаної кислоти або гідроксиду натрію забезпечує підтримання pH в діапазоні, прийнятному для дозування в наступному реакційному резервуарі. У разі вищого вмісту сульфітів у воді може знадобитися окиснення (повітрям або хімічними речовинами).

Таку саму схему можна використовувати для дощової води. У цьому випадку частина води може бути перекачана назад для повторного використання.

Осадження гідроксиду
Рідина перекачується в резервуар із мішалкою. pH регулюється до 9,5–10,0 шляхом додавання гідроксиду натрію та флокулянтів. Пластівчасті згустки гідроксиду видаляються шляхом фільтрування або відстоювання та фільтрування. На цьому етапі або на другому етапі осадження гідроксиду може бути доданий $FeCl_3$ для видалення миш'яку зі стічних вод.

Осадження сульфідів
Вода може надходити до другого реакційного резервуара, в якому дозування р сірчаною кислотою забезпечує pH 7,5–8,5. Додавання розчину сульфіду натрію/гідросульфіду натрію викликає реакцію з розчиненими іонами металів, що залишилися, з утворенням осаду важкого розчинного сульфіду, який можна видалити шляхом фільтрування або відстоювання і фільтрування.

Додавання розчину сульфату заліза (III)
Якщо у воді є надлишок сульфідів, можна додати розчин сульфату заліза (III) для видалення надлишку сульфідів. Потім воду фільтрують (наприклад, фільтрпрес плюс піщаний фільтр або мембранний фільтр) для видалення осаду.

Бажано повторно використовувати незабруднену охолоджувальну воду; за необхідності попередньо охолодити її за допомогою повітряного холодильника. Якщо це неможливо, її можна скидати окремо, якщо приймальне водоймище може взяти на себе теплове навантаження.

Залежно від місцевих умов можуть бути потрібні етапи попередньої обробки для видалення твердих часток з великою кількістю металів, щоб зменшити забруднення осаду комунальних стічних вод, особливо якщо вона використовується в сільському господарстві.

Коли свинцевий завод розташований на території мідеплавильного заводу, відносно невеликі потоки стічних вод від свинцевого заводу скидаються у відповідні системи стічних вод; дощова вода та злив із системи охолодження скидаються в каналізацію відпрацьованих вод і, нарешті, надходять на установку з очищення стічних вод. Технологія заснована на утримуванні дощової води та кінцевій коагуляції за допомогою поліелектроліту.

Води системи комунально-побутового водопостачання мають окрему каналізаційну систему та скидаються у каналізаційну систему загального користування або відповідний септик.

Досягнуті екологічні переваги
Зниження вмісту забруднювальних речовин у стічних водах.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Здійснюється безперервний моніторинг стічних вод за допомогою вимірювання об'єму та проб pH. Проби води відбираються на постійній основі (щодня, кожну зміну тощо) або методом випадкового відбору проб відповідно до умов, передбачених у дозволі. Проби аналізуються на наявність Pb, Cd, As, Cu, Fe та іноді інших металів та на інші параметри, також відповідно до умов, передбачених у дозволі. Залежно від місцевих умов та технології виробництва обсяг стічних вод може становити до 6 $м^3$ на тонну свинцю [397, ILA 2012].

Таблиця 5.46: Викиди у воду від заводів з виробництва свинцю та олова

Завод (приймальне водоймище)	Стічні води та Технологія	Забруднювальна речовина	Значення (мг/л)			Періодичність моніторингу
			Мін.	У середньому	Макс.	
1 (Море)	Технологічні стічні води та зібрана дощова/дренажна вода з території заводу Осадження гідроксидів металів за допомогою гідроксиду натрію (каустик)	Pb	< 0,01	0,04	0,06	Постійний комплексний відбір проб та вимірювання (у середньому за тиждень)
		Zn	< 0,005	0,01	0,02	
		Cd	< 0,001	0,004	0,005	
		As	< 0,02	0,01	0,02	
		Cu	< 0,005	0,007	0,03	
2,4 (Річка)	Дощова вода та дренажна вода з поверхні об'єкта Флокуляція, регулювання pH, фільтрування та кінцеве регулювання pH перед скиданням	Pb	< 0,001	0,096	0,267	128 разів на рік (тобто, під час кожного скидання) Одна випадкова проба та вимірювання
		As	0,004	0,032	0,071	
		Cd	0,001	0,007	0,023	
		Cu	< 0,001	0,016	0,034	
		Ni	0,007	0,05	0,201	
		Zn	0,005	0,143	1,072	
		Sb	0,04	0,196	0,465	
		Зважені тверді частки	3	10	25	
		pH	7,4	8,2	9	
		Ag	< 0,001	< 0,001	0,001	
4 (Річка)	Технологічні стічні води та дощова вода Комбінації фізичної та хімічної обробки	Pb	0,1	0,22	0,4	Точкові вимірювання та періодичні вимірювання (у середньому за місяць)
		Ni	0,01	0,02	0,03	
		Cu	< 0,005	0,008	0,03	Комплексний відбір проб (у середньому за тиждень)
5 (Річка)	Технологічні води та поверхневі стоки від виробничих зон заводу для вилучення свинцю з вторинних джерел Регулювання pH, додавання хлориду заліза, флокуляція та седиментація Аніонна/катіонна флокуляція, механічне фільтрування	Pb (кг/день)	0,06	0,57	1,45	156 разів на рік Періодичний комплексний відбір проб та вимірювання
		Cd (кг/день)	0,003	0,115	0,552	
		Sb (кг/день)	0,002	0,212	1,096	
		As (кг/день)	0,001	0,018	0,092	
		Cu (кг/день)	0,001	0,017	0,046	
		Hg (кг/день)	0,001	0,002	0,009	
		Ni (кг/день)	0,001	0,13	0,428	
		NH_4 (у вигляді амонію) (кг/день)	0,21	2,47	6,17	
6 (Річка)	Технологічна вода (установка з подрібнення), охолоджувальна вода (відновлення, рафінувальний завод), поверхневі стоки (розпилювальна система, дощ, машина для підмітання тощо) Седиментація осаду, осадження сульфідів, нейтралізація та агломерація, седиментація, йонообмінник, контроль pH	Pb	НЗ	< 0,05	0,13	50 разів на рік Одна випадкова проба
		Cu		0,023	0,06	
		Ni		0,096	0,13	
		Zn		< 0,05	0,62	
		As		0,011	0,05	
		Hg		0,01	0,01	
		Sb		0,084	0,52	
		Cd		0,03	0,22	
		Fe		0,3	1,2	
		H		8	8	Двічі на рік Одна випадкова проба
		P		0,05	0,05	
		Адсорбовані		0,05	0,06	12 разів на рік

		органічні галогени				
		CSB		14	39	50 разів на рік
		Вуглеводні		1	1	Двічі на рік
		Токсичність для риб		2	2	Двічі на рік
7 (Річка)	Половина очищених стічних вод надходить з процесів виробництва вторинного свинцю (подрібнювач, обертова піч та рафінувальний завод, а також поверхневі стоки). Друга половина надходить з інших видів діяльності. Осадження сульфіту натрію, седиментація + фільтрування у піщаному фільтрі	Pb	< 0,05	0,07	0,26	365 разів на рік Одна випадкова проба
		Cd	< 0,005	< 0,005	0,005	
		Cu	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
		As	< 0,01	0,02	0,05	
		Ni	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
		Адсорбовані органічні галогени	< 0,05	0,1	0,237	
		ХСК	< 15	24	36	
8 (Каналізаційна система загального користування)	Весь завод Чотириетапна обробка: 1. Етап миш'яку: осадження миш'яку та флокуляція шляхом додавання $FeCl_3$, H_2O_2 2. Етап гідроксиду: осадження гідроксиду деяких металів (переважно Pb, Cd, Zn) та флокуляція шляхом додавання $Ca(OH)_2$ 3. Етап талію: осадження талію та флокуляція шляхом додавання Na_2S, $Al_2(SO_4)_3$ 4. Нейтралізація	Pb	0,031	0,05	0,074	820 разів на рік Одна випадкова проба
		Cd	< 0,01	< 0,01	0,13	
		Zn	0,021	0,05	0,6	
		Cu	< 0,05	< 0,05	0,05	
		As	0,01	0,02	0,1	
		Ni	< 0,05	< 0,05	0,2	
		Tl	0,02	0,1	0,9	
		Хлорид	971	НЗ	2580	
		Сульфат	1270	НЗ	2260	
9 (Річка)	Технологічна вода, дощова та поверхнева вода Осадження металів шляхом підвищення рівня pH шляхом додавання гідроксиду натрію та розчину хлориду заліза (III) (1-й етап) та йонообмінника (2-й етап)	Pb	0,01	0,033	0,2	300 разів на рік Періодичний комплексний відбір проб; (у середньому за тиждень)
		Cd	0,01	0,015	0,03	
		Zn	0,01	0,05	0,1	
		Fe	0,04	0,051	0,06	
		Cu	0,01	0,015	0,02	
		Ni	0,01	0,015	0,1	
11 (Річка)	Дощова вода Підлуговування $Ca(OH)_2$, флокуляція, бетоніт	Pb	0,05	0,05	0,05	12 разів на рік Періодична складена проба за 24 години
		As	0,001	0,0015	0,0044	
		Zn	0,01	0,041	0,057	
		Cd	0,005	0,046	0,25	
		Ni	0,015	0,0165	0,033	
		Загальна кількість розчинених твердих часток	1200	2899	6600	
		ХСК	2,5	21,9	44	
		C10–C40	0,01	0,028	0,032	
		Загальна кількість завислих твердих часток	2,5	3,96	14	

12 (НЗ)	Суміш води системи комунально-побутового водопостачання, технологічної води та дощової води Процес фізико-хімічного очищення	Pb	0	0,14	0,3	4 рази на рік Точкові вимірювання
		Cu	0	0,61	1	
		Cd	0,068	0,13	0,165	
		Zn	0,32	0,89	1,2	
		Ni	0	0,01	0,02	
		As	0	0	0	
		Нд	550	674	950	
		Sn	0,13	0,42	0,66	
		Fe	0	0,05	0,2	
		Сульфіди	483	528	590	
13 (Каналізаційна система загального користування)	Суміш води системи комунально-побутового водопостачання, технологічної води (що містить багато металів) та дощової води Процес фізико-хімічного очищення (додавання трихлористого заліза, додавання вапняного молока, додавання поліелектроліту. Завислі частки видаляються у відстійнику. Осад видаляється за допомогою фільтрпресу. Перед скиданням вода фільтрується у піщаному фільтрі, а рівень pH регулюється шляхом додавання CO_2	Pb	0,02	0,022	0,029	5 разів на рік Періодичний комплексний щоденний відбір проб
		Cu	0,0257	0,0323	0,044	
		Cd	0,001	0,0012	0,0018	
		Zn	0,0232	0,0369	0,066	
		Ni	0,056	0,062	0,075	
		As	0,0178	0,0198	0,0207	
14 Річка	Вода від очисних робіт, дощова вода та вода з етапу очищення поліпропілену Фізична та хімічна обробка NaOH для регулювання рівня pH, а також флокулянтами для видалення забруднювальних елементів	Pb	0,02	0,103	0,25	Кожні 7–10 днів Одноразовий випадковий відбір проб
		As	0,1	0,1	0,1	
		Cd	0,09	0,242	0,7	
		Ni	0,25	0,645	2,47	
		Cu	0	0	0	
		Zn	0,18	0,7467	2	
		pH	8,4	8,93	9,48	
15 (Річка)	Технологічні стічні води, дощова вода, надлишкова зрошувальна вода, охолоджувальна вода та дренажна вода Фізико-хімічна обробка з додаванням вапна, доочищення від As за допомогою $FeCl_3$, кінцеве доочищення за допомогою NaSH	Pb	0,005	0,02	0,04	12 разів на рік Одноразовий комплексний відбір проб
		Cd	0,003	0,007	0,011	
		Zn	0,01	0,03	0,05	
		Cu	< 0,002	0,01	0,05	
		As	0,04	0,09	0,17	
		Ni	0,01	0,03	0,05	
		Tl	< 0,01	0,22	0,83	
		Sn	0,03	0,14	0,31	
		Sb	< 0,01	0,14	0,31	
		Адсорбовані органічні галогени	0,88	1,8	2,9	9 разів на рік
16	Стічні води з заводів з виробництва свинцю та цинку Триетапна обробка: 1. Етап гідроксиду: осадження гідроксиду деяких металів та флокуляція шляхом додавання NaOH, фільтрування відокремлених гідроксидів 2. Етап сульфідів: осадження ще розчинених іонів металів шляхом додавання іонів S^2 3. Етап Fe(III) осадження надлишкових сульфід-іонів шляхом додавання іонів Fe^{3+}, фільтрування осаду	Сульфід (розчинений):	< 0,04	НЗ	0,09	15 вимірювань у 2008–2010 роках
		Pb	0,001		0,05	
		Cd	< 0,0005		0,01	
		Cu	< 0,01		0,04	
		Hg	< 0,0005		0,00066	
		Tl	0,01		0,85	
		Zn	< 0,01		0,14	
		As	0,00052		0,29	
		Ni	< 0,01		0,04	
		Fe	0,03		2,8	

18,1 (Річка)	Технологічна вода зі всього об'єкта: промивання газу з заводу з виплавки первинної міді та заводу з виплавки вторинної міді/свинцю, стічні води з кислотного заводу, завод з виробництва дорогоцінних металів та завод з виробництва селену Видалення As шляхом додавання заліза (III), нейтралізація та осадження металів (1-й етап) та осадження сульфіду разом із залізом (II)	Pb	НЗ	0,03*	0,05	Одна випадкова проба та вимірювання (у середньому за місяць)
		Cu		0,05*	0,2	Одна випадкова проба та вимірювання (у середньому за тиждень)
		As		0,06*	0,09	
		Ni		0,05*	0,06	Одна випадкова проба та вимірювання (у середньому за місяць)
		Zn		0,17*	0,2	
		Cd		0,01	0,02	Одна випадкова проба та вимірювання (у середньому за тиждень)
		Hg		0,019 *	0,024	
18,2 (Річка)	Поверхневі стоки з заводу з виплавки вторинної міді/свинцю, установки з відливання у форми, заводу з рафінування свинцю Обробка шляхом коагуляції, осадження гідроксидів шляхом регулювання рівня pH, флокуляції та відстоювання	Pb	НЗ	0,14*	0,5	Одна випадкова проба та вимірювання (у середньому за місяць)
		Cu		0,18*	0,5	Одна випадкова проба та вимірювання (у середньому за тиждень)
		As		0,03*	0,09	
		Ni		0,14*	0,5	Одна випадкова проба та вимірювання (у середньому за місяць)
		Zn		0,25*	1	
		Cd		0,05*	0,11	Одна випадкова проба та вимірювання (у середньому за тиждень)
		Hg		0,0065	0,014	
* 90-й процентиль. Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012] [385, Germany 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення енергоспоживання.
- Використання добавок.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Усі заводи в Європі.

Довідкова література
[254, VDI 2004], [397, ILA 2012]

5.3.7 Технологічні залишки

5.3.7.1 Технології запобігання та мінімізації утворення залишків та відходів з заводів з виплавки первинного металу

Опис
У виробництві первинного свинцю основними джерелами відходів і залишків є інші компоненти, які містяться у свинцевих рудах та їх концентратах. Щоб отримати побічний продукт або зменшити кількість відходів, що утворюються з цих компонентів, слід розглянути такі технології.

- Відновлення сірки: сірка перетворюється на продукти сірки, такі як сірчана кислота або рідкий SO_2.
- Видалення Cd: Cd вилуговується з пилу, витягнутого гарячим електростатичним фільтром, за допомогою сірчаної кислоти.
- Видалення Hg: Hg видаляється за допомогою процесу «Боліден-Норцинк» або фільтрування за допомогою абсорбентів, таких як активоване вугілля.
- Розділення Se та Te: Se та Te видаляються під час (мокрого або сухого) очищення газу. Залишки, що утворюються, піддаються захороненню або повторно використовуються для вилучення цих металів.
- Вилучення Ag, Au, Bi, Sb та Cu: ці метали видаляються під час рафінування як складний елемент і відправляються на стадію відновлення.
- Відновлення металів на установці з очищення відпрацьованих вод.
- Інші компоненти обробляються для отримання оксидів для перероблення або кристалічного шлаку.

Технічний опис
Належна практика поводження з відходами або дозволяє мінімізувати кількість відходів, або забезпечує перетворення відходів у менш шкідливі матеріали. Це може відбуватися декількома шляхами, що передбачають концентрацію, видалення, стабілізацію або перероблення небажаних компонентів або оптимізацію умов флокуляції/фільтрації для забезпечення меншої кількості води в залишках, які потребують очищення.

Свинцеві руди та концентрати можуть містити такі компоненти, як S, Fe, CaO, Zn, Cu, SiO_2, Al_2O_3, MgO та BaO, а також у нижчих концентраціях Ag, As, Au, Bi, Cd, Hg, Sb, Se та Te. Вторинні матеріали зазвичай являють собою чисті матеріали (наприклад, свинцева паста, отримана в результаті обробки акумуляторів), але можуть містити Cu або Sb (брухт, сітки тощо).

Відновлення сірки
Сірка перетворюється на діоксид сірки, який можна використовувати для виробництва товарних/багаторазових сірковмісних продуктів (наприклад, сірчаної кислоти, рідкого SO_2 або гіпсу). Це дозволяє уникнути утворення відходів, які інакше були б результатом її видалення, див. Розділ 2.12.5.4.

Видалення Cd
Під час плавки Cd випаровується та осаджується за допомогою гарячого електростатичного фільтра. Для отримання пилу з високим вмістом свинцю необхідно відокремити Cd. Це робиться шляхом процесу вилуговування з використанням сірчаної кислоти, і Cd осаджується у вигляді $CdCO_3$. Після фільтрпресу цей матеріал відправляється на відповідний полігон для захоронення. Залишок після вилуговування повертається в піч.

Розділення Se і Te та видалення Hg
Під час мокрого очищення газів видаляються Se, Te і деяка кількість Hg. Комплексний залишок піддається захороненню або використовується для вилучення металів. Залишковий Hg у технологічному газі видаляється за допомогою спеціальних процесів (наприклад, процес «Боліден-Норцинк», процес Dowa або фільтрування з абсорбентами, такими як активоване вугілля), див. Розділ 2.12.5.5, а залишки обробляються та піддаються захороненню.

Вилучення Ag, Au, Bi, Zn і Sb, а також деякої кількості Cu
Ці метали видаляються під час очищення або рафінування газу. Ці метали можуть бути оброблені з утворенням оксидів (наприклад, ZnO) та/або сплаву Ag-Au, сплаву Pb-Bi, сплаву Pb-Sb або Cu штейну для власного використання або продажу. Це може відбуватися як на об'єкті, так і за його межами. Невелику кількість проміжних продуктів та/або відходів, що утворюються в процесі рафінування, відправляють назад до процесу виплавки або рафінувального заводу для внутрішнього перероблення.

Відновлення металів на установці з очищення відпрацьованих вод
Частина металів скидається після обробки на установку з очищення відпрацьованих вод, див. Розділ 5.3.6.2. Залишки очищення з установки з очищення відпрацьованих вод рециркулюються.

Всі інші компоненти свинцевої руди/концентрату ідуть у шлак. Утворюється кристалічний шлак, який міститиме деяку кількість свинцю та інших металів. Склад шлаку можна контролювати перед плавкою шляхом додавання флюсів (деякі є відходами) для отримання матеріалу з хорошими властивостями вилуговування. Сполуки, які вважаються такими, що мають низьку цінність, можуть збиратися як побічний продукт (з концентрацією Pb > 40%) на продаж іншим плавильним заводам. У деяких випадках шлаки, що містять Pb, Zn і Cu, додатково випаровують для відновлення цінності в подальших процесах і для отримання шлаку з низьким вмістом металу і низькою вилуговуваністю, який потенційно може використовуватися в будівельних процесах.

Досягнуті екологічні переваги
- Відновлення матеріалів.
- Мінімізація екологічних ризиків, пов'язаних із відходами, що підлягають захороненню.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Відновлення сірки
- Збільшення енергоспоживання.
- Використання добавок.
- Можуть утворюватись відходи.

Видалення Cd
- Використання добавок.
- Утворюються відходи, які потребуватимуть утилізації.

Видалення Hg
- Збільшення енергоспоживання.
- Утворюються відходи, які потребуватимуть утилізації.

Розділення Se і Te
- Збільшення енергоспоживання.
- Будуть утворюватися відходи, якщо Se та Te не будуть вилучені.

Вилучення Ag, Au, Bi, Sb та Cu
Інформацію не надано.

Відновлення металів на установці з очищення відпрацьованих вод
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна. Вилучення Se та Te обмежено кількістю присутнього Hg. Пряма плавка осаду з установки з очищення відпрацьованих вод може бути обмежена наявністю елементів, які заважають плавці, таких як As, Tl та Cd.

Економічні аспекти
- Збільшення енергоспоживання.
- Зниження витрат на утилізацію.

Стимул до впровадження
Можливе зниження витрат на утилізацію відходів компенсується вищими витратами, пов'язаними із застосуванням необхідного додаткового етапу технологічного процесу.

Приклади заводів
Усі заводи з виробництва первинного свинцю в Європі, які обробляють руди та/або концентрати.

Довідкова література
[397, ILA 2012]

5.3.7.2 Зовнішнє або внутрішнє використання кислоти та пластмас від обробки акумуляторів

Опис
Відновлена сірчана кислота може:

- використовуватись як травильний агент;
- оброблятися у хімічній промисловості;
- регенеруватися під час розщеплення;
- використовуватись для утворення гіпсу;
- використовуватись для виробництва сульфату натрію у процесі десульфуризації (див. Розділ 5.3.2.5).

Поліпропілен подрібнюється на гранули та продається для подальшого використання як на об'єкті, так і за його межами або переробляється в гранули.

Інші пластмаси відправляються на рекуперацію енергії або на утилізацію відходів.

Технічний опис
Свинцево-кислотні акумулятори складаються з наступних компонентів (% мас.):

- компоненти зі свинцю (сплаву) (сітка, виводи тощо): 20–30;
- Електродна паста (дрібні частки оксиду свинцю і сульфату свинцю): 35–45;
- сірчана кислота (10–20% H_2SO_4): 10-25;
- поліпропілен: 5–8;
- інші пластмасові матеріали та інші полімери (ПЕ тощо.): 2–5;
- інші матеріали (скло, неорганічні сполуки, сполуки кремнію тощо): < 1.

Кислотні та пластмасові компоненти обробляються таким чином:

Використання відновленої сірчаної кислоти

Відновлена сірчана кислота є слабкою і може містити деякі розчинені домішки, наприклад, Fe, що може обмежувати подальше використання. Використання кислоти залежить також від місцевої ситуації. Повідомляється про різні типи використання. Відновлена сірчана кислота може бути використана наступним чином.

- Використовується як травильна кислота, наприклад, для травлення виробів із Fe, Zn та латуні. Кислота може мати деякі домішки, оскільки вона перетворюється на розчини $FeSO_4$, $ZnSO_4$, які потім відновлюються у вигляді солей.
- Використовується для подальших процесів у хімічній промисловості.
- Регенерується під час розщеплення. Відпрацьовану кислоту концентрують для видалення води, а потім розпилюють у піч за температури 1000–1200 °C, де $H2_SO_4$ перетворюється на SO_2 + H_2O та O_2. Потім SO_2 спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти.
- Використовується для утворення гіпсу. Використовується для формування гіпсу. У цьому випадку відпрацьовану кислоту змішують з вапном $Ca(OH)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 * 2\ H_2O$. Гіпс відокремлюють шляхом фільтрування.
- Обробляється разом зі свинцевою пастою та вапном і продається на заводи з виплавки первинного металу, які використовують вапно для утворення шлаку та відновлення нової кислоти із вмісту сульфату.
- Використовується для виробництва сульфату натрію у процесі десульфуризації (див. Розділ 5.3.2.5). Тут відпрацьована сірчана кислота додається до пасти свинцево-кислотного акумулятора та розчину лужної солі в реакторі десульфуризації, при цьому H_2SO_4 бере участь у реакції для утворення спочатку $PbSO_4$.

Використання поліпропілену (ПП)
Корпуси акумуляторів очищають від домішок (сірчаної кислоти та свинцю), а потім розбивають на гранули. Стічні води спрямовуються на установку з очищення відпрацьованих вод. Матеріал має високу економічну цінність і може продаватися у якості поліпропіленових гранул. Деякі компанії обробляють поліпропіленові гранули на об'єкті та виробляють високоякісні поліпропіленові маси у вигляді гранул, розроблених відповідно до конкретних технічних вимог клієнтів.

Використання інших пластмас (ПЕ тощо)
Сепаратори складаються здебільшого з ПЕ з великою кількістю наповнювача. Залежно від технології акумулятора, сепаратори можуть містити свинець. Таким чином цей матеріал призначений для рекуперації енергії або утилізації відходів. Його також можна використовувати у якості відновника у печах.

Один плавильний завод має власну установку для спалювання відходів, яка утворює пару для сушіння сульфату натрію та електроенергію (див. Розділ 5.3.2.5).

Виробництво корпусів акумуляторів більше не потребує ебоніту, а вміст в акумуляторах, що збираються, відрізняється, але знижується. Ебоніт є твердою гумою, що містить велику кількість сірки та наповнювачів. Залежно від країни, віку автомобілів та походження зібраних акумуляторів, цей матеріал може бути відновлений окремо або разом з іншою фракцією пластмаси. Ебоніт не має іншого застосування з точки зору рекуперації енергії або утилізації відходів.

Досягнуті екологічні переваги
- Використання різних фракцій знижує кількість відходів.
- Сірчана акумуляторна кислота в деяких галузях застосування замінює нову сірчану кислоту.
- Виробництво гіпсу заощаджує ресурси завдяки заміні природного гіпсу.
- Відновлений ПП використовується замість первинного ПП.
- Рекуперація енергії з інших пластмас та ебоніту заощаджує або утворює енергію.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На заводі Harz-Metall розведена кислота, зібрана зі складу для зберігання акумуляторів, обробляється разом зі стічними водами з лінії обробки акумуляторів на спеціально розробленій установці з очищення стічних вод. Тут кислота нейтралізується вапном для осадження (нечистого) гіпсу. Можна додати невелику кількість хлориду заліза для покращення процесу осадження та відстоювання домішок розчину. Осади згущуються в

згущувачі та спрямовуються у фільтрпрес, в якому також фільтрується паста (дрібнодисперсна фракція від акумулятора). Осад на фільтрі відправляється в піч Ausmelt в Норденхамі для відновлення свинцю. Гіпс, що міститься, допомагає регулювати коригувати склад шлаку як флюс. Під час плавки SO_2 виділяється і збирається в секції очищення відхідних газів. Нарешті, регенерується H_2SO_4.

Вплив на різні компоненти довкілля
Використання відновленої сірчаної кислоти
- У якості травильного агента: інформацію не надано.
- Обробка у хімічній промисловості: інформацію не надано.
- Розщеплення: збільшення споживання енергії.
- Виробництво гіпсу: збільшення споживання енергії та вапна.
- Виробництво сульфату натрію: збільшення використання добавок.

Відновлення ПП
Збільшення енергоспоживання.

Використання іншої пластмаси
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Використання відновленої сірчаної кислоти
- У якості травильного агента: застосовність цієї технології залежить від місцевих умов та сумісності домішок, присутніх у кислоті, з процесом відновлення.
- Обробка в хімічній промисловості: застосовність цієї технології залежить від місцевих умов.
- Розщеплення: застосовується тільки в поєднанні з установкою з виробництва сірчаної кислоти.
- Виробництво гіпсу: якість гіпсу залежить від домішок, присутніх у відновленій сірчаній кислоті.
- Виробництво сульфату натрію: загальнозастосовна технологія.

Відновлення ПП
Ця технологія може бути непридатною для шахтних печей через газопроникність непошкоджених акумуляторів, що необхідно для роботи печі.

Використання іншої пластмаси
Залежно від характеристик матеріалу, може бути кращим відновити їх замість використання у виробництві енергії або, якщо відновлення неможливе, піддати їх захороненню.

Економічні аспекти
Інформацію не надано. Виробництво сульфату натрію є економічною проблемою, пов'язаною із цінами на гідроксид натрію та сульфат натрію.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Усі заводи в ЄС, які здійснюють розділення акумуляторів.

Довідкова література
[254, VDI 2004], [397, ILA 2012]

5.3.7.3 Технології запобігання та мінімізації утворення залишків та відходів з заводів з виплавки вторинного металу

Опис
Технології, які слід розглянути (у пріоритетному порядку):

- повторне використання залишків у процесі виплавки для вилучення свинцю та інших металів;
- обробка залишків та відходів на спеціальних заводах для відновлення матеріалів;
- обробка залишків та відходів для інших корисних цілей.

Технічний опис
Повторне використання залишків у процесі виплавки для вилучення свинцю та інших металів
У шахтних печах більша частина шлаку повертається в піч. У інших процесах шлак також повертається у процес у разі високого вмісту свинцю.

Іншими прикладами залишків, що спрямовуються на етап плавки, є наступні:

- Свинцевий штейн.
- Матеріали, отримані на етапах рафінування для видалення Cu, Sb, Sn, As, дорогоцінних металів та Bi. Цей дрос можна використовувати для виробництва Cu штейну, сплавів Pb-Sb або Pb-Sn.
- Залишки від очищення відпрацьованих вод після зневоднення на фільтрпресі. Залишки з заводів з виплавки вторинного металу можуть бути повернені в процес для вилучення свинцю.

Обробка залишків та відходів на спеціальних заводах для відновлення матеріалів
Свинцевий штейн можна використовувати в процесі виплавки свинцю, але його також можна відправляти на заводи з виплавки первинного штейну, здатні обробляти цей матеріал. Іншими типами побічних продуктів, що відправляються на інші заводи для вилучення свинцю, є:

- Cu штейн на мідеплавильний завод;
- матеріали, отримані на етапах рафінування для видалення Cu, Sb, Sn, Bi, In, Se, Te та дорогоцінних металів;
- пил із фільтра.

Обробка залишків та відходів для інших корисних цілей
Шлаки, що відповідають критеріям вилуговування металів, можна використовувати в будівництві.

Досягнуті екологічні переваги
Відновлення металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Під час виробництва вторинних продуктів зі свинцю та олова утворюється широкий спектр проміжних продуктів, залежно від застосовуваних процесів та використовуваної сировини. Через цю різноманітність (продукти відрізняються один від одного за зовнішнім виглядом і хімічним складом і змінюються з часом) розділ технічного опису передбачає опис найбільш важливих застосувань побічних продуктів. На рівні підприємства можуть застосовуватися інші технології залежно від місцевих умов та конкретної використовуваної сировини. Рішення щодо зменшення відходів повинні бути визначені для всіх проміжних продуктів, відповідно до вищезазначеного пріоритетного порядку, зазначеного в розділі опису.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Економічно вигідна технологія.

Приклади заводів
Усі заводи з виробництва вторинного свинцю та/або олова.

Довідкова література
[254, VDI 2004], [397, ILA 2012]

5.3.8 Енергія

5.3.8.1 Рекуперація тепла з технологічних газів у виробництві первинного свинцю та виробництві вторинного свинцю та олова

Опис
Технологія, яку слід розглянути — це використання котла-утилізатора для рекуперації тепла з димових газів печі. Залишкове тепло від пальників в операціях виплавки вторинного металу та рафінування також може бути використане для тієї ж цілі.

Технічний опис
У безперервних виробничих процесах тепло технологічних газів плавильних заводів може використовуватися для утворення гарячої води або пари за допомогою котла-утилізатора.

До уваги слід брати такі питання:

- ефективні заходи техніки безпеки;
- належне очищення та технічне обслуговування під час експлуатації та ревізії;
- обмежений вхід «небажаного повітря»;
- безпечна робота навіть з коливаннями тепла;
- запилення системи рекуперації.

Стандартні котли для виробництва первинного свинцю встановлюються з каналом для контролю випромінювання. Газ, що виходить із котла та системи охолодження повинен мати температуру 200–300 °C перед фільтруванням пилу в гарячому електростатичному фільтрі. Це запобігає корозії від хлору, а також конденсації сірчаної кислоти. Необхідно враховувати стан димових газів, щоб запобігти блокуванню димового пилу шляхом застосування вищих температур.

Досягнуті екологічні переваги
Рекуперація тепла та енергії.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Повідомляється про рекуперацію тепла до 40 ГВт-год/рік в операціях шахтних печей.

Вплив на різні компоненти довкілля
Діоксини можуть утворюватися в результаті синтезу de novo, якщо димові гази не охолоджуються швидко в діапазоні температур від 400 °C до 200 °C.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Рекуперація енергії обмежена безперервними маршрутами виплавки та використанням залишкового тепла від системи нагрівання на рафінувальному заводі. Особливу увагу слід приділити конструкції, щоб запобігти утворенню високих концентрацій пилу та корозії.

Економічні аспекти
Вищі витрати, пов'язані з необхідним додатковим обладнанням, слід порівнювати з вигодою від зниження витрат на електроенергію.

Стимул до впровадження
Зменшення витрат на енергію.

Приклади заводів
Усі заводи в Європі.

Довідкова література
[254, VDI 2004], [397, ILA 2012]

5.4 Перспективні технології

Десульфуризація свинцевої акумуляторної пасти розчинником на основі (аміну).
Процес десульфуризації свинцевої акумуляторної пасти з використанням системи з розчинником на основі (аміну) був розроблений на експериментальній основі у Польщі. Цей процес дозволяє уникнути використання карбонату натрію та утворення білого шлаку. Процес заснований на екстракції сульфату свинцю у водну фазу, та подальшому осадженні карбонату свинцю, та остаточній регенерації розчинника з отриманням гіпсу.

Мокра обробка відпрацьованої акумуляторної пасти
Процес CLEP застосовується на експериментальній установці Італії. Процес є виробництвом карбонату або оксиду свинцю та сульфату натрію з відпрацьованої акумуляторної пасти шляхом мокрої обробки. Немає викидів у повітря, а оксид свинцю повторно використовують у виробництві акумуляторної пасти.

Зворотний осмос для очищення стічних вод від виробництва свинцю
Застосування зворотного осмосу для очищення використаної відпрацьованої технологічної та охолоджувальної води від виробництва свинцю досліджується на демонстраційному заводі промислового масштабу. Мета полягає в тому, щоб зменшити кількість стічних вод, що підлягають утилізації, що призведе до зменшення викидів металів та зменшення потреби у прісній воді. Стічні води, що утворюються, і вилучені метали повертаються на плавильний завод.

Окремий процес перероблення відпрацьованих свинцевих акумуляторів та виробництва нових акумуляторних сіток
Сьогодні досліджується процес перероблення свинцевих сплавів та сполук свинцю з відпрацьованих акумуляторів та виробництва нових акумуляторних сіток у рамках єдиного процесу. Інноваційна технологія заснована на поєднанні процесу електрохімічного розчинення з процесом гальванічного осадження свинцю та свинцевих сплавів в одній ванні за температури, близької до кімнатної. Технологія вільна від прямого викиду CO_2 і вважається високоефективною завдяки комбінації двох процесів лише в одному електрохімічному осередку.

Обробка шлаків пірометалургійного виробництва цинку та свинцю в дуговій печі з зануреною дугою
Досліджується обробка шлаків, що виникають у пірометалургійному виробництві цинку та свинцю в дуговій печі з зануреною дугою для вилучення цинку та свинцю та отримання придатного для використання та екологічно чистого шлаку.

Виробництво свинцю методом прямої виплавки
Піч зваженої плавки Outotec використовувалися в демонстраційних цілях для виробництва свинцю методом прямої виплавки. Повідомлялося також про використання для цієї мети вельц-печей. У літературі міститься багато інших потенційних прикладів, які ще не були розроблені поза рамками експерименту.

Використання розібраних акумуляторів у шахтній печі
На одному заводі з виробництва вторинного свинцю в Німеччині розробляється процес розділення поліпропілену та іншої пластмаси перед заводом з шахтною піччю, а також процес експлуатації шахтної печі з розібраними акумуляторами.

Горизонтальна повітряна завіса у верхній частині сталевого котла, що містить свинець
Завод Britannia Refined Metals у Великій Британії тестує використання горизонтальної повітряної завіси у верхній частині сталевого котла, що містить свинець. Повітря забирає викиди свинцевого диму з котла у витяжну систему, яка вловлює викиди. Перевага полягає у вловлюванні диму від гарячого котла, який завантажується свинцевими блоками за допомогою мостового крана.

Досягнуті екологічні переваги
- Відновлення свинцевого диму.
- Зменшення викидів.

Екологічна ефективність та інформація про функціонування
Мають бути визначені.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення інвестиційних витрат (завдяки встановленню додаткового обладнання).
- Збільшення споживання енергії.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів під час завантаження котла.

Приклади заводів
Britannia Refined Metals (Велика Британія).

Довідкова література
[397, ILA 2012]

6 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА ЦИНКУ ТА КАДМІЮ

6.1 Прикладні процеси та технології

Цинк і кадмій часто пов'язані разом у рудах та концентратах, і для вилучення та розділення металів використовується низка технологій. Коли в сировині також присутня значна кількість свинцю, хімічний стан (сульфідний або оксидний) і відносна частка металів є одними з головних факторів, що визначають пірометалургійні або гідрометалургійні технології або їх комбінації, що використовуються. Деякі технології також використовуються для вторинної або змішаної первинної та вторинної сировини [11, Hatch Associates Ltd 1993], [99, Hähre, S. 1998].

Інші метали (In, Ge, Ga) іноді присутні у концентратах, що використовуються для виробництва цинку та свинцю (див. Розділ 6.1.4.3).

6.1.1 Первинний цинк

Цинк може бути отриманий з первинної сировини пірометалургійним або гідрометалургійним методами. Пірометалургійні методи все ще використовуються в інших частинах світу, але поступово втратили своє значення і більше не використовуються в ЄС для обробки простих цинкових концентратів. Визначальними факторами є необхідність додаткового етапу дистилювання для отримання високоякісного цинку та відносно низька ефективність вилучення цинку. Більшість пірометалургійних плавильних печей Imperial закрилися в ЄС, але одна залишається відкритою в Польщі.

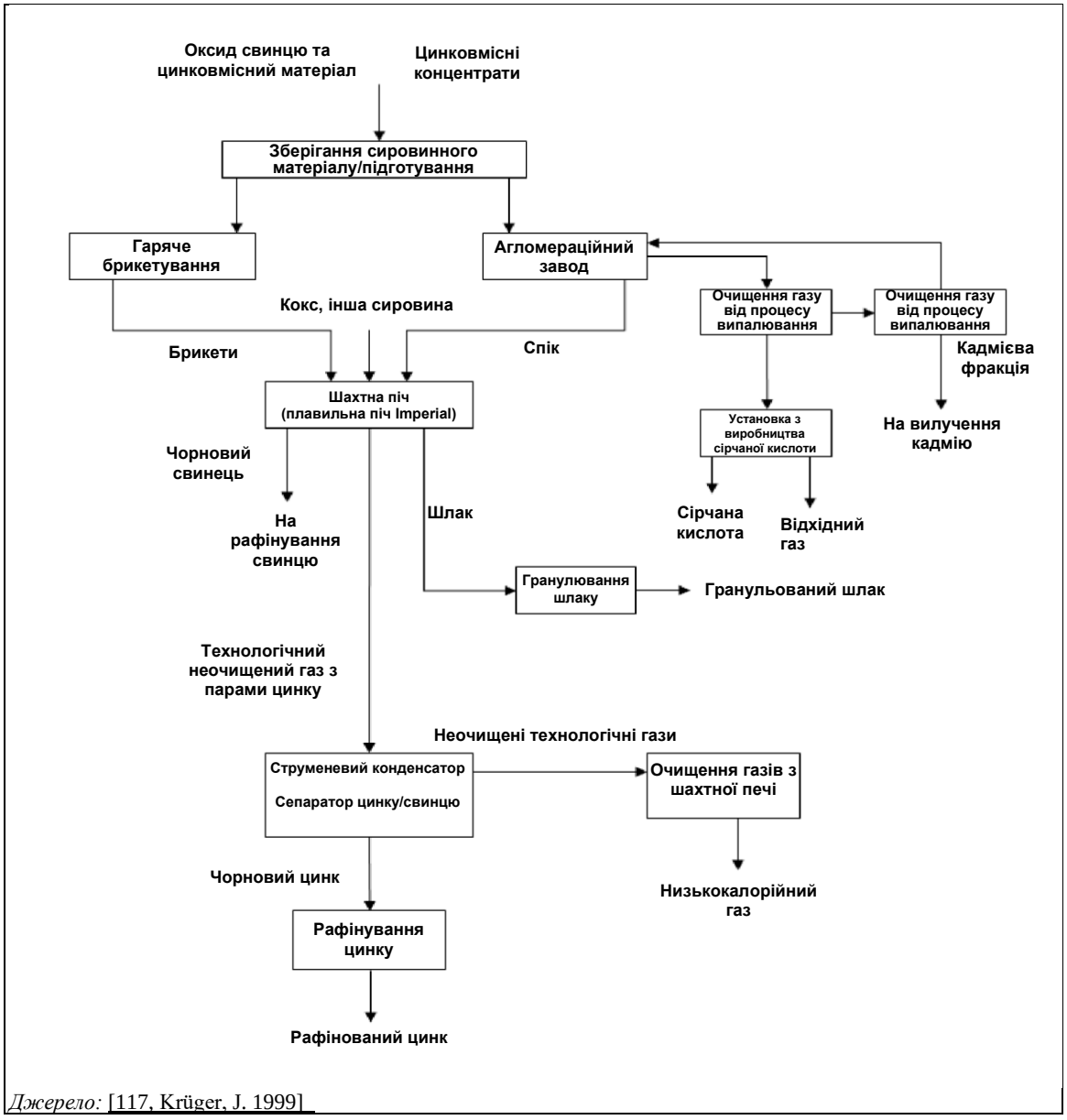
6.1.1.1 Екологічні проблеми

Більшість руд і концентратів, що містять цинк, також містять сульфіди. Це означає, що металургія цинку має ті ж проблеми, що й у виробництві сірчаної кислоти, тобто викиди залишкового діоксиду сірки, NO_X та кислих стічних вод, а також викиди таких металів, як миш'як, ртуть та кадмій. У тих випадках, коли обробляються цинкові залишки, що містять певні органічні речовини, необхіднорозв'язувати проблему стійких органічних забруднювачів. Цинкові руди містять залізо, яке є однією з основних проблем через утворення великих обсягів залишків, таких як шлак, ярозит, ґетит і гематит.

Тому для контролю за станом довкілля потрібні системи фіксації діоксиду сірки, контролю викидів твердих та газоподібних речовин в атмосферу, безпечної утилізації відходів, підтримки безпечного робочого середовища на заводі та обмеження скидання рідких стоків до екологічно прийнятних рівнів шкідливих речовин. Викиди в атмосферу і воду, поводження з відходами та енергетичні міркування є одними з основних факторів, що впливають на вибір технологій, що застосовуються.

6.1.1.2 Пірометалургійний спосіб

Пірометалургійний спосіб використовується для змішаних цинково-свинцевих концентратів і вторинних матеріалів (брухт цинкових сплавів, цинковий дрос тощо) і використовує плавильну піч Imperial (ISF), показану на Рисунку 6.1 та у Додатку 13.1. Його можна використовувати на планово-періодичній основі, обробляючи сульфідні концентрати та деяку кількість вторинного свинцю в рамках однієї операції, а потім промиті оксиди процесу Вельца та інші оксидні матеріали, що містять цинк і свинець, в рамках іншої операції. Залишки, що містять свинець, та деяка кількість свинцю, отримані в ході сульфідної операції, використовуються для оптимізації співвідношення цинку та свинцю для оксидної операції.



Джерело: [117, Krüger, J. 1999]

Рисунок 6.1: Схема типового процесу Imperial Smelting

Агломераційний завод в процесі ISF передбачає наступне:

- Зони зберігання первинної та вторинної сировини. Ця сировина доставляється на наступні етапи процесу стрічковими конвеєрами, обладнаними ваговими дозаторами та вібраційними завантажувальними механізмами.
- Установка підготовки шихти. Підготовлена шихта транспортується з бункерів для зберігання у ступеневі змішувачі стрічковими конвеєрами. Шихта складається з сировини та переробленого спеку, і в цей процес додатково спрямовуються флюсувальні матеріали (вапняк та пісок).
- Агломераційна машина.
- Установка дроблення спеку.

Цілями агломераційного заводу є окиснення сульфідів металів і розкладання сульфатів металів, що містяться в шихті, і отримання спеченого продукту досить високої механічної міцності, який в результаті його подальшої механічної обробки (дроблення, просіювання) перетворюється на шихту, придатну для обробки в плавильній печі Imperial.

Технологічні гази, що утворюються у процесі спікання, містять діоксид сірки. Ці гази вловлюються і спрямовуються до системи відновлення діоксиду сірки. Залежно від сировини гази містять різні обсяги діоксиду сірки та обробляються по-різному.

- У разі обробки сульфідної або сульфідно-оксидної сировини середній вміст SO_2 у димових газах становить 5 % (максимум 7 %), і ці гази використовуються на установці з виробництва сірчаної кислоти.
- У разі обробки сировини оксидного типу, вміст SO_2 у димових газах надто низький (0,3 – 0,5 % мас), щоб його можна було використовувати на установці з виробництва сірчаної кислоти, тому гази необхідно обробляти іншим способом (наприклад, установка мокрої десульфуризації з використанням вапняку).

Шихтові матеріали, приготовані на агломераційному заводі, подаються у відповідних пропорціях у завантажувальні контейнери печі та завантажуються через газонепроникну систему подвійного конуса. Температура спеку зазвичай близька до температури довкілля, а кокс, що завантажується, нагрівається приблизно до 600–650 °C.

Усередині самої плавильної печі Imperial можна виділити такі три зони.

- Зона плавлення та відновлення розташована в нижній частині печі. До основних хімічних процесів у цій зоні відносяться: спалювання коксу та відновлення оксидів цинку, свинцю та заліза. У цій же зоні також відбуваються інші реакції між шлакоутворювальними компонентами. Найважливішим фізичним процесом у зоні плавлення та відновлення є плавка шлакоутворювальної фази. Гаряче повітря, спік, кокс і оксид цинку, що утворюються в результаті процесу реокислення в зонах рівноваги та нагріву шихти, розташованих у верхній частині печі, є субстратами в зоні плавлення та відновлення, а до продуктів процесів, що відбуваються в цій зоні, відносяться рідкий свинець і шлак, що випускаються з печі у відстійний резервуар, а також потік газів з чадним газом, вуглекислим газом, парами азоту та цинку. Цей газовий потік тече у зону рівноваги у верхній частині. Шар свинцю з відстійного резервуара прямує до ливарного цеху, а потім на завод з рафінування свинцю, а шлак гранулюється водою.
- Зона рівноваги займає більшу частину об'єму печі. Ця зона характеризується приблизно однаковою температурою шихти та газового потоку. Основною реакцією, що відбувається в зоні рівноваги, є реакція Будуара:

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO$$

Ендотермічний характер цієї реакції та теплообмін між потоком шихти, що направляється вниз у піч, і газовим потоком, що прямує в протилежному напрямку, призводять до зміни температури приблизно від 1250 °C в нижній частині зони до приблизно 1000 °C у верхній частині. Реакції в зоні рівноваги призводять до збільшення концентрації чадного газу в газовому потоці, тоді як концентрації CO_2 та Zn зменшуються.

- Зона нагріву шихти розташована в верхній частині печі. Нагрів шихти здійснюється газами, що випливають із зони рівноваги, та за допомогою процесу реокислення парів цинку.

Потік технологічних газів, що виходить із зони нагріву шихти через проміжну камеру вводиться в конденсатор. Камера конденсатора з регульованим рівнем рідкого свинцю розділена на три секції. У кожній із секцій конденсатора мішалки з роторами спеціальної форми розподіляють рідкий свинець по простору конденсатора. Внаслідок контакту газового потоку шахтної печі (температура 1000 °C) з рідким свинцем (близько 600 °C) відбувається інтенсивний теплообмін та розчинення парів цинку у свинці. В однорідному цинково-винцевому сплаві, що отримується в конденсаторі, досягається співіснування рідких фаз, збагачених цинком та збагачених свинцем. Верхній збагачений цинком шар відокремлюється і проходить через резервуар з флюсувальним матеріалом, через резервуар ліквації, а потім у резервуар цинку. Нижній збагачений свинцем шар прямує назад у конденсатор через зворотний жолоб. Таким чином, через конденсатор підтримується постійний потік свинцю (фактично сплаву Pb-Zn). У резервуарі ліквації надлишок свинцю відокремлюється від цинку, а цинк процесу Imperial Smelting збирається в резервуарі для

цинку і потім прямує на процес ректифікації цинку. Технологічні гази, що містять чадний газ, які утворюються в шахтній печі, очищаються і потім використовуються в каупері для нагрівання коксу і спалюються в котельні металоплавильного заводу.

Цинк, що виробляється в ISF, може містити різні кількості кадмію, свинцю, міді, миш'яку, сурми та заліза, і в процесі використовується етап рафінування.

Цинк із печі ISF рафінується шляхом дистилювання зі зворотним потоком у колонах, що містять велику кількість вогнетривких лотків (дистилювання за методом «Нью-Джерсі»). Нижні кінці колон нагріваються зовні природним газом. Верхні кінці не нагріваються і підтримуються достатньо холодними, щоб перегнати метали з вищою температурою кипіння, перш ніж пари потрапляють у конденсатор [11, Hatch Associates Ltd 1993], [99, Hähre, S. 1998]. Дистиляційна колона Нью-Джерсі також використовується для вторинних цинкових матеріалів [117, Krüger, J. 1999].

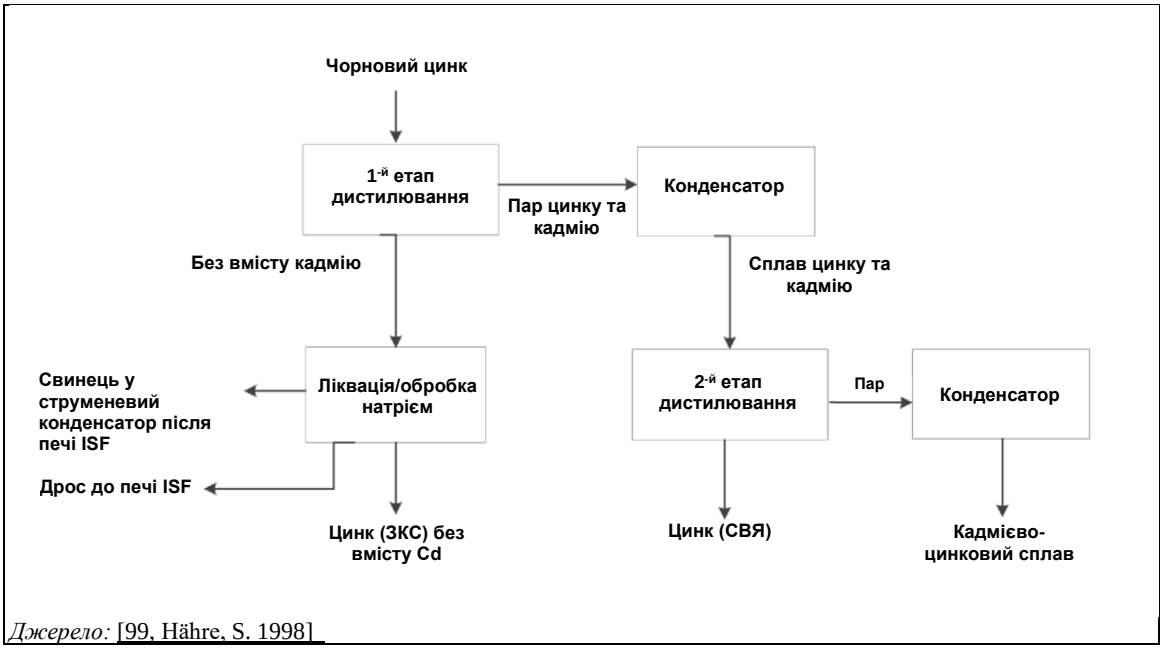
Дистилювання відбувається у два етапи:

- перший етап: відокремлення цинку та кадмію від свинцю;
- другий етап: відокремлення кадмію від цинку.

На першому етапі розплавлений цинк подають у колону, де дистилюється весь кадмій та більша частина цинку. Суміш конденсується та подається безпосередньо у другу колону для запуску другого етапу. Ця колона працює за дещо нижчої температури для дистилювання переважно кадмію, який конденсується у вигляді цинк-кадмієвого сплаву, як показано на Рисунку 6.2. Сплав передається на завод з рафінування кадмію. Сплав передається на завод з рафінування кадмію. Металевий стік з дна другої колони є спеціальним високоякісним (СВЯ) цинком чистотою 99,995 % [117, Krüger, J. 1999]

Стік металу з першого етапу – це цинк із домішками свинцю, олова, миш'яку, заліза, сурми та міді. Цей сплав охолоджується для відділення свинцю, який рециркулюється в струменевий конденсатор, що знаходиться після печі ISF, і дросу, інтерметалевої сполуки заліза, цинку і миш'яку, який рециркулюється в саму піч ISF.

Потім цинк обробляють натрієм для видалення залишкового миш'яку та сурми у вигляді арсенідів та антимонідів тринатрію, які також повертаються у піч ISF. Цинк, отриманий таким чином, має нижчий сорт, який називається звичайним комерційним сортом (ЗКС), але не містить кадмію і використовується переважно для гальванізації.



Джерело: [99, Hähre, S. 1998]

Рисунок 6.2: Схема дистилювання сплаву цинку та кадмію

6.1.1.3 Гідрометалургійний спосіб

Гідрометалургійний спосіб використовується для вилучення цинку з концентратів сульфіду цинку (обманки), оксиду, карбонату або силікату, а також для деяких вторинних матеріалів, таких як оксид процесу Вельца. Цей спосіб складає близько 90% від усього світового виробництва цинку [98, Lijftogt, J.A. et al 1998] [99, Hähre, S. 1998]. Більшість виробничих підприємств ЄС використовують гідрометалургійний спосіб, який також називають RLE (випалювання – вилуговування – електровідновлення) із загальною виробничою потужністю 2,1 млн тонн у 2007 р. [363, Brown et al. 2013]. RLE – це безперервний процес. Спрощену схему процесу можна знайти на Рисунку 6.3.

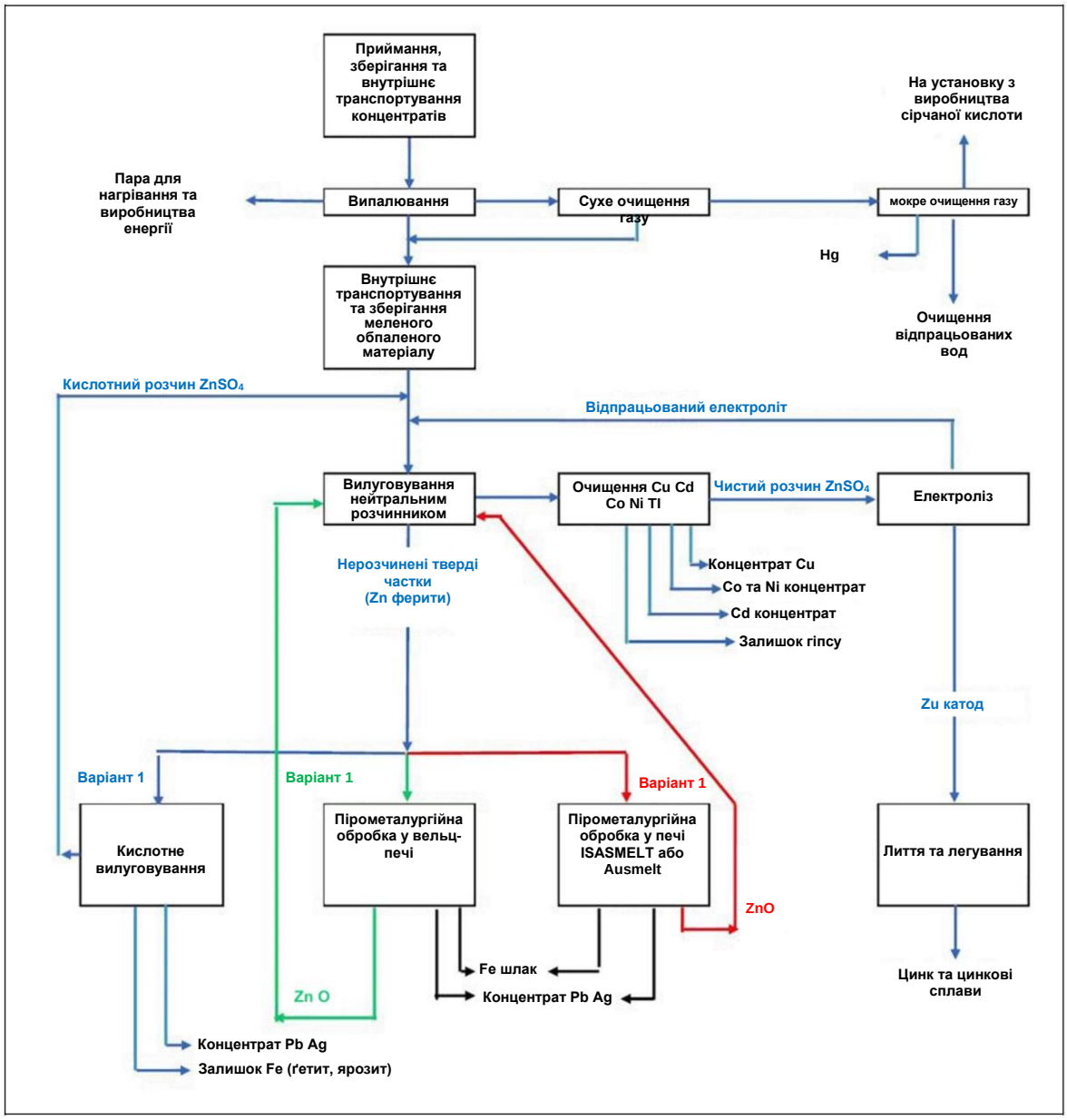


Рисунок 6.3: Спрощена схема гідрометалургійного способу

Вихідний усереднений матеріал може бути підготовлений з систем бункерів-дозаторів з використанням конвеєрних ваг або систем, що працюють за принципом втрати ваги. Остаточне змішування та гомогенізація можуть відбуватися у мішалках або в системах транспортування та дозування. Для пилоподібних матеріалів використовуються закриті конвеєри або системи пневматичного транспортування. Концентрати змішують для отримання досить постійної сировини. Тому загальноприйнятою практикою є відбір проб та аналіз для класифікації концентратів та зберігання певних концентратів окремо, щоб можна було приготувати оптимальну суміш перед спіканням чи випалюванням. Існують правила усереднення для випалювання для отримання належного псевдозрідженого шару.

Після приготування сировини основними технологічними етапами є:

- випалювання;
- обробка обпаленого матеріалу;
- вилуговування;
- очищення;
- електроліз.

6.1.1.3.1 Випалювання

Концентрати сульфіду цинку (сфалеритові) безперервно подаються за допомогою обертових дискових завантажувальних механізмів та метальних стрічок і випалюються в закритих печах для випалювання із псевдозрідженим шаром для отримання оксиду цинку та діоксиду сірки. До 25 % вторинного оксиду цинку, такого як дегалогенований оксид процесу Вельца, може бути додано як охолоджувач до сировини печі для випалювання.

Повітря випалювання або повітря, збагачене киснем, вдувається через решітку сопла в шар випалювання. Воно служить і як середа-носій для псевдозрідженого шару, і як джерело кисню для переважної реакції. Випалювання сульфідного матеріалу не вимагає додаткового палива, оскільки це екзотермічний процес:

$$2\ ZnS + 3O_2 \rightarrow 2\ ZnO + 2\ SO_2 \qquad \Delta H = -\ 440\ кДж/моль$$

Частина надлишкового тепла реакції поглинається охолоджувальними змійовиками, встановленими в псевдозрідженому шарі у вигляді поверхонь нагріву випарного апарату, підключених до системи примусової циркуляції котла-утилізатора (див. Рисунок 6.4). Охолодні елементи, вбудовані в псевдозріджений шар, підтримують температуру випалювання від 900 ºC до 1000 ºC.

Гарячий відхідний газ з печі з псевдозрідженим шаром містить ~ 10 % SO_2. У котлі-утилізаторі гази охолоджуються, а тепло відновлюється у вигляді пари. Частина перенесеного дрібного обпаленого матеріалу відокремлюється від газового потоку в котлі-утилізаторі. Охолоджені гази печі для випалювання, що виходять з котла, надходять у циклони, за якими застосовуються гарячі електростатичні фільтри для видалення пилу, як показано на Рисунку 6.4.

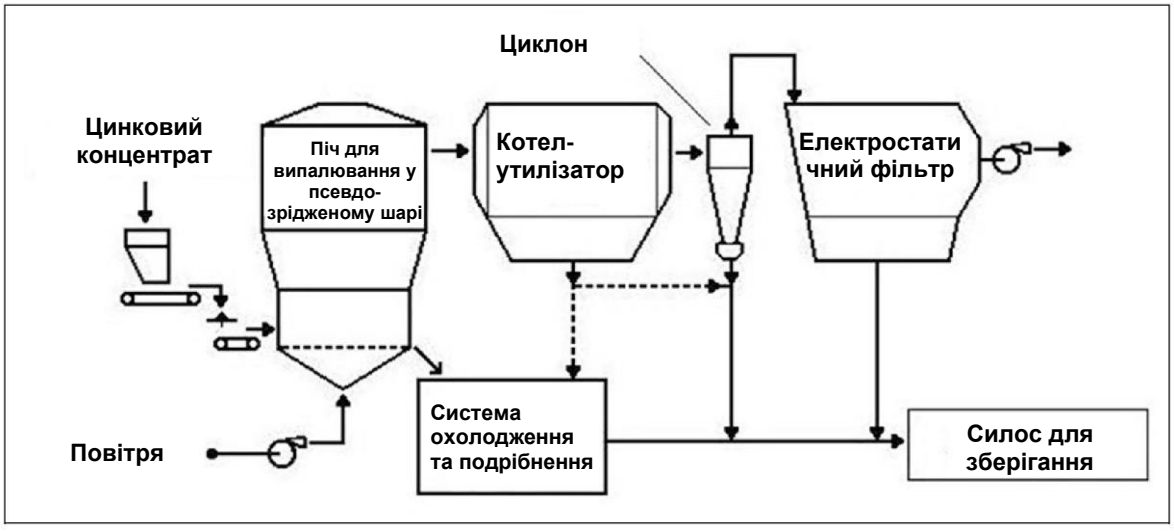


Рисунок 6.4: Етап очищення газу процесу випалювання 1: сухе очищення газу (застосування циклону необов'язкове).

Газ з гарячого електростатичного фільтра надходить на установку мокрого очищення газу, що складається з вежі швидкого охолодження, високоефективного скрубера, мокрих електростатичних фільтрів і колон для видалення ртуті, як показано на Рисунку 6.5. Установка мокрого очищення газу призначена для забезпечення виробництва сірчаної кислоти з низьким вмістом пилу та домішок, таких як As, Sb, Se, F, Cl та Hg.

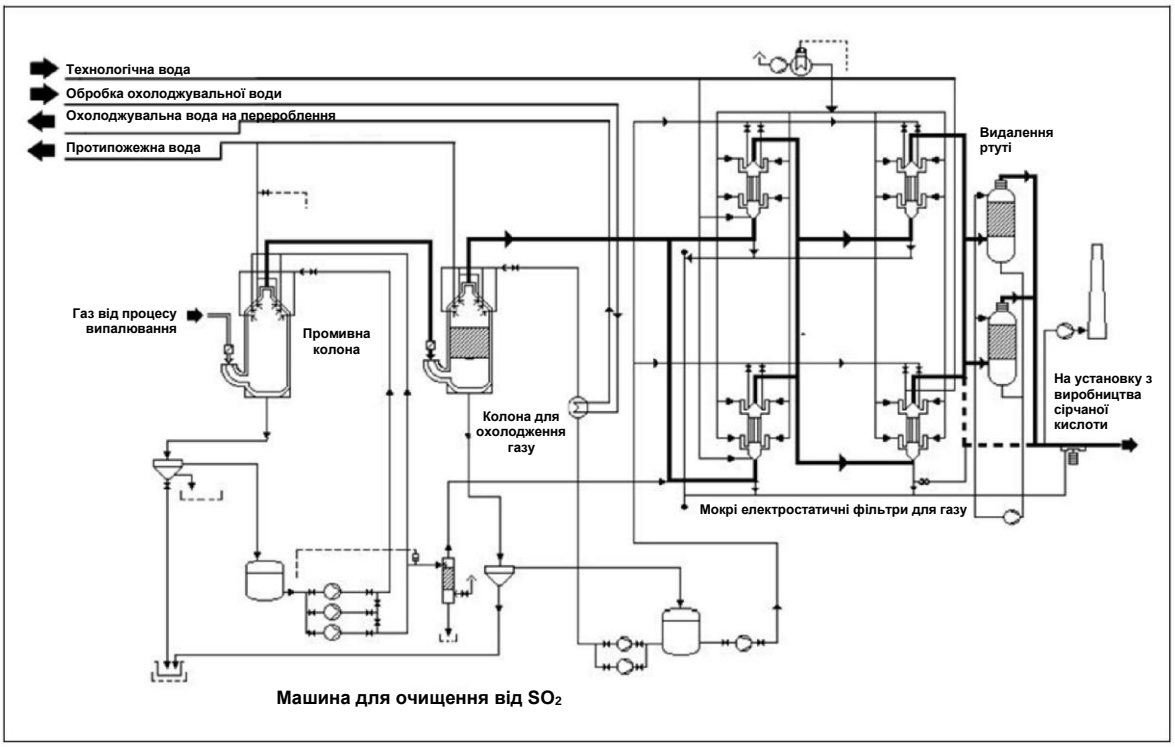


Рисунок 6.5: Етап очищення газу процесу випалювання 2: мокре очищення газу

Уловлені осади фільтруються, промиваються і частково переробляються (за можливості) і частково спрямовуються на регульовані звалища для небезпечних відходів.

Потім діоксид сірки перетворюється на сірчану кислоту у звичайній системі відновлення [11, Hatch Associates Ltd 1993] [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], [99, Hähre, S. 1998], [117, Krüger, J. 1999]. Відхідні гази від перетворення H_2SO_4 направляються у фільтри-свічки або скрубери для мінімізації залишкового кислотного туману у вигляді SO_3.

Стічні води лінії очищення газу обробляються на установках з очищення відпрацьованих вод.

Також можна стискати SO_2 газ до рідкого SO_2. Ця процедура застосовується на одній невеликій випалювальній установці в Іспанії.

6.1.1.3.2 Обробка обпаленого матеріалу

Оксид цинку (обпалений) безперервно збирається з печі, котла-утилізатора, циклонів (необов'язково) і електростатичних фільтрів і охолоджується в обертовому холодильнику або холодильнику з псевдозрідженим шаром. В обертовому (секційному) холодильнику теплообмін здійснюється шляхом контакту обпаленого матеріалу з поверхнею холодильника, що охолоджується водою, а в холодильнику з псевдозрідженим шаром рекуперація тепла відбувається за рахунок контакту обпаленого матеріалу як з псевдозріджувальним газом, так і з поверхнями, що охолоджуються водою. Обпалений матеріал, що підлягає охолодженню в обертовому холодильнику, надходить у вхідний циліндр холодильника за допомогою завантажувального пристрою (наприклад, лат, гвинтового конвеєра). Секційний холодильник по суті складається з обертового ротора, який переважно має ланцюговий привід. На кінцях ротора встановлені жорсткі кожухи для подання обпаленого матеріалу та вихідний отвір. Залежно від розміру холодильника ротор повертається або на кінцях власного валу, або спирається на бігові доріжки, що характерно для обертових барабанів. Внутрішня частина ротора складається з декількох секційних камер, розташованих подібно до шматочків пирога навколо центрального порожнистого валу. Ця конструкція повністю оточена водяною оболонкою. Секційні камери містять елементи конвеєра (лопаті, ланцюги тощо; також повідомлялося про холодильники з псевдозрідженим шаром).

Відхідні гази з холодильника направляються в котел-утилізатор або на лінію випалювання.

Пилоподібний обпалений матеріал, що виноситься газом від випалювання, охолоджується в котлі, збирається конвеєром Редлера і вивантажується разом з обпаленим матеріалом, що надходить з обертового холодильника або холодильника з псевдозрідженим шаром, в кульовий млин, який подрібнює його до потрібного розміру (приблизно 70% менше ніж 50 мкм).

Для запобігання викидам пилу в системі поводження з обпаленим матеріалом все обладнання підтримується під негативним тиском, що створюється аспіраційним вентилятором, а для уловлювання пилу зазвичай застосовується рукавний фільтр.

Перед спрямуванням на установку вилуговування обпалений матеріал тимчасово зберігається в силосі. З силосу обпалений матеріал спрямовується у секцію вилуговування шляхом пневматичного або гідравлічного транспортування.

6.1.1.3.3 Вилуговування

Вилуговування обпаленого матеріалу здійснюють в кілька послідовних етапів з використанням гарячої сірчаної кислоти, сила якої поступово збільшується. Початкові етапи (вилуговування нейтральним розчинником) здійснюється за низької кислотності та температури (зазвичай pH 4–4,5 і 50 ºC) і ще не розчиняють значних кількостей заліза. Процес вилуговування здійснюють у різних реакторах з використанням відкритих резервуарів, герметичних ємностей та ємностей під тиском або їх комбінацій [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], [99, Hähre, S. 1998], (see Figure 6.6).

При використанні вторинної сировини від обробки пилу дугових електропечей у процесі Вельцу, оксид процесу Вельцу необхідно попередньо промити для видалення хлоридів. Найчастіше цим займаються підприємства, що займаються обробкою пилу дугових електропечей у вельц-печах.

Розчин для вилуговування доповнюється розчином для вилуговування з етапу видалення осаду заліза. Якщо використовується лише невелика кількість вторинної сировини (< 10 % оксиду процесу Вельца), вторинну сировину можна додати після етапу випалювання.

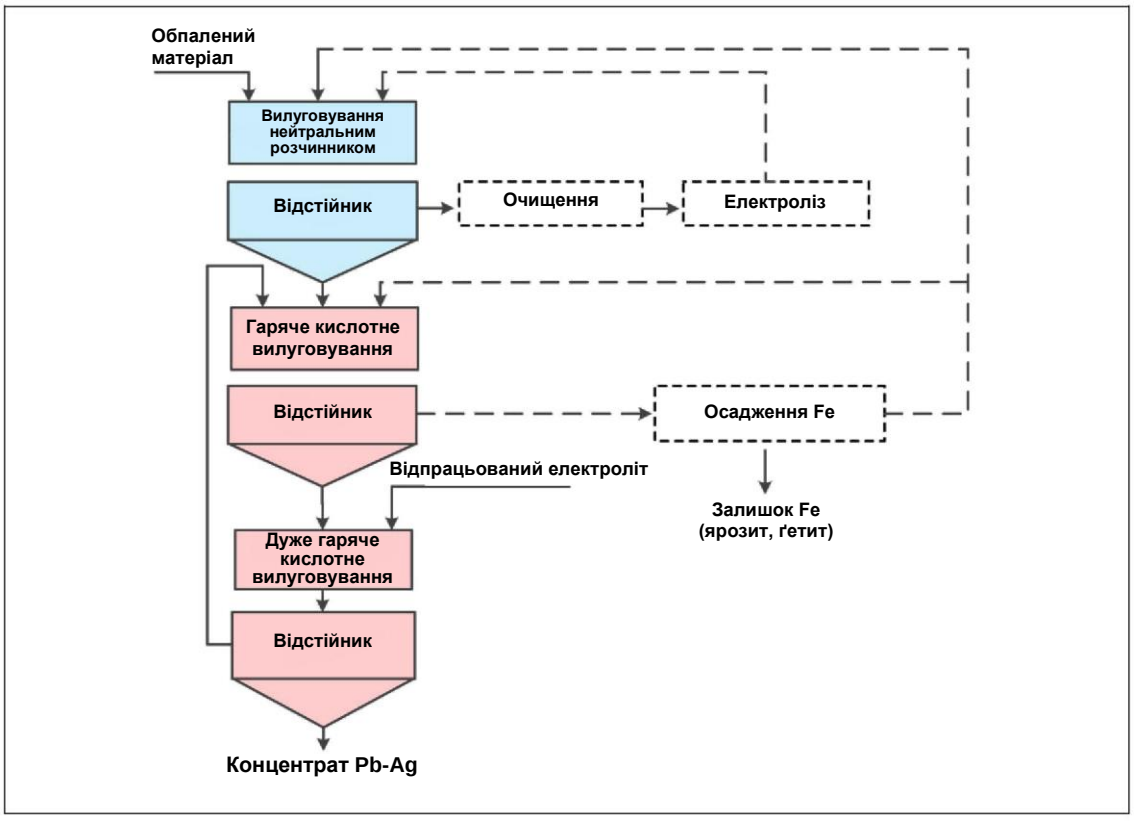


Рисунок 6.6: Спрощена схема процесу вилуговування

Залежно від того, присутні ферити цинку в обпаленому матеріалі чи ні, та після перших етапів вилуговування (вилуговування нейтральним розчинником в поєднанні зі слабокислотним вилуговуванням) вихід вилучення цинку з сировини в лузі від вилуговування може варіюватися від ~ 70 % до 95 %. Інші метали, такі як Cu, Cd, Co та Ni, також частково вилучаються. Отже, луг від вилуговування повинен пройти етапи очищення перед поданням в цех електролізу.

5–30 % цинку, що залишилися, вловлюються в залишку вилуговування разом з нерозчинними сполуками заліза і свинцю та іншими порожніми породами.

На додаток до резервуара-змішувача вилуговування також передбачає розділення твердої та рідкої фаз, що тягне за собою використання згущувачів/освітлювачів, а в деяких випадках також фільтрів та центрифуг. Зазвичай вакуумні або мембранні фільтри використовуються для відділення продуктів вилуговування та/або залишків заліза для остаточної утилізації. Доступні кілька варіантів подальшої обробки цього залишку.

Пряме вилуговування

Пряме вилуговування є процесом, у якому руди ZnS вилуговуються без попереднього окиснення в печі. Для отримання високого виходу цинку вилуговування здійснюють за вищих температур і з поданням кисню. Існують варіанти, які працюють під атмосферним тиском, а також є інші, що працюють під тиском в автоклавах. Останні вимагають дорожчого обладнання та більше заходів безпеки, але процес відбувається швидше.

Процес прямого вилуговування під атмосферним тиском має ряд переваг у порівнянні з традиційним процесом:

- процес може бути розроблений з економічної точки зору для менших потужностей;
- низькі інвестиційні витрати;
- його можна застосовувати для збільшення напівпікової потужності без великих інвестиційних витрат на піч для випалювання та установку з виробництва сірчаної кислоти;
- зниження витрат на технічне обслуговування;
- просте управління процесом (контроль кислотності та вмісту заліза);
- дуже гнучкий процес, що дозволяє використовувати різні методи видалення заліза;
- високий рівень вилучення цинку;
- низьке енергоспоживання: потрібне незначне нагрівання або зовсім не потрібне;
- відсутність ризику вибуху;
- відсутність викидів SO_2 або розплавленої сірки.

З іншого боку, є й недоліки:

- відсутність використання сірки чи рекуперації тепла екзотермічної реакції від випалювання;
- утворення залишку сірки, який необхідно утилізувати у відповідному ставі.

Процеси прямого вилуговування завжди інтегровані у традиційний процес RLE, і лише частина руд вилуговується прямо.

Відомо кілька заводів, які вилуговують частину концентрату прямим способом, без кальцинації. Процеси прямого вилуговування під атмосферним тиском встановлені на нових заводах Boliden у Кокколі (з 1998 р.) та Одді (з 2004 р.), а також у Чжучжоу у Китаї (з 2010 р.). Процес прямого вилуговування під тиском було встановлено заводі Korea Zinc, Онсан (з 1994 р.). На заводі Korea Zinc залізо залишається в розчині під час вилуговування і потім осаджується на окремому етапі у вигляді ґетиту, тоді як у Кокколі та Одді залізо осаджується у вигляді ярозиту одночасно з вилуговуванням сульфідів. У Чжучжоу залізо осаджується у вигляді ґетиту.

Концентрат разом з технологічним розчином та кислотою від електролізу подають у реактори, де відбувається вилуговування шляхом барботування кисню в суспензію. Решта розчиненого заліза в розчині після конверсії, та залізо, розчинене в концентраті, осаджуються у вигляді ярозиту. Сумарна реакція прямого вилуговування та одночасного осадження ярозиту може бути записана як:

$$3ZnS+3Fe_2(SO_4)_3+Na_2SO_4+9H_2O+1{,}5O_2=2Na(Fe_3(SO_4)_2(OH)_6)+3ZnSO_4+3H_2SO_4+3S$$

Концентрат сірки відокремлюють від суспензії шляхом флотації та зберігають окремо від залишку ярозиту. Цей концентрат сірки містить значну кількість домішок і утилізується у землю, що робить процес прямого вилуговування дуже індивідуальним для кожного конкретного об'єкта. Обладнання, що використовується в процесі, складніше, ніж те, що використовується в гідрометалургійному виробництві цинку.

Схема процесу вилуговування з інтегрованим прямим вилуговуванням під атмосферним тиском показано на Рисунку 6.7.

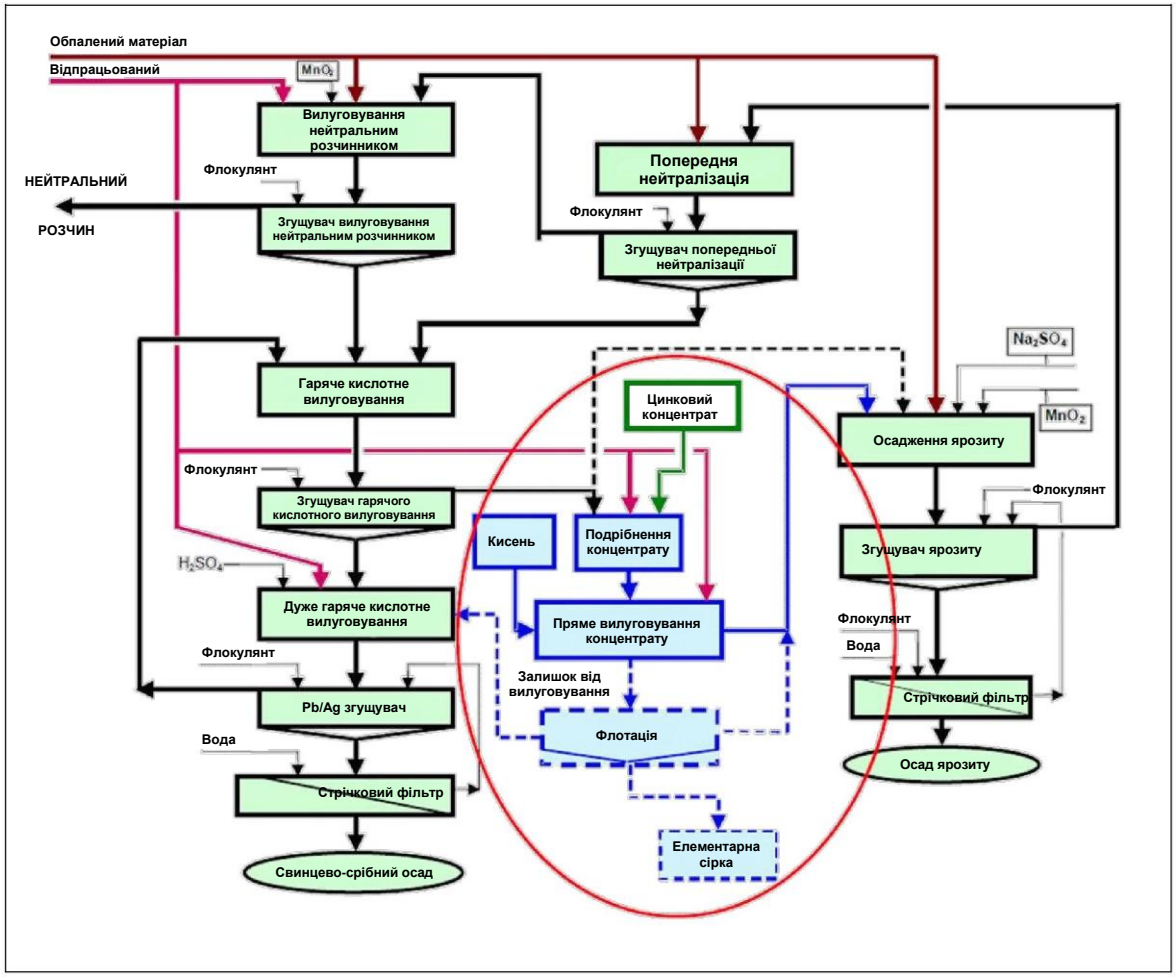


Рисунок 6.7: Схема процесу вилуговування з інтегрованим прямим вилуговуванням під атмосферним тиском для збільшення потужності заводу

Подальший опис процесу наданий у [283, Lahtinen et al. 2004]

6.1.1.3.4 Очищення

Видалення домішок з електроліту перед електролізом має ключове значення для якості осаду цинку. Очищення розчину, що містить цинк, можна здійснювати декількома способами з використанням цинкового пилу (для зменшення кількості та осадження металевих домішок) або вилученням розчинником (для вилучення чистого розчину $ZnSO_4$). Використовувані процеси залежить від концентрації різних металів, що містяться у сировині, і відповідно відрізняються.

6.1.1.3.4.1 Очищення з використанням хімічних речовин

Основні процеси хімічного очищення передбачають використання цинкового пилу для осадження таких домішок, як Cu, Cd, Ni, Co та Tl. Оскільки вони є більш благородними, ніж цинк, ці домішки відновлюються та утворюють металевий осад після додавання в розчин дрібнодисперсного цинкового пилу в результаті типової електрохімічної реакції:

$$Me^{2+} + Zn^{0} => Me^{0} + Zn^{2+} \qquad \text{де } Me^{2+} = Cu, Cd, Co, Ni, Tl \text{ або } Pb$$

Мідь та кадмій можуть легко осаджуватись з використанням цинкового пилу. Проте, кінетика осадження кобальту та нікелю дуже низька для промислового процесу і вимагає неекономічної кількості цинкового пилу. Тому використання додаткового осаджувального агента для видалення кобальту і нікелю є необхідністю; двома поширеними варіантами очищення цинку є так звані процеси з миш'яком (As) та сурмою (Sb), де іони As^{3+} та Sb^{3+} використовуються відповідно на додаток до цинкового пилу На прикладі використання миш'яку виникає таке рівняння реакції:

$$2\ As^{3+} + 2\ Co^{2+} + 5\ Zn \text{ -> } 2\ CoAs + 5\ Zn^{2+} \qquad \text{де Ni може замінити Co}$$

Цинковий пил, що використовується в процесі очищення, зазвичай виробляється на об'єкті з використанням катодного цинку, отриманого в результаті електролітичного процесу. Витрата цинкового пилу варіюється в залежності від заводів та процесів, і в діапазоні 1,5–6 % катодів використовуватиметься для очищення. На витрату цинкового пилу впливає не тільки технологічний маршрут, але й концентрація/кількість домішок в розчині, що обробляється. Хоча різні заводи можуть мати різні технологічні маршрути та схеми, основні хімічні реакції одні й ті самі.

У процесі на основі миш'яку використовується As_2O_3 для досягнення бажаної концентрації миш'яку в розчині. Оптимальна концентрація коливається від кількох мг/л миш'яку до 150 мг/л згідно з опитуванням на цинкових заводах у всьому світі у 2002 році (проведеному Boliden, Одда). Концентрований розчин триоксиду миш'яку можна приготувати, наприклад, з використанням каустичної соди або гарячої води. Спрощена схема наявного заводу надана на Рисунку 6.8 як приклад очищення на основі миш'яку Слід зазначити, що існують інші варіанти процесу на основі миш'яку, наприклад, з попереднім додатковим етапом видалення міді.

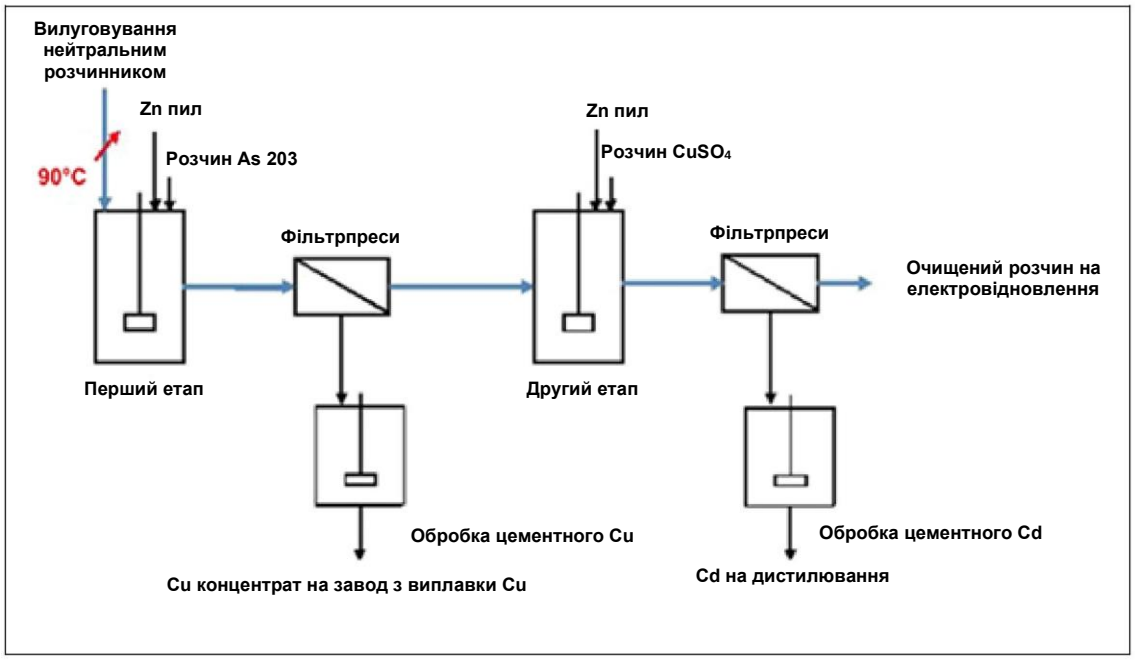


Рисунок 6.8: Зразкова схема процесу очищення на основі миш'яку для видалення Co та Ni

Для підтримання робочого місця у належному стані та без викидів миш'яку, під час приготування концентрованого розчину миш'яку необхідні спеціальне обладнання та обережність. As_2O_3 зазвичай транспортується в металевих бочках, і необхідно ретельно продумати спорожнення, подальше поводження та утилізацію цих бочок. Повністю закрита барабанна установка обробки, підключена до системи скрубера, може використовуватися, наприклад, для контролю викидів пилу. Порожні сталеві бочки перед утилізацією у якості брухту потребують ретельного очищення.

Через сильне відновне середовище в реакціях, що беруть участь у процесі, відбуваються побічні реакції, і відомо, що можуть утворюватися менші кількості AsH_3 (арсин), який виходить з реакторів. Щоб уникнути викиду AsH_3 через димову трубу/вентиляційне повітря, зазвичай AsH_3 (газ) окислюють назад до As^{3+} за допомогою $KMnO_4$ або очищення сірчаною кислотою. Потім миш'як уловлюватиметься і повторно вводитиметься в технологічну рідину або піддаватиметься спеціальній обробці.

Потім миш'як виходить із процесу як компонент побічного продукту міді, який продається на мідеплавильний завод для вилучення металів. Як альтернатива, його можна вилуговувати з побічного продукту за допомогою каустичної соди та стабілізувати в циклі вилуговування для утилізації шляхом захоронення у якості компонента залишку заліза.

У Європі на Заводі A застосовується процес на основі миш'яку.

У процесах на основі сурми зазвичай використовується тартрат сурми для додавання сурми до технологічного розчину. Концентрації зазвичай перебувають у межах кількох міліграмів Sb^{3+} на літр. На Заводі D добавки сурми варіюються від 3 мг/л до 4 мг/л за найбільш вірогідних умов.

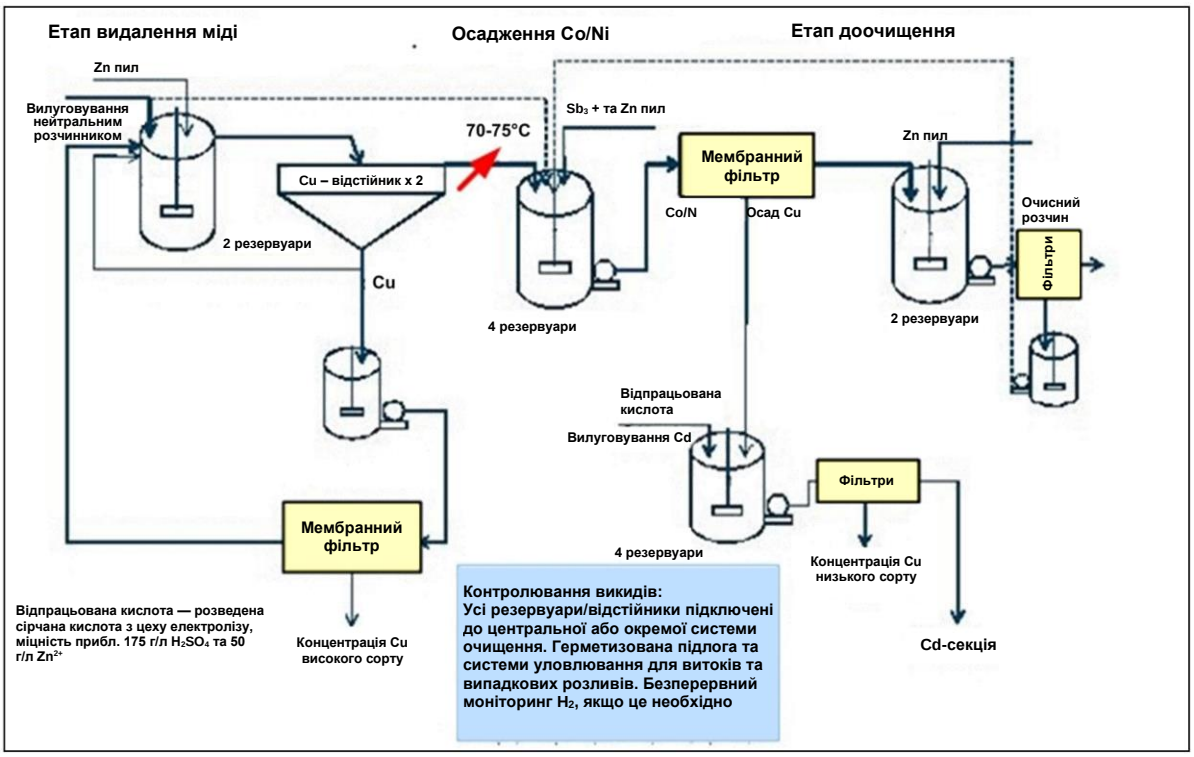


Рисунок 6.9: Схема процесу очищення на основі Sb на Заводі D

На Заводі D концентрований/дозувальний розчин виготовляється у концентрації приблизно до 4 г/л Sb^{3+} (у воді) у напівавтоматичному пристрої для спорожнення бочок, яке використовує воду для спорожнення/вимивання вмісту 25-кілограмової сталевої бочки у контейнер для зберігання/мішалку. Маленька бочка має внутрішній пластиковий мішок, що містить тартрат сурми. Метал зі спорожненої бочки надходить у муніципальну систему перероблення. Викид сурми у цьому процесі вважається незначним.

У Європі Заводи B, C, D, E та F застосовують процес на основі сурми.

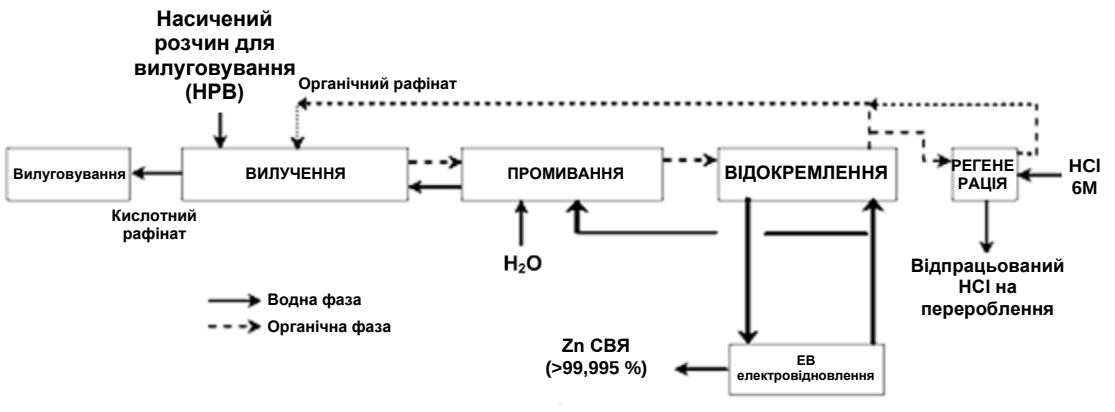
Як у процесах на основі миш'яку, так і в процесах на основі сурми невелика кількість газоподібного водню (H_2) також утворюватиметься в реакторах через відновне середовище, яке, своєю чергою, має підтримуватися нижче НКГВ (нижня концентраційна границя вибуховості), щоб уникнути ризику вибуху/пожежі. Це, звичайно, призводить до необхідності примусової вентиляції реакторів, щоб завжди підтримувати низький рівень H_2 у відхідних газах. Безперервний моніторинг рівнів водню здійснюється пробовідбирачами для відбору проб у потоці.

Через сильний відновлювальний характер етапів очищення (добавки цинкового пилу) поєднання небажаних умов може призвести до утворення водню. Відповідно, здійснюється безперервний моніторинг появи арсину або стибіну. Проте, нині більшість заводів вдосконалили умови процесу, щоб уникнути небезпечних умов з утворенням арсину чи стибіну.

Через збільшення кількості вторинної сировини проблема підвищення концентрації кальцію в циклі вилуговування вирішується шляхом видалення гіпсу з розчину для вилуговування. Для видалення магнію, хлоридів та фторидів може здійснюватися окрема та періодична обробка частини потоку розчину (зливу). Відомо, що можна утворювати меншу кількість AsH_3 (арсину). Безперервне видалення кобальту ефективніше для мінімізації викидів арсину, ніж періодичне видалення. Уловлювання та очищення газів, що викидаються, залежить від загальної технології (можуть використовуватися операції на відкритому повітрі або в закритих приміщеннях), але відомо, що найбільш ефективним є очищення газів з реакторів з використанням окиснювального розчину для видалення арсину [136, Fugleberg, S. 1999].

6.1.1.3.4.2 Очищення з використанням технології вилучення розчинником

Електроліт також можна концентрувати та очищати з використанням системи вилучення розчинником, такої як процес Modified Zincex™ (див. Додаток 13.1.7.4). У цьому процесі цинк вибірково вилучається в розчинник, такий як ді(2-етилгексил)фосфорна кислота, у спеціальному гасі для очищення та вдосконалення насиченого розчину для вилуговування (НРВ). Використання вилучення розчинником означає, що інші метали не переносяться в електроліт. Кальцій, магній та галогеніди, що заважають етапу електровідновлення, також видаляються. Потім цинк відокремлюють від органічної фази, використовуючи відпрацьований електроліт процесу електровідновлення цинку, щоб отримати очищений електроліт [327, Gnoinski et al. 2008]. Хоча цей процес переважно використовується для обробки вторинних цинкових матеріалів, таких як оксид процесу Вельца, його також можна використовувати для концентрування слабких цинкових розчинів, таких як розчини, отримані шляхом вилуговування оксидних руд, та для очищення цинкових розчинів, отриманих під час перероблення цинкових/марганцевих акумуляторів. Основними етапами установки вилучення розчинником є вилучення, промивання, відокремлення та органічна регенерація, як показано на Рисунку 6.10.



Примітка: ЕВ = Електровідновлення
СВЯ = спеціальний високоякісний

Рисунок 6.10: Спрощена схема процесу Modified Zincex™ вилучення розчинником

Водний кислий рафінат цинку, що виходить з етапу відновлення, повертається в секцію вилуговування після видалення залучених органічних речовин. Невелика частина прямує до секції очищення зливу для балансування компонентів циклу.

Типова витрата становить 50 $м^3$/год на тонну виробленого цинку.У Таблиці 6.1 показано витрати реагентів та комунальних послуг для процесу вилучення розчинником.

Таблиця 6.1: Витрати основних реагентів та комунальних послуг у модифікованому процесі Modified Zincex™

Компонент	Одиниці вимірювання	Витрата на тонну виробленого цинку
NaCl	кг	16
Активоване деревне вугілля	кг	0,9
D_2EHPA	кг	0,7
Гас	кг	8
Демінералізована вода	$м^3$	3
Електроенергія (за виключенням процесу електролізу)	кВт-год	115
Джерело: [399, IZA 2012]		

Заявлено, що технологія вилучення розчинником:

- зменшує утворення твердих залишків та рідких відходів;
- економить енергію в електролітичному процесі, оскільки нижча напруга камери може використовуватися з чистішим електролітом, отриманим у процесі вилучення розчинником;
- потребує меншу потужність електровідновлення цинку для того ж рівня виробництва, тому що дуже чистий електроліт не вимагає очищення цинковим пилом.

На момент написання (2014 р.) лише один завод, розташований у Намібії, використовує цей процес із первинними матеріалами. Цей завод працює зі спеціальним концентратом з дуже високим вмістом марганцю, що унеможливлює його обробку на наявному заводі з рафінування цинку. В цьому конкретному випадку процес вилучення розчинником розв'язав питання використання цього відкладення спеціального оксиду цинку низької якості.

6.1.1.3.5 Електроліз

Очищений розчин після процесів цементації або вилучення розчинником надходить у цех електролізу, де цинк вилучається шляхом електровідновлення з використанням свинцевих анодів та алюмінієвих катодів. Цинк осідає на катодах, а кисень утворюється на анодах, де також утворюється сірчана кислота, яка повертається на етап вилуговування. Під час цього процесу утворюється кислотний туман, і для його мінімізації можна використовувати різні покриття або захисне покриття шару піни у камерах. Вентиляційне повітря корпусу камери може бути очищене від туману, кислотний туман може бути відновлений. Під час електролізу виділяється тепло, яке видаляється у циклі охолодження, який призначений для оптимізації водного балансу процесу, але може бути додатковим джерелом утворення туману.

Отриманий цинк осідає на алюмінієвих катодах і видаляється шляхом обдирання катодів зазвичай щодня. Для плавлення застосовуються низькочастотні індукційні печі [117, Krüger, J. 1999]. Невелика частина виробленого цинку переробляється на цинковий пил для етапів очищення. Це може бути забезпечено за допомогою повітря, води або відцентрового розпилення потоку розплавленого цинку або конденсації парів цинку в інертній атмосфері.

6.1.1.3.6 Обробка залишків від вилуговування нейтральним розчинником та утилізація залишків заліза

Однією з основних проблем гідрометалургійного технологічного маршруту є утилізація, або подальше використання, або обробка осадженого заліза. Сьогодні для безпечної утилізації використовуються спеціальні місця локалізації, але тиск на варіанти утилізації зростає. Цей фактор обговорюється пізніше й оцінюються варіанти. Розробляються кілька підходів, які допоможуть уникнути цих залишків або знайти їм відповідне застосування. Різні варіанти показані Рисунку 6.13.

6.1.1.3.6.1 Пірометалургійна обробка залишку від вилуговування нейтральним розчинником

Вилуговування може бути зупинено після вилуговування нейтральним розчинником через низьку концентрацію заліза або коли вибір обумовлений місцевими умовами. Залишок після вилуговування можна відправити в піч ISF або будь-яку іншу високотемпературну плавильну піч і додати там до сировини процесу. Цинк, свинець, срібло та інші цінні метали вилучаються у вигляді металів, а сірка — у вигляді H_2SO_4 (за умови, що установка виробництва сірчаної кислоти підключена до газового потоку з печі).

Залишок від вилуговування можна також обробляти у вельц-печі або печі для випарювання цинку, але в цьому випадку необхідна абсорбція SO_2. Цинк і свинець вилучаються у вигляді оксидів і сульфатів, і в цьому випадку шлак може бути оброблений шляхом флотації для вилучення срібла та міді. Через закриття багатьох європейських заводів, що використовують піч ISF (Німеччина, Франція та Велика Британія) та обмежену доступність європейських заводів, що використовують процес Вельца з етапом адсорбції SO_2 (Польща та Болгарія) потужність пірометалургійної обробки залишку від вилуговування нейтральним розчинником обмежена. Залишок від вилуговування нейтральним розчинником на більшості заводів піддається гідрометалургійній обробці.

6.1.1.3.6.2 Гідрометалургійна обробка залишку від вилуговування нейтральним розчинником

Основною метою гідрометалургійної обробки є вилуговування фериту цинку, яке ефективно відбувається лише за високої кислотності та температури вище 90 ºC. Ця обробка залишку від вилуговування передбачає зворотну послідовність етапів з підвищенням рівня кислотності та температури.

Суспензія з кінцевої стадії вилуговування відстоюється, а розчин, що зливається, у зустрічному напрямку відводиться назад через попередні етапи процесу. Тверду речовину в нижньому зливі фільтрують та промивають на фільтрі. Осад на фільтрі утилізують, а фільтрат повертають у процес. Залежно від таких факторів, як вибір процесу видалення заліза та доступних інтегрованих процесів вилучення домішок, використовуються різні схеми.

Наприклад, більш-менш глибока обробка залишку після вилуговування здійснюється шляхом подальшого вилуговування або за допомогою технологій фізичного розділення перед його утилізацією [117, Krüger, J. 1999]. Це відбивається на показниках вилучення та складі можливих свинцевих або свинцево-срібних побічних продуктів.

Крім цинку, в процесі вилуговування розчиняються й інші метали. Залізо є основною домішкою й осаджується у трьох основних формах; ярозит, ґетит або гематит. Форма цих осадів використовується, щоб дати назви процесам [98, Lijftogt, J.A. et al 1998] [99, Hähre, S. 1998].

Різні процеси осадження залишків заліза є такими:

- **Ярозит**, із використанням аміаку або іншого одновалентного катіона та обпаленого цинка для нейтралізації. Залежно від того, чи здійснюється вилучення свинцю та срібла, використовується до трьох етапів. Також використовується одноетапний процес відомий як процес перетворення.
- **Ґетит**, з використанням сульфіду цинку для попереднього відновлення, кисню для повторного окислення та обпаленого цинку для нейтралізації.

- **Гематит**, з використанням діоксиду сірки або сульфіду цинку для попереднього відновлення та автоклаву з киснем для осадження. У цьому випадку утворюється залишок сірки, а також залишок заліза.

Основні відмінності осадів заліза полягають у їх обсязі та легкості фільтрування. Існують також значні відмінності у капітальних та експлуатаційних витратах у технологічному процесі [117, Krüger, J. 1999]. На їхній баланс із витратами на утилізацію залишків можуть впливати витрати, не пов'язані з технологічним процесом. Процес з гематитом вважався дуже заманливим, оскільки обсяг залишку був меншим, а гематит був потенційною сировиною для отримання заліза. Проте, цей процес виявився нежиттєздатним, а гематит — неприйнятним для чорної металургії.

Повідомлялося також [136, Fugleberg, S. 1999], що процес з ярозитом здатний забезпечити високий рівень вилучення цинку навіть з концентратами, що містять 10 % заліза. Аналогічні рівні вилучення в процесі з ґетитом залежать від низького вмісту заліза в обпалені фракції (або ZnO), яка використовується для осадження на етапі гідролізу.

Традиційні процеси видалення залізистих ґетиту та ярозиту показано на Рисунку 6.11 та Рисунку 6.12.

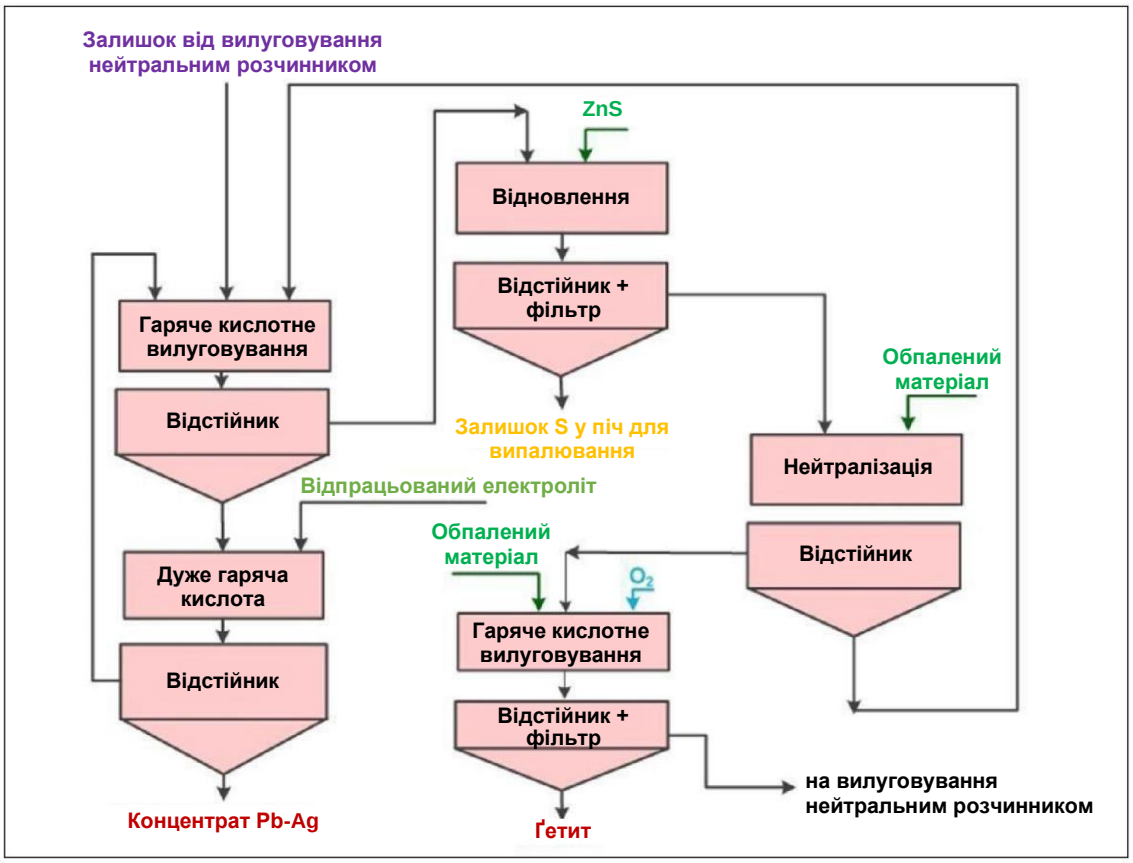


Рисунок 6.11: Приклад схеми обробки залишку вилуговування у процесі ґетитом

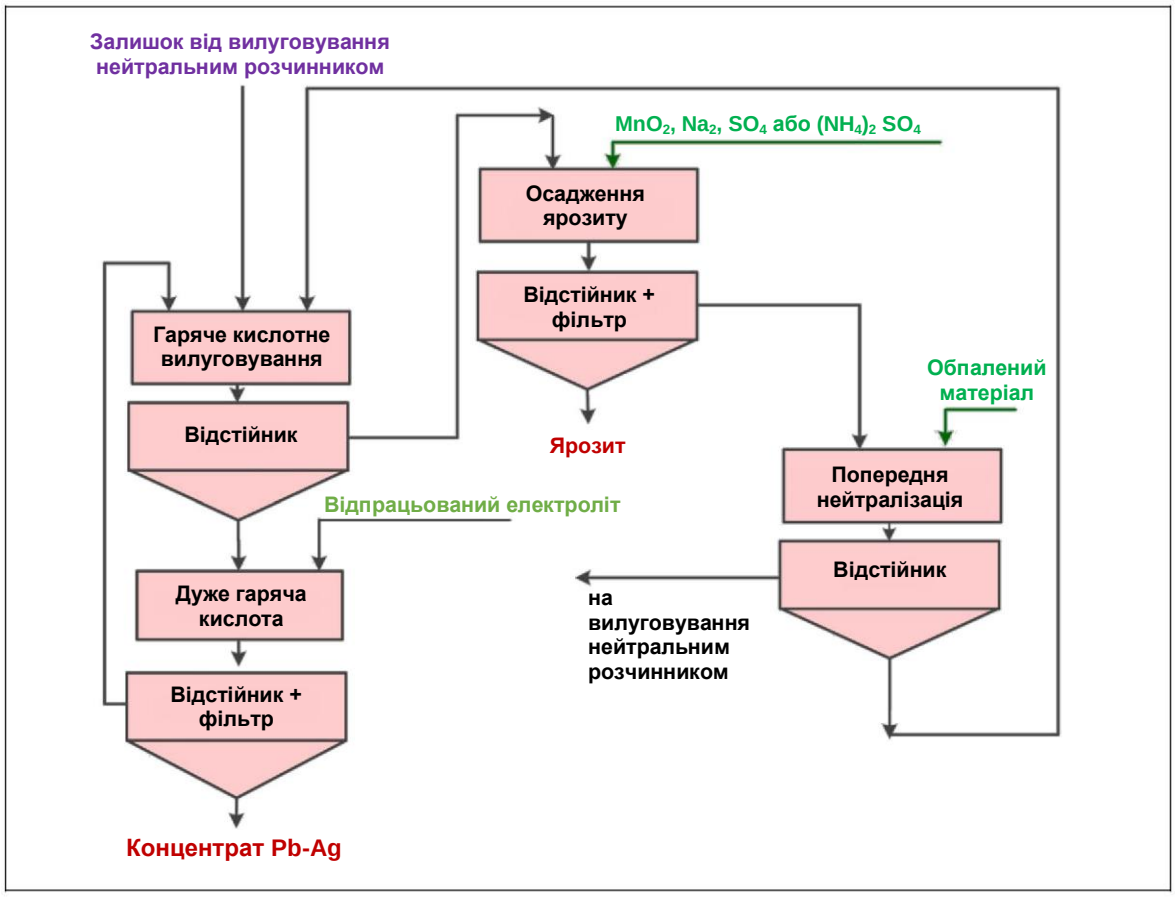
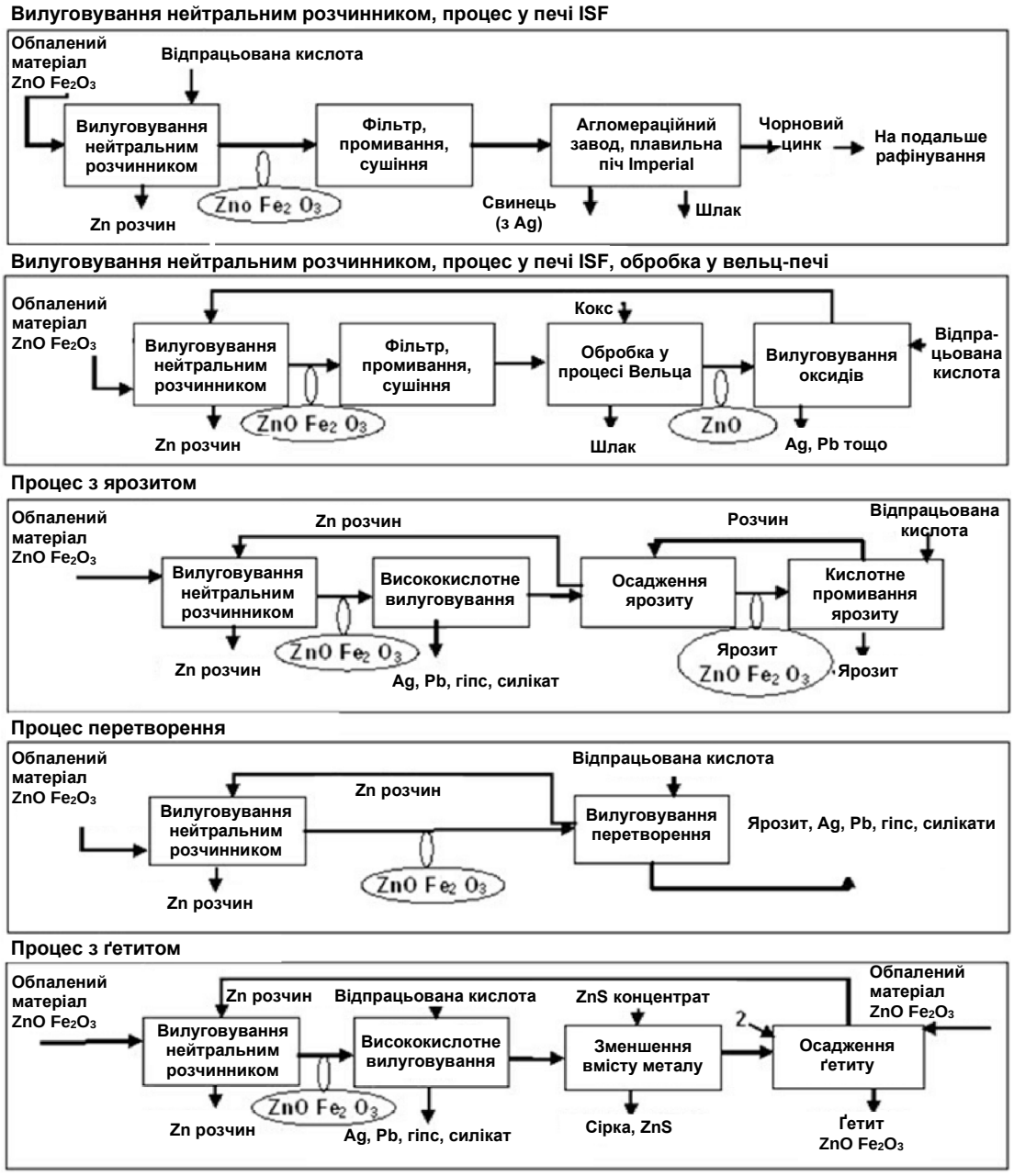


Рисунок 6.12: Приклад схеми обробки залишку вилуговування у процесі ярозитом

Який би залишок не утворювався у різних варіантах процесу, вихід цинку максимально збільшується шляхом ретельного промивання залишку.

Залишки з високим вмістом заліза зберігаються у повністю герметизованих зонах утилізації, зазвичай, на об'єкті або поруч із ним, щоб ізолювати їх від ґрунту або поверхневих вод. Застосовується також екологічно безпечне зберігання у кавернах. Вода із зони зберігання зазвичай повертається до технологічного процеса. Відбувались розробки, спрямовані на те, щоб зробити зберігання залишків більш ефективним та прийнятним шляхом фіксації в процесі Jarofix або шляхом ущільнення.



Джерело: [136, Fugleberg, S. 1999]

Рисунок 6.13: Спрощені схеми деяких процесів видалення заліза

Завод з рафінування цинку за процесом RLE компанії Nyrstar у Бюделі (Нідерланди) працює на концентратах з низьким вмістом заліза із рудника Century в Австралії. Використання концентратів з низьким вмістом заліза дозволяє отримати залишок від вилуговування, що містить набагато менше цинку та заліза і, отже, з більшою концентрацією свинцю та срібла. Тому залишок від вилуговування на заводі в Бюделі піддається подальшій обробці в пірометалургійному процесі для вилучення свинцю, срібла та інших металів. Ця обробка виконується за допомогою пристрою для перероблення Pb-Ag-PM. Отже, на заводі в Бюделі немає залишків заліза, який необхідно утилізувати у став.

На жаль, такий процес з використанням концентратів з низьким вмістом заліза не може бути застосований на всіх заводах, оскільки на ринку є лише дуже обмежена кількість концентратів з низьким вмістом заліза. Частина цієї кількості використовується більшістю заводів, що застосовують процес RLE, для етапу відновлення для мінімізації втрати цинку. Оскільки рудник Century виснажується, заводу стане важче працювати на 100 % концентратах з низьким вмістом заліза.

6.1.2 Вторинний цинк

Вторинний чи перероблений цинк становить приблизно 30 % річного споживання цинку у Європі. Приблизно 50 % цього вторинного цинку переробляється у промисловості. Це особливо стосується галузі гальванізації та латуні; брухт, що утворюється під час виробництва або перероблення продукції, може переробляться майже одночасно.

До залишків та брухту, які актуальні та важливі для виробництва вторинного цинку, відносяться:

- пил з виробництва міді та мідних сплавів;
- шлак від обробки міді та свинцю;
- залишки із галузі лиття під тиском;
- зола, донний та верхній дрос з галузі гальванізації;
- стара покрівля та інші листові матеріали;
- фракції кольорових металів від подрібнення старих автомобілів та інших продуктів, що переважно містять сталь;
- пил від виробництва сталі та чавуну за технологією електричної дуги;
- залишки від хімічного використання цинку та від згорілих покришок.

Технологічний маршрут, що використовується для вилучення цинку, залежить від форми та концентрації цинку, а також ступеня забруднення [117, Krüger, J. 1999]. Різні процеси застосовуються для металевих, змішаних металевих/оксидних та оксидних потоків.

6.1.2.1 Загальні процеси

Застосовуються технології фізичного розділення, плавлення та інші технології високотемпературної обробки. Залишки з високим вмістом цинку використовуються для виробництва металевого цинку, спеціального високосортного цинку, цинкових сплавів, оксиду цинку або продуктів з високим вмістом цинку. Нечисті метали або сплави можуть бути очищені, наприклад, у дистиляційній колоні, для отримання спеціального високосортного цинку або високоякісного оксиду, або вони використовуються безпосередньо у процесі вторинного відновлення. Якщо присутні хлориди або інші галогеніди, їх видаляють перед виробництвом цинку за допомогою гідрометалургійних процесів через їх агресивні характеристики [117, Krüger, J. 1999], [202, Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente 1999].

На заводах із перероблення цинку візуальний огляд застосовується для видалення небажаних предметів, таких як чоботи, взуття, рукавички, пластмаса, дерево та сталевий дріт, які часто зустрічаються в цинковій золі, що отримується від наступних споживачів. Усі ці предмети, які знаходяться в бункері для цинкового брухту, необхідно видалити.

Для розділення змішаного металевого брухту найпоширенішою технологією фізичного розділення є магнітне розділення для видалення залізних елементів. Технології ручного та механічного розділення використовуються для попередньої обробки потоків відходів, такої як видалення акумуляторів, ртуті тощо з електронного обладнання відповідно до Директиви щодо відпрацьованого електричного й електронного обладнання.

Ручне та механічне розділення застосовуються для видалення домішок зі старого цинкового брухту. Розділення дає змогу відновлювати більше металів у спеціальних процесах.

Розділення у важкому середовищі й відносній щільності (занурення/спливання) використовується в промисловості з переробки брухту, але може зустрічатися й у кольоровій металургії, наприклад, під час переробки акумуляторного брухту для видалення пластикового матеріалу. У цьому випадку різниця в щільності та розмірах різних фракцій використовується для розділення металів, оксидів металів та пластикових компонентів за допомогою водного шару.

Магнітне розділення використовується для видалення шматків заліза, щоб зменшити забруднення сплавів. Як правило, над конвеєрами використовуються надстрічкові магніти.

Похилі поди у відбивній печі використовуються для плавлення цинку, свинцю та алюмінію, щоб залишити важкі домішки з вищою температурою плавлення (наприклад, залізо) на поді для подальшої обробки.

Рухомі електромагнітні поля (розділення вихровим струмом) використовуються для відділення алюмінію від інших матеріалів. Різновид цієї технології використовує це рухоме електромагнітне поле для перекачування розплавленого алюмінію або інших металів без прямого контакту між металом і механічними деталями.

Інші технології розділення передбачають використання кольорових, УФ, ІЧ, рентгенівських, лазерних та інших систем виявлення в поєднанні з механічними або пневматичними сортувальними машинами. Вони використовуються, наприклад, для відокремлення нікель-кадмієвих акумуляторів від інших типів акумуляторів, і технології все ще розробляються для інших галузей застосування.

Деталі процесу часто є конфіденційною інформацією, але приклади цих конкретних типів обробки наведені нижче.

- Зола гальванізаторів, що утворюється під час гальванізації заготівок, дроту та труб, по суті є сумішшю металевого цинку та оксиду цинку. Наявність різних сполук металів пов'язана з вибраними легувальними елементами ванни гальванізації. Вони подрібнюються в кульовому млині для виділення фаз. Розділення здійснюється шляхом продування млина потоком повітря для захоплення неметалевих компонентів, які потім уловлюються тканинним фільтром. Крім того, в млин вбудоване сито, яке пропускає дрібнодисперсну неметалеву фракцію, але утримує грубодисперсну металеву фракцію. У будь-якому випадку металева фракція вивантажується з млина, розплавляється та відливається в виливки для продажу, повторного використання або подальшої обробки.
- Донний дрос (також іменований твердим цинком або цинковим припоєм) є цинково-залізною сумішшю інтерметалічних фаз з деякими окремими металевими частками, які також містять деяку кількість свинцю. Він утворюється в печах витримки та резервуарах, що використовуються для періодичної гальванізації, і накопичується. Якщо його не видалити, якість цинкового покриття погіршиться, і можуть виникнути засмічення, тому застосовуються автоматичні системи видалення. Верхній дрос є сплавом цинку, заліза й алюмінію, що утворюється в результаті безперервної гарячої гальванізації шляхом занурення. Дрос або знімання та інші залишки виробництва лиття під тиском містять суміш металевого цинку та оксиду цинку з невеликим вмістом хлоридів або без них. До цих матеріалів застосовуються схеми обробки, описані вище. Те ж саме стосується старих покрівельних та інших листових матеріалів, а також залишків хімічного використання цинку або продуктів з цинку.
- В результаті перероблення автомобілів, строк експлуатації яких закінчився, на серії млинів утворюються залишки від подрібнення. Після видалення неметалевої фракції фракція кольорового металу відокремлюється від інших продуктів на основі сталі за допомогою магнітного розділення. Потім для обробки використовується розділення у важкому середовищі та інші технології з подальшим селективним плавленням для вилучення цинку.
- Цинковмісний пил (оксидна суміш) може подаватися в клінкерну піч, де галогени та свинець, що залишилися, видаляються шляхом нагрівання до 1000 ºC. Після обробки у печі ZnO підходить для використання як сировина на заводі з виплавки цинку без подальшої обробки.

Залишки плавляться у два етапи у відбивній печі, що працює на газі. На першому етапі свинець плавиться за температури 340 °C, після чого випускається і відливається в виливки. На другому етапі температуру підіймають до 440 °C, цинк плавлять, випускають та відливають у виливки. В альтернативному процесі використовується обертова піч непрямого нагріву з перфорованою внутрішньою футерівкою. Цинк плавиться і витікає через футерування в піч витримки, звідки відливається у виливки. Завжди необхідна подальша обробка.

6.1.2.2 Процеси вилучення розчинником вторинного цинку

Див. опис у Розділі 6.1.1.3.4.2.

Етап вилучення розчинником використовується для отримання цинку з нечистої вторинної сировини, такої як акумулятори. До інших джерел вторинних цинкових матеріалів відносяться пил та дим від пірометалургійних процесів (наприклад, мідеплавильних заводів, дугових електропечей для виробництва сталі тощо); процесів спалювання (наприклад, спалювання побутових відходів, спалювання відпрацьованих покришок тощо); та вторинні оксиди цинку з процесів ф'юмінгування, наприклад, у вельц-печі та печі Primus.

Що стосується вторинної сировини процес передбачає підвищення якості та очищення насиченого розчину для вилуговування шляхом вилучення розчинником для відділення галогенідів і металів з цинкового розчину. Отриманий очищений електроліт можна використовувати у традиційному процесі електровідновлення.

Цей процес використовувався на деяких заводах в Іспанії для вилучення цинку з вторинних матеріалів (всі ці заводи зараз закриті). Зараз (2014) цей процес використовується на заводі в Акіті (Японія) для вилучення цинку з різних вторинних матеріалів оксидів цинку. Також повідомлялося, що нещодавно введений в експлуатацію завод з рафінування цинку, розташований у Портовесме (Італія), використовуватиме його для обробки оксиду процесу Вельца, і що у Форест-Сіті (США) здійснюється ще один проєкт.

6.1.2.3 Вельц-печі

Оксид процесу Вельца є проміжним продуктом з високим вмістом цинку для використання в процесах відновлення цинку. Його отримують із залишків, зокрема, з пилу з дугових електропечей для виробництва сталі. Можна використовувати вельц-печі та шлаковипарні печі.

Процес призначений для відділення цинку та свинцю від інших матеріалів шляхом відновлення, випаровування та окиснення цинку та свинцю [99, Hähre, S. 1998], [117, Krüger, J. 1999]. Пил від виробництва сталі за технологією електричної дуги (пил з дугової електропечі), інші матеріали з високим вмістом цинку, коксовий дріб'язок та матеріали, що містять CaO, зберігаються окремо. Для досягнення оптимальних умов процесу сировина може бути гомогенізована та гранульована. Потім вона відправляється безпосередньо в систему подання в піч або на проміжне зберігання. Вагове дозувальне обладнання може використовуватися для контролю кількості відновлювальних матеріалів (коксу), залежно від вмісту цинку в сировині, та флюсів для отримання необхідної якості шлаку. Існують деякі варіації процесу залежно від досягнутої основності шлаку [99, Hähre, S. 1998], [117, Krüger, J. 1999].

Нормальна робоча температура всередині печі становить близько 1200–1400 °C. Всередині печі тверді матеріали спочатку висушуються, а потім нагріваються зустрічним потоком гарячого газу і контактують зі стінками з вогнетривкою футерівкою. Залежно від нахилу, довжини та швидкості обертання матеріал в середньому знаходиться у печі від 4 до 6 годин. У високого рівня відновлювальній атмосфері твердого шару відновлюються цинк, свинець та інші метали. Цинк і свинець випаровуються в газ, а хлориди та луги випаровуються разом з іншими леткими металами та елементами. Через надлишок повітря в печі відбувається окиснення парів металу. Змішані оксиди витягуються з печі з технологічними газами та відокремлюються в системі очищення газу (див. Рисунок 6.14).

Традиційний базовий процес Вельца застосовується на Заводі I. На цьому заводі шихта, що складається з матеріалу з дугової електропечі та містить 13–30 % цинку, змішується з вугіллям і вапном і подається у вельц-піч. Піч має довжину 60 метрів, внутрішній діаметр 3,6 метра, нахил 2 % і звичайну швидкість обертання 1 об/хв. Всередині печі твердий матеріал транспортується від сторони завантаження до сторони вивантаження через обертання печі та її нахилу.

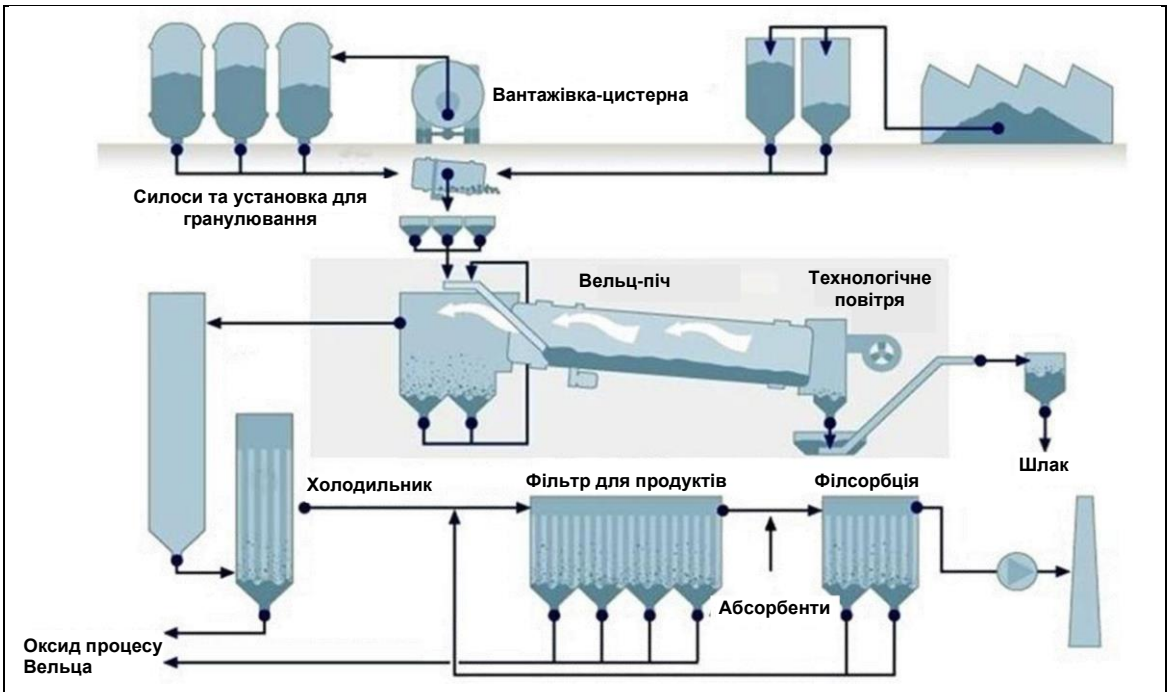
Процес SDHL (названий на честь його винахідників: Зааге, Діттріха, Хаше і Лангбейна (Saage, Dittrich, Hasche and Langbein)) є вдосконаленням традиційного процесу Вельца з використанням системи основного шлаку з додаванням етапу повторного окислення заліза в кінці для зниження споживання енергії та підвищення виходу цинку та продуктивність [246, France 2008]. Він був запатентований у 2000 році. Його можна допрацювати для

наявних заводів, що використовують процес Вельца. У традиційному процесі Вельца кокс подають зі швидкістю, що перевищує стехіометричні вимоги, що призводить до утворення залишкового коксу в шлаку. У процесі SDHL кокс додається субстехіометрично (лише близько 70 % необхідного коксу), а частина металевого заліза реокиснюється в кінці печі шляхом спрямованого додавання повітря для забезпечення додаткового технологічного тепла.

Завдяки вивільненню енергії під час окиснення заліза за умов нормальної роботи не потрібне додаткове введення природного газу. Можливе зниження витрати коксового дріб'язку до 40 % і досягнення вищої продуктивності, вищого показника вилучення цинку та зменшення викидів CO_2. [234, UBA (D) 2007]

Результати показують, що система основного шлаку (отримана шляхом додавання вапна в шихту) забезпечує зниження вмісту ПХДД/Ф приблизно в 10 разів, також можлива фіксація фтору в шлаку на 60 % і збільшення строку служби футерівки.

Система очищення газу зазвичай має відстійну камеру для видалення грубодисперсного пилу, що переноситься механічним шляхом і повертається безпосередньо назад у піч. Гарячі технологічні гази охолоджуються за допомогою різних холодильників прямої або непрямої дії. Для відокремлення оксиду процесу Вельца від охолоджених газів використовується електростатичний фільтр або тканинний фільтр. За необхідності використовуються технології мінімізації та видалення ПХДД/Ф. На заводах, що використовують процес Вельца, адсорбент, що містить оксид та буре вугілля або активоване вугілля, використовується у двоетапному процесі. Для мінімізації викидів ЛОС можна використовувати камеру допалювання.



Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Рисунок 6.14: Схема процесу Вельца

Шлак, що утворився, безперервно вивантажується з кінця печі в систему швидкого водяного охолодження. Після охолодження та просіювання шлак з процесу SDHL використовується як будівельний матеріал для полігону для захоронення, а також може використовуватися як матеріал у цивільному будівництві, наприклад, для будівництва доріг, після відповідних випробувань на вилуговування.

Шлак із процесів Вельца, що використовується для обробки залишків з процесів виробництва цинку, може бути оброблений за допомогою процесу флотації після дроблення шлаку. У процесі флотації утворюється частина з високим вмістом міді, яка повертається до мідеплавильного заводу або свинцевого плавильного заводу для

вилучення металу. Цей метод використовується в тих випадках, коли хвости можуть бути належним чином оброблені (див. ДДНДТ «Поводження з відходами та порожніми породами гірничодобувної промисловості»).

Отриманий оксид процесу Вельца можна обробляти кількома способами. Основний процес — це гаряче брикетування або спікання для продажу на заводах пірометалургійного виробництва цинку, наприклад, процес Imperial Smelting. Якщо вміст оксиду свинцю високий, можна використовувати кальцинації для випаровування свинцю.

Оксид процесу Вельца також можна промивати водою та карбонатом натрію, бікарбонатом натрію або, можливо, гідроксидом натрію у дво- або триетапному процесі з використанням принципу зустрічного потоку. За допомогою цих добавок хлориди металів можуть бути осаджені у вигляді карбонатів або гідроксидів металів. Крім видалення хлориду, цей процес промивання дозволяє видалити фторид, натрій та калій. З міцного лужного розчину з першого етапу промивання можуть бути видалені луги на етапі кристалізації з отриманням сольового залишку та конденсату, що не містить лугу. Залишки солі утилізуються під землею. Конденсат може бути перероблений; у цьому випадку весь процес може працювати без утворення стічних вод. Процеси промивання наведено в Розділі 6.3.2.2.3.4.

У Європі більша частина оксидів процесу Вельца промивається і потім обробляється на заводі, що застосовує процес RLE.

Можливий двоетапний процес та очищення відпрацьованих вод, оскільки можливе скидання зливу, що містять хлор. У порівнянні з процесом промивання та кристалізації переваги двоетапного промивання полягають у меншому споживанні енергії, нижчих експлуатаційних витратах, менших інвестиційних витратах та в уникненні твердого залишку.

6.1.2.4 Процеси випарювання шлаку

Ці процеси також використовуються для вилучення цинку із залишків. Пил з дугової електропечі, більша частина шлаків від операцій з виплавки свинцю, комплексні цинково-мідні шлаки від мідеплавильних заводів та інші залишки від процесів відновлення цинку містять свинець та цинк, які будуть втрачені, якщо їх не піддавати подальшій обробці. Ці матеріали можна випарювати з джерелом вуглецю, таким як вугілля, для вилучення свинцю та цинку, а також отримання тепла від процесу [117, Krüger, J. 1999].

Циклонні печі або печі конвертерного типу використовуються для підвищення температури вище 1200 °C для випаровування металів та подальшого утворення оксидів, які потім вилучаються з газів на етапі фільтрування. Циклонна піч працює з повітрям, збагаченим киснем, а конвертер працює із субстехіометричним повітрям. Виробляється надлишкове тепло, яке рекуперується у котлі-утилізаторі, та утворюється електроенергія. Отриманий шлак використовується для будівельних цілей або піддається захороненню, залежно від результатів випробувань на вилуговування та місцевого законодавства.

Повідомляється також, що печі Ausmelt/ISASMELT, багатоподові печі та плазмово-дугові печі із зануреною дугою використовуються для обробки пилу від процесу виплавки сталі, залишків від вилуговування й осадів покриттів для вилучення цинку, як альтернатива процесу Вельца [227, IZA Report 2008]. Повідомляється, що вона використовується для виробництва сталі та інших металів із залишків у поєднанні із відновлювальною піччю [257, Paul Wurth 2008].

6.1.2.4.1 Процес плазмово-дугового випарювання

Цей процес випарювання можна використовувати для обробки оксидів металів, таких як пил з рукавних фільтрів з дугових електропечей для виробництва сталі, або вторинних матеріалів, таких як комплексні шлаки, що містять цинк та ZnO. Матеріали подаються до шлакової ванни плазмово-дугової печі, де відбуваються реакції з утворенням ZnO. У якості відновника використовується кокс або подібний матеріал. За потреби в сировину додають шлакоутворювач. Різні оксиди металів відновлюються відповідно до рівноваги, що визначається температурою шлаку та кисневим потенціалом. [350, Heegaard 2009]

Температура шлаку регулюється потужністю плазми та складом шлаку. Споживання енергії становить близько 1,2 МВт-год/т пилу з дугової електропечі, що подається. Кисневий потенціал регулюється швидкістю подання коксу та потоком зрідженого газу в фурмах.

Відновлені метали з високим тиском пари, такі як свинець і цинк, залишають піч у вигляді парів металу. Відхідний газ виходить з печі за температури близько 1300 ºC. Відхідні гази повторно окислюються повітрям з утворенням ZnO і PbO. Якщо повторне окиснення відбувається в печі, близько третини тепла, що виділяється, може бути рекуперована шляхом нагріву шлаку, що знижує споживання енергії плазмовим генератором.

Рівень вилучення цинку становить близько 92%, а вміст ZnO — близько 88%.

Як побічний продукт утворюється стабільний нерозчинний шлак із вмістом свинцю близько 0,1%. Основність шлаку $(CaO+MgO)/SiO_2$ становить близько 1. Шлак використовується у різних галузях промисловості, таких як виробництво бетону та/або будівництво.

6.1.2.4.2 Процес ф'юмінг-печі для виробництва вторинного ZnO на мідеплавильному заводі

Цей процес, який інтегрований як частина мідеплавильного заводу, може використовуватися для обробки оксидів металів, таких як пил з рукавних фільтрів від дугових електропечей для виробництва сталі, або вторинних матеріалів, таких як комплексні шлаки з мідеплавильного заводу, що містять цинк та мідь. Шлак з високим вмістом цинку обробляється в ф'юмінг-печі, де цинк випаровується за допомогою кисню та вуглецю. Утворюється чадний газ, а оксид цинку відновлюється до металевого цинку.

Рівень вилучення цинку становить близько 85 %, а вміст ZnO — близько 70–75 %.

Шлак із ф'юмінг-печі надходить у відстійну піч. Після закінчення певного періоду витримки мідний штейн відокремлюється від шлаку і повертається на мідеплавильний завод. Шлак, що залишився, гранулюється з утворенням хімічно стабільного залізистого піску, дренажні властивості якого дозволяють використовувати його в будівництві доріг та будівель.

6.1.2.5 Переплавлення та рафінування

Чистий і незмішаний брухт вторинного цинку переплавляється або рафінується до марок вторинного цинку. Домішки, такі як матеріали, що містять алюміній або залізо, переважно видаляються механічним способом на етапі розділення перед плавленням, якщо це можливо. Змішаний брухт може бути попередньо оброблений в плавильній печі для розділення, щоб видалити цинк з металів з вищою температурою плавлення.

Плавлення переважно здійснюється в індукційних печах. Після плавлення відбувається етап розділення та легування. На першому етапі домішки можуть бути частково або повністю видалені в залежності від розчинності елемента в розплаві. За необхідності можуть бути додані легувальні елементи.

6.1.3 Процеси плавлення, легування та лиття цинку

6.1.3.1 Процеси плавлення та легування цинку

Плавлення та легування зазвичай здійснюють у тигельних печах з непрямим нагріванням або в індукційних печах. Температура контролюється, щоб цинк не випаровувався, утворюючи пари. У якості палива зазвичай використовується газ або нафта. Газовий або нафтовий пальник може розташовуватися за тиглем, поміщеним у камеру згорання, або всередині тигля у вигляді заглибного трубчастого нагрівача [12, HMIP (UK) 1994], [98, Lijftogt, J.A. et al 1998].

Пряме нагрівання застосовується в печах для плавлення алюмінію (іноді в піч для легування цинку додають розплавлений алюміній замість твердого алюмінію). Пряме нагрівання також застосовується в печах витримки цинку, розташованих між плавильною і ливарною секціями.

В обох випадках контроль температури має вирішальне значення, оскільки температура лиття не повинна перевищувати 600 °C для більшості композицій сплавів, щоб уникнути втрати металу через утворення диму. Легувальні добавки зазвичай роблять у твердій формі, але в деяких операціях розплавлений алюміній додається із суміжної плавильної печі.

Коли сплави виготовляються з нечистої сировини, потрібні флюси для поглинання домішок. Стандартний флюс містить хлорид цинку та/або подвійні солі з хлоридом амонію; деякі флюси також не містять галогенів. Під час додавання цих речовин або під час операцій очищення печі можуть відбуватися дифузні викиди пилу і диму. Флюси, що містять фторид, більше не використовуються, оскільки використання флюсів цього типу призводить до викиду газоподібних сполук фтору, які необхідно видаляти методом мокрого очищення.

З цинкової ванни періодично роблять знімання для видалення твердого дросу: оксиду цинку та хлориду цинку. Флюс часто додають, щоб зменшити втрату цинку в дросі. Оксидна фракція шлаку може бути перероблена в печі ISF або повернена в піч для випалювання в електролітичному процесі.

В результаті плавлення цинкових катодів, цинкових сплавів та цинкового брухту можуть бути отримані наступні проміжні матеріали.

Цинковий дрос. Він утворюється в плавильній печі та складається з накипу, що утворюється на поверхні розплавленого металу, що містить металевий та окиснений цинк. Його знімають із поверхні ванни механічним або ручним способом.

Цинковмісний пил та дим. Вони вловлюються з газового потоку, що виходить із плавильної печі, за допомогою пристроїв для боротьби з викидами, таких як рукавні фільтри.

У більшості випадків всі ці залишки переробляються на об'єкті або за його межами для вилучення цинку.

6.1.3.2 Процеси лиття цинку

Метал зазвичай відливається у постійні форми, які зазвичай виготовляються із чавуну або литої сталі. Використовуються стаціонарні ливарні машини або конвеєрні машини безперервного лиття.

Для виробництва блоків та виливків використовуються статичні форми та конвеєрні ливарні машини. Машини безперервного лиття використовуються для виробництва прутків для перетворення їх на дріт.

В результаті лиття виливків із цинку або цинкового сплаву може утворюватися металевий дрос. Це накип, що видаляється вручну з відливка. У деяких автоматизованих процесах утворена кількість дорівнює нулю або є незначною. У більшості випадків всі ці залишки переробляються на об'єкті або за його межами для вилучення цинку.

6.1.3.3 Виробництво цинкового порошку («цинковий пил»)

Цинковий пил виробляється як продукт для інших промислових процесів і як реагент для використання в процесі очищення розчину від вилуговування. Розплавлений цинк, отриманий за допомогою описаних вище технологій, розпилюється під тиском через розпилювальну насадку, а потім швидко охолоджується в інертній атмосфері з утворенням пилу [117, Krüger, J. 1999]. Для отримання пилу також можна використовувати повітря, воду або відцентрове розпилення потоку розплавленого цинку. Пил видаляється в системі тканинних фільтрів і транспортується у відповідний технологічний процес або упаковується.

6.1.4 Кадмій

6.1.4.1 Виробництво кадмію в процесі виробництва первинного цинку

Кадмій виробляється як побічний продукт багатьох процесів вилучення металів. Основними джерелами є виробництво цинку та свинцю [117, Krüger, J. 1999].

У плавильній печі Imperial (ISF) кадмій вилучається двома окремими шляхами. Деяка кількість кадмію слідує за цинком і зрештою вилучається у вигляді конденсату з другого етапу дистилювання. Цей кадмій містить цинк і потребує додаткового очищення. Решта вилучається з димового пилу з секції очищення газу, що знаходиться перед установкою з виробництва сірчаної кислоти. Його вилуговують сірчаною кислотою, а потім відокремлюють від цього розчину у вигляді цементату кадмію, який потребує подальшого очищення.

Цементат кадмію, отриманий в результаті очищення розчинів цинку в процесі RLE, також може бути очищений гідрометалургійним способом. У цьому процесі цементат вилуговують у середовищі сірчаної кислоти, розчин очищають і металевий кадмій вилучають шляхом електровідновлення. Очищений розчин $ZnSO_4$ повертається до основного циклу виробництва цинку [234, UBA (D) 2007].
Цементат кадмію також можна рафінувати шляхом ущільнення та плавлення із содою для видалення цинку. У разі необхідності можна застосувати додатковий етап дистилювання для отримання кадмію високої чистоти.

Кадмій також може бути вилучений у вигляді розчину хлориду кадмію за допомогою процесу іонного обміну. Розчин спрямовується на стрічку високоякісного цинку зануреного барабана, де починається реакція обміну, в результаті якої утворюється кадмієва губка і розчин хлориду цинку. Губка, отримана в результаті цього процесу, процесу цементації або сульфатних розчинів, плавиться з лусочками каустичної соди (гідроксиду натрію) для видалення цинку, що залишився, а продукт відливається і продається або, якщо він забруднений, спрямовується на подальше рафінування кадмію.

Кадмій також можна вилучити зі стічних вод у вигляді карбонату. Для його вилучення можна використовувати технології вилуговування та електровідновлення.

На заводі з рафінування кадмію кадмій, отриманий за допомогою описаних вище способів, може бути розплавлений і відлитий у товарні форми. Коли він недостатньо чистий, кадмій піддають подальшому дистилюванню за високих температур. Конденсатом є кадмій, що містить приблизно 1 % цинку, а стік є високоякісним цинком. Зрештою, фракцію кадмію можна розплавити з каустичною содою та нітратом натрію для видалення залишкового цинку.

У кадмієвій промисловості вживаються технічні заходи для дотримання орієнтовної гранично допустимої концентрації у повітрі робочої зони (IOELV (indicative occupational exposure limit value)) ЄС, що дорівнює 4 мкг Cd/м^3, що вдихається, запропонованого Науковим комітетом з гранично допустимих концентрацій у робочій зоні (SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits)) відповідно до статті 3 Директиви 98/24/ЕС (2009 р.). Це значення застосовується до кадмію та сполук кадмію в цілому, якщо документально не підтверджено обмежену розчинність сполуки кадмію. Щоб досягти цієї концентрації повітря на робочому місці, дифузні викиди обов'язково мають бути низькими.

Схеми різних способів виробництва кадмію показані нижче.

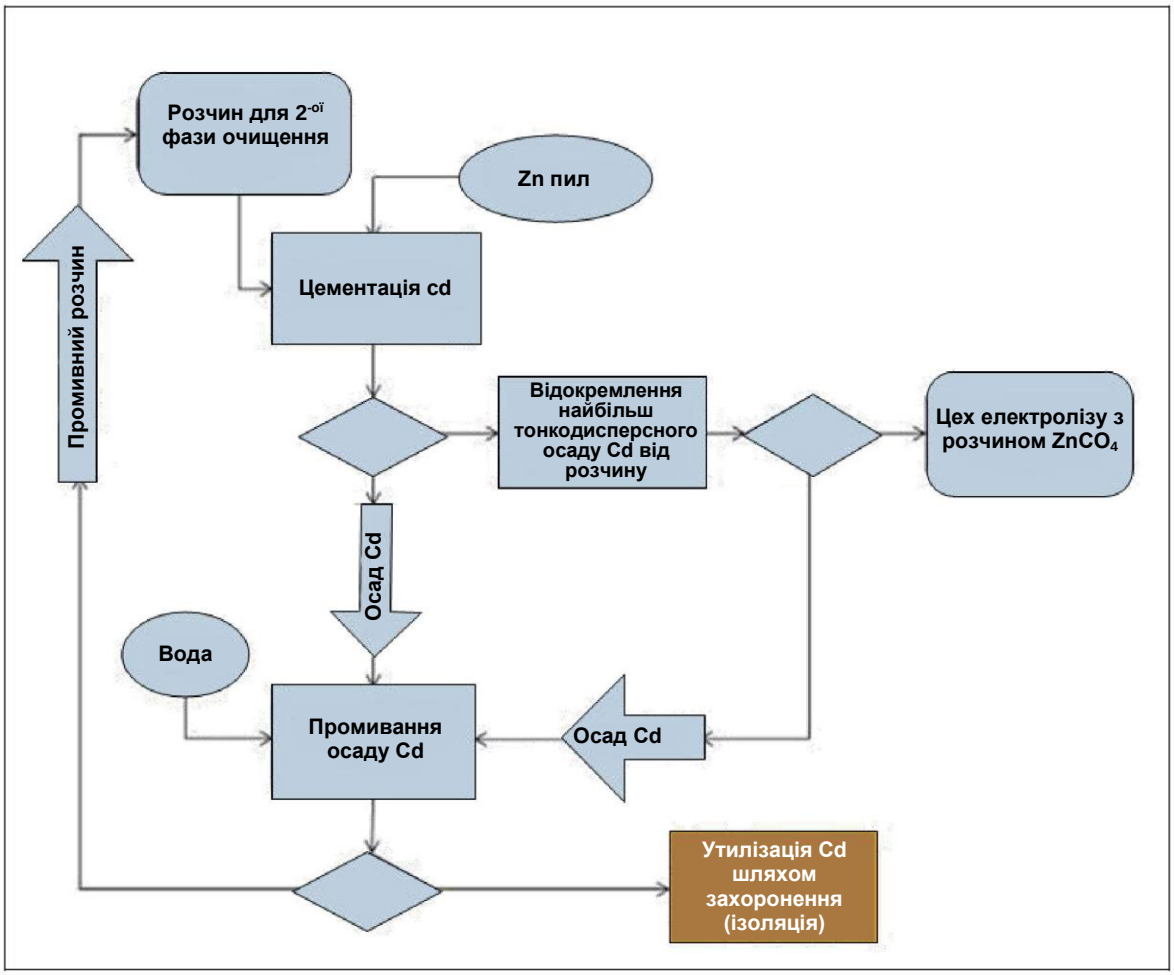


Рисунок 6.15: Схема виробництва кадмію: Завод А

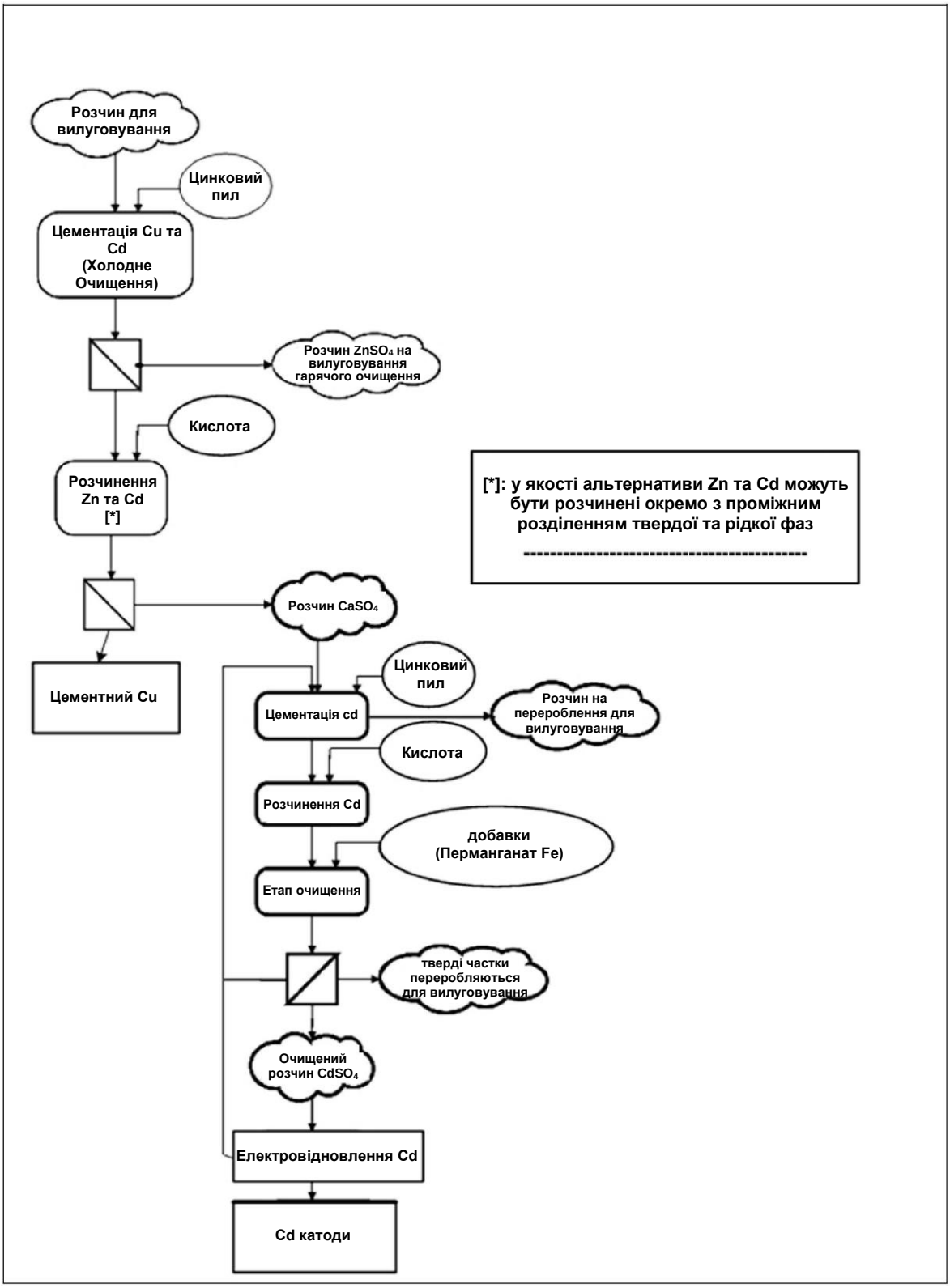


Рисунок 6.16: Схема виробництва кадмію: Завод B

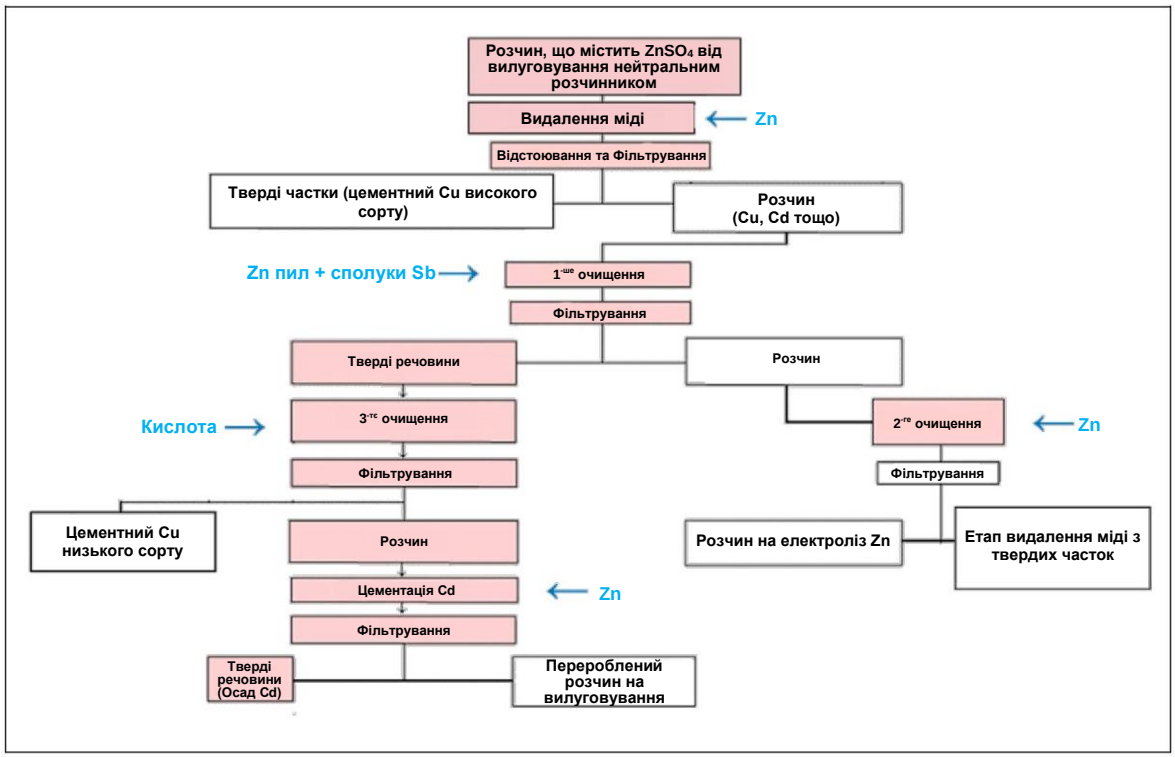


Рисунок 6.17: Схема очищення, що передбачає виробництво кадмію: Завод C

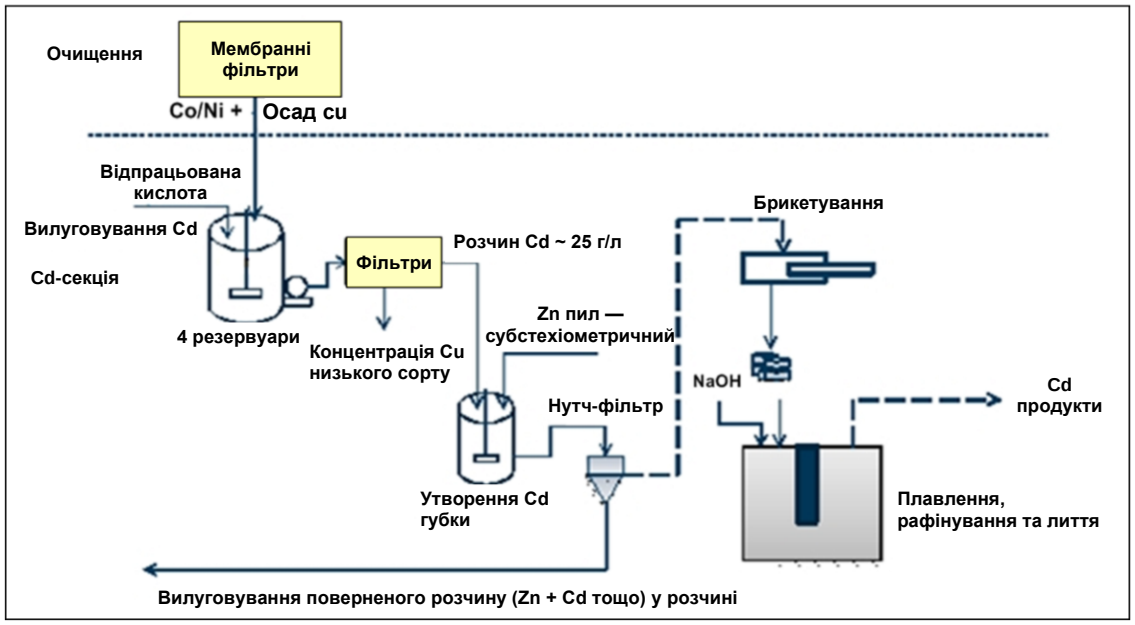


Рисунок 6.18: Схема виробництва кадмію: Завод D

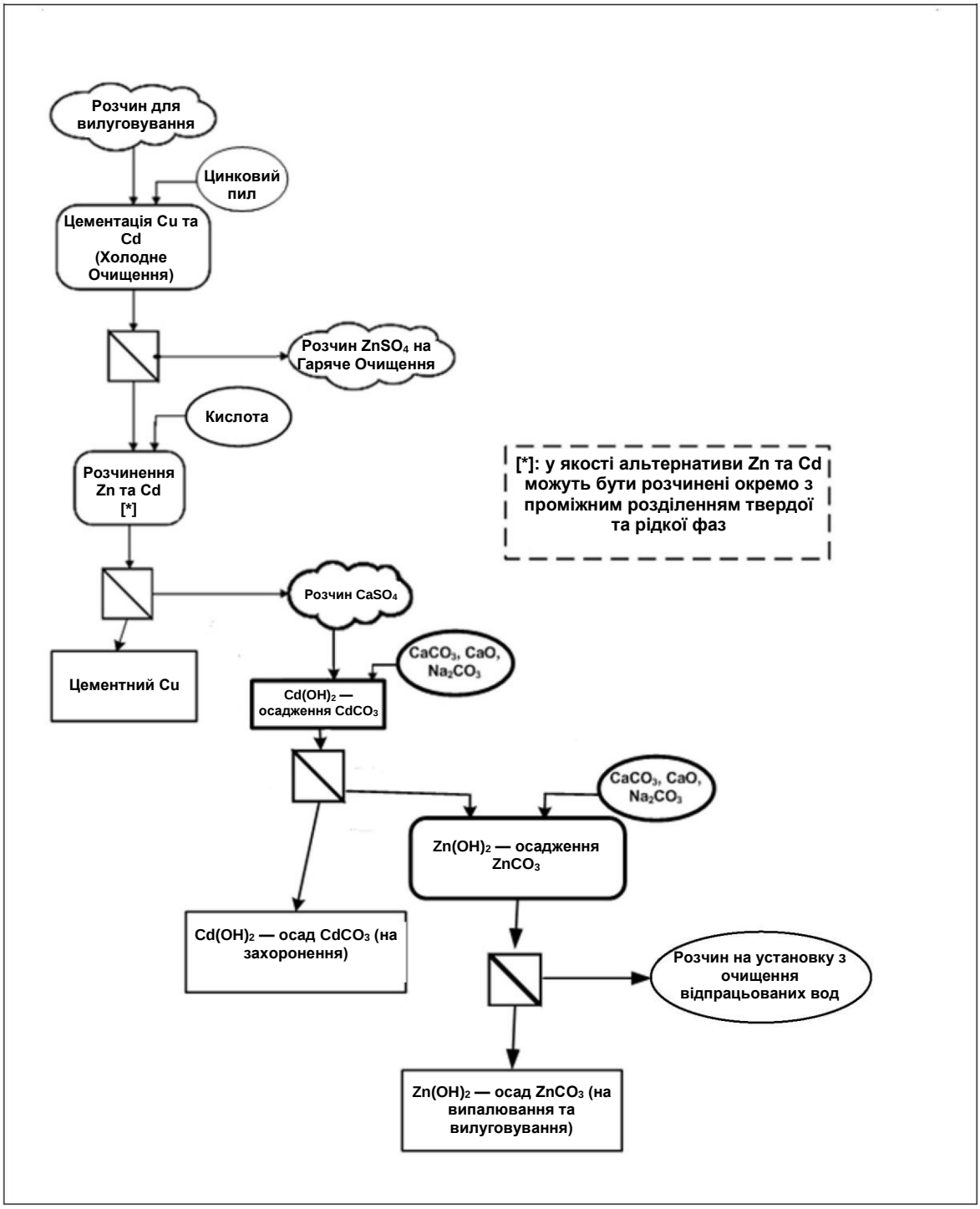


Рисунок 6.19: Схема виробництва кадмію: Завод E

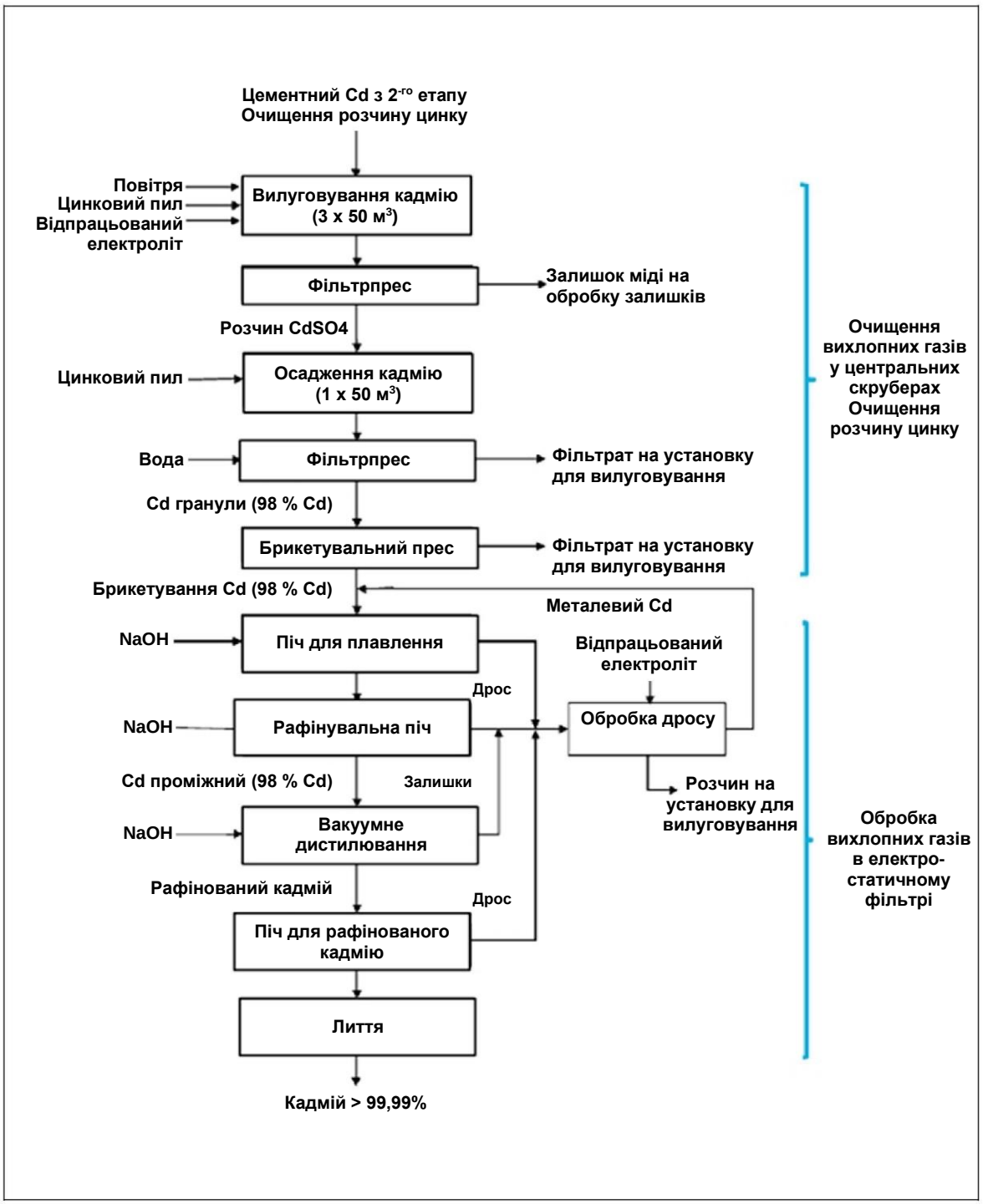


Рисунок 6.20: Схема виробництва кадмію: Завод F

6.1.4.2 Виробництво вторинного кадмію, переважно з акумуляторів

Іншим основним джерелом кадмію є перероблення Ni-Cd акумуляторів. Існує два типи акумуляторів: герметичні батареї для споживачів та вентильовані батареї для промисловості.

Основними компонентами цих акумуляторів є:

- анод: кадмій;
- катод: NiOH на сталевій сітці;
- мембрани та розділювачі: полімерні та паперові;
- корпус: сталь та пластмаси;
- електроліт: KOH.

Процес перероблення складається із трьох етапів.

- Сортування

Промислові акумулятори, а також акумулятори для споживачів повинні бути ідентифіковані та відсортовані, щоб мінімізувати кількість домішок. Якість сортування визначає чистоту вилученого кадмію та Ni-Fe фракції.
- Підготовка до перероблення кадмію

Промислові вентильовані акумулятори
Промислові акумулятори осушуються від рідкого гідроксиду калію та розбираються вручну. Всі частини, що містять кадмій, прямують на дистилювання кадмію. Інші компоненти (електроліт, полімери, залізо та нікель) переробляються. Розбирання здійснюється у закритих приміщеннях. Вентиляція повітря відбувається за допомогою касетного фільтра.

Герметичні акумулятори для споживачів
Акумулятори для споживачів, які зазвичай повертаються у вигляді акумуляторів для електроінструментів у пластиковій упаковці, найчастіше обробляються механічно для відділення пластикових корпусів. Відокремлені пластмаси переробляються у пластиковій промисловості або продаються як паливо.

Органічну фракцію і воду, що залишилися, видаляють шляхом піролізу за температури 400–500 °C. Метою процесу є випарювання води, розкладання органічної фракції шляхом термічного крекінгу та відокремлення її шляхом випарювання від металевої фракції. Металева фракція, що залишилася, спрямовується в процес дистилювання.

Піроліз можна здійснювати з електричним нагріванням або нагріванням газоподібного пропану. Гази фільтруються перед викидом у повітря. Крекінговані вуглеводні можна відновити шляхом конденсації у вигляді маслоподібного продукту, який можна продавати як пальне або спалювати в допалювачі з рекуперацією тепла. Коли застосовується допалювач, технології фільтрування (наприклад, мокрий скрубер, рукавний фільтр, фільтр з активованим вугіллям) використовуються разом із ним.
- Дистилювання кадмію

Нарешті, кадмій вилучають із металевої фракції шляхом дистилювання. Відновник (кокс) додається для відновлення оксидів. Дистильований кадмій має чистоту 99,95 %. Конденсований рідкий кадмій можна вилучити, якщо капати його у воду, щоб утворити гранули, або його можна відлити у виливки.

Металева фракція, що залишилася, містить нікель і залізо з дуже низьким рівнем забруднення кадмієм. У разі необхідності фракція Ni-Fe може бути гомогенізована шляхом плавлення. Цей залишок Ni-Fe продається у промисловість неіржавкої сталі.

6.1.4.3 Виробництво інших металів (In, Ge, Ga)

Інші метали іноді присутні у концентратах, що використовуються для виробництва цинку та свинцю. Вони, як правило, зосереджуються в шлаках, дросі, димовому пилу та залишках, що утворюються в процесі обробки, і, за бажанням, ці залишки можуть бути вихідним матеріалом для спеціальних установок, призначених для вилучення цих цінних металів.

Процеси вилучення можуть бути складними, і багато з них є комерційною таємницею. Ці процеси поєднують у собі кілька технологій, таких як вилуговування, цементація, вилучення розчинником, хлорування, електровідновлення та вакуумне дистилювання. За цими технологіями можуть застосовуватись технології зонного рафінування та вирощування кристалів для отримання надчистих металів.

6.2 Поточні рівні викидів та споживання

Основними екологічними проблемами цинкової промисловості є забруднення повітря та води та утворення шкідливих відходів. Підприємства зазвичай мають власні очисні установки, та зазвичай практикується перероблення або повторне використання стічних вод.

Поверхневі води та контрольна вода на полігонах для захоронення можуть збиратися для заповнення потреби процесу у воді та втрат через випаровування. Коли обсяг води, що зливається з технологічного процесу, дозволяє, можна здійснити завершальний етап кристалізації (наприклад, у деяких вельц-операціях в Німеччині), що дозволяє уникнути будь-яких викидів у приймальне водоймище.

Багато відходів використовуються повторно, але основною проблемою є залишки вилуговування, які сильно впливають на довкілля [98, Lijftogt, J.A. et al 1998] [99, Hähre, S. 1998]. Деякі місцеві аспекти, такі як шум, залежать від галузі. Через небезпечний характер деяких потоків твердих та рідких відходів також існує значний ризик забруднення ґрунту [237, UBA (A) 2004].

У Таблиці 6.2 наведено дані про баланс вхідних та вихідних потоків для німецького заводу, що застосовує процес RLE.

Таблиця 6.2: Типові дані для німецького заводу, що застосовує процес RLE, з додаванням вторинної сировини

Матеріал	Опис	
Сировинний матеріал	Концентрати (47–56 % Zn) Оксид процесу Вельца (55–70 % Zn)	1,3–1,8 т/т СВЯ Zn Можливо 0,03–0,58 т/т СВЯ Zn
Продукція	Цинк СВЯ (99,99 %) Кадмій ([1]) Сірчана кислота тощо 96 %	3–4 кг/т СВЯ Zn 1,23–1,68 т/т СВЯ Zn
Відходи	Ґетит ([1]) або ярозит ([1]) Зневоднений кислий осад Залишок кадмію ([1]) Hg/Se осад Осад	0,3–0,8 т/т СВЯ Zn < 0,5 кг/т СВЯ Zn 3–4 кг/т СВЯ Zn 0,3 кг/т СВЯ Zn 7–15 кг/т СВЯ Zn
Проміжні продукти/Побічні продукти	Pb сульфат ([1]) Концентрат Cu Концентрат Zn/Fe (залишок від вилуговування нейтральним розчинником) ([1]) Каломель ([1]) Гіпс	115 кг/т СВЯ Zn 7–15 кг/т СВЯ Zn 0,5–1 т/т СВЯ Zn < 4 кг/т СВЯ Zn < 4 кг/т СВЯ Zn
Типове виробництво	Цинк СВЯ Сірчана кислота Кадмій ([1])	130 000 т/рік 225 000 т/рік 480 т/рік
([1]) Залежно від технологічного вікна. *Джерело:* [234, UBA (D) 2007]		

У Таблиці 6.3 наведено типовий склад сировини та продуктів для Заводу, що застосовує процес RLE, з додаванням вторинного матеріалу.

Таблиця 6.3: Типовий склад сировини та продуктів для заводу для виробництва цинку, що застосовує процес RLE, з додаванням вторинної сировини

Метал (%)	Концентрат Zn	Концентрат Zn/Fe	Залишок з високим вмістом Cu	Pb сульфат	Залишок Pb/Ag від вилуговування нейтральним розчинником	Ярозит
Zn	54	18–21	8	4	2,5	5,5
Fe	6,7	17–19	0,3	2	5	27
Pb	2,1	7–8	4	40	25	4,9
B	32	6-9	2	11	НЗ	НЗ
Cu	0,4	0,6–1	51	0,05	НЗ	0,2
Cd	0,2	0,1–0,2	1,2	НЗ	0,2	0,06
Ag	0,01	0,04–0,06	< 0,01	0,04	0,01	НЗ
SiO_2	НЗ	4–7	0,7	2	25	0,24

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [234, UBA (D) 2007]

У Таблиці 6.4 наведено дані про баланс вхідних та вихідних потоків для заводу, що використовує процес Вельца та обробляє пил з дугової електропечі.

Таблиця 6.4: Дані про вхідні та вихідні потоки для заводу, що використовує процес Вельца та процес SDHL

Вхідний потік	т/т сухого продукту	Вихідний потік	т/т сухого продукту
Етап 1: робота вельц-піч			
Zn залишок (пил з дугової електропечі тощо)	2,68	Оксид процесу Вельца (непромитий)	1
Коксовий дріб'язок	0,48	Шлак (сухий)	1,63
CaO, вапно	0,21	Очищений відхідний газ ($Нм^3$/т)	2,07
Промислова вода ($м^3$/т сухого продукту)	1,22		
Природний газ ([1]) ($Нм^3$/т сухого продукту)	3,66		
Електроенергія (кВт-год/т сухої продукції)	240		
Дизельне паливо ($м^3$/т сухого продукту)	< 0,001		

([1]) Природний газ у вельц-печі лише для підігріву, не для нормального режиму експлуатації.
Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Оксиди процесу Вельца містять велику кількість хлору та потребують промивання перед вилуговуванням на заводі, що застосовує процес RLE. У Таблиці 6.5 надані дані про вхідні та вихідні потоки для промивання оксиду процесу Вельца з кристалізацією та без неї.

Таблиця 6.5: Дані про вхідні та вихідні потоки для процесу промивання оксиду процесу Вельца

Вхідний потік	т/т сухого продукту	Вихідний потік	т/т сухого продукту
Етап 2a: Операція промивання з кристалізацією			
Оксид процесу Вельца (непромитий)	1,13	Оксид процесу Вельца (промитий)	1,0
Карбонат натрію	0,06	Залишок лугу	0,13
Промислова вода ($м^3$/т сухого продукту)	1		
Природний газ ($Нм^3$/т сухої продукції)	15		
Електроенергія (кВт-год/т сухої продукції)	94		
Етап 2b: Операція промивання без кристалізації			
Оксид процесу Вельца (непромитий)	1,13	Оксид процесу Вельца (промитий)	1,0
Гідрокарбонат натрію	0,06	Стічні води ($м^3$/т сухого продукту)	4
Промислова вода ($м^3$/т сухого продукту)	4		
Природний газ ($Нм^3$/т сухої продукції)	33		
Електроенергія (кВт-год/т сухої продукції)	36		

Джерело: [267, BEFESA 2008]

Що стосується процесів випарювання шлаку, інформацію про вхідний і вихідний потоки процесу плазмово-дугового випарювання та матеріальний баланс процесу плазмово-дугового випарювання та ф'юмінг-печі в процесі виробництва вторинного ZnO на мідеплавильному заводі можна знайти в Таблиці 6.6 та Таблиці 6.7.

Таблиця 6.6: Матеріальний баланс процесу плазмово-дугового випарювання

Вхідні потоки (кг)		**Вихідні потоки (кг)**	
Пил з дугової електропечі	1000	Шлак	426
Кокс	80	Газ	7505
Пісок	90	Продукція	494
Стиснене повітря	5915		
Вода	1286		
Зріджений природний газойль	54		
Всього	**8425**		**8425**
Джерело: [399, IZA 2012]			

Таблиця 6.7: Середній обсяг цинку та витратних матеріалів

Вхідні потоки (кт/рік)		**Вихідні потоки (кт/рік)**	
Мідний шлак	290–300	Гранульований шлак	265
Пил з дугової електропечі	25	Шпейза/штейн	4,5
Вугілля	45–50	Цинковий клінкер	40
Мастило WRD	1,1 тонни	Гранульований клінкерний пил	5
		CO_2	150
Джерело: [399, IZA 2012]			

6.2.1 Енергія

Енергетичні потреби для різних процесів виробництва цинку дуже відрізняються. Вони залежать від якості сировини та продуктів, використання прихованого або відпрацьованого тепла та виробництва побічних продуктів.У Таблиці 6.8 показані середні потреби в енергії для різних процесів без урахування вмісту енергії в сировині.

Таблиця 6.8: Потреби в енергії для різних процесів виробництва цинку

Процес	Продукція	Електричне (кВт/год на тонну)	Кокс (кг/т)	Природний газ ($Нм^3$/т)	Вода для вилуго-вування ($м^3$/т)
RLE ([1])	Цинк СВЯ	3850–4905	0,48 ГДж/т середнє значення для інших видів енергії	НЗ	НЗ
Піч ISF та дистилювання за методом «Нью-Джерсі»	Металевий цинк	1050 750	1100 785	220 160	НЗ
Випарювання шлаку	Шлак	150	250	НЗ	НЗ
Вельц-піч					
Процес SDHL без промивання	Оксид процесу Вельца, непромитий	240	480	4 ([2])	НЗ
Процес SDHL з двоетапним промиванням	Оксид процесу Вельца, промитий	300	540	38	6
Процес SDHL з триетапним промиванням та кристалізацією	Оксид процесу Вельца, промитий	360	540	19	1

([1]) Загальна енергія: 13,86–20,00 ГДж/т без енергетичних кредитів.
([2]) Тільки для підігріву.
Примітка: НЗ = Не застосовується.
Джерело: [234, UBA (D) 2007]

6.2.2 Викиди в повітря

Викиди у повітря або вловлюються як викиди з димових труб, або можуть виходити з процесу як дифузні викиди, залежно від віку підприємства та технології, що використовується. Зазвичай проводиться безперервний або періодичний моніторинг викидів з димових труб, і його результати повідомляються. Дифузні викиди є причиною для занепокоєння, і вони мають вловлюватися.

Основні викиди у повітря від виробництва цинку:
- діоксид сірки (SO_2), інші сполуки сірки та кислотні тумани;
- оксиди азоту (NO_X) та інші сполуки азоту;
- метали та їхні сполуки;
- пилу;
- ЛОС та ПХДД/Ф.

Вважається, що інші забруднювальні речовини є незначними для промисловості, частково тому що вони відсутні у виробничому процесі, частково тому що вони негайно нейтралізуються (наприклад, хлор або HCl), або тому що вони зустрічаються у дуже низьких концентраціях (наприклад, CO). Викиди значною мірою пов'язані з пилом (за винятком кадмію, миш'яку та ртуті, які також можуть бути присутніми у паровій фазі) [98, Lijftogt, J.A. et al 1998].

Джерела викидів залежать від використовуваного процесу та показані в Таблиці 6.9:

- транспортування та поводження з матеріалами;
- випалювання/спікання та установка з виробництва сірчаної кислоти (більшість викидів відбувається під час позапланових зупинок);
- пірометалургійні операції: ф'юмінгування, плавлення та рафінування;

- гідрометалургійні операції: вилуговування, очищення та електроліз;
- механічна обробка: подрібнення, помел та гранулювання;
- лиття.

Таблиця 6.9: Значущість потенційних викидів у повітря від виробництва цинку та кадмію

Компонент	Випалювання та інші види пірометалургійної обробки	Вилуго-вування та очищення	Електроліз	Механічна обробка	Лиття тощо.	Установка з виробництва сірчаної кислоти
Оксиди та сульфіти сірки	•• ([1])	•	•• (кислотний туман)	•	•	•••
Оксиди азоту	• ([1])	НЗ	НЗ	НЗ	•	•
Пил і метали	••• ([1])	•	•	•••	•••	НЗ
ЛОС та ПХДД/Ф	•(••) ([2])	НЗ	НЗ	НЗ	• ([1])	НЗ

([1]) Прямі викиди з етапів випалювання або виплавки обробляються та/або перетворюються на етапах газоочищення та на установці з виробництва сірчаної кислоти; решта викидів діоксиду сірки й оксидів азоту з установки з виробництва сірчаної кислоти залишаються актуальними. Дифузні та невловлені викиди також є актуальними для цих джерел.
([2]) ПХДД/Ф та ЛОС можуть бути присутні, якщо використовуються вторинні матеріали, що містять ПХДД/Ф або забруднені органічними матеріалами. ЛОС також можуть бути присутніми під час процесів вилучення розчинником.
Примітка: ••• Більш значущі — • Менш значущі
НЗ = не застосовується.

Крім технологічних викидів, виникають дифузні викиди. Основними джерелами дифузних викидів є [98, Lijftogt, J.A. et al 1998]:

- пил від зберігання та поводження з концентратами;
- витоки з печей для випалювання та виплавки;
- аерозольні частки та пил від вихлопних газів з ємностей для вилуговування та очищення;
- вихлопні гази з градирень установок для вилуговування та очищення;
- вихлопні гази з градирень електролітичного процесу;
- інше.

Таблиця 6.10: Викиди у повітря від різних заводів, що застосовують процес RLE, у Європі

Походження	Кількість (т/рік)	Питомі викиди (г/т цинку)
Пил від зберігання та поводження з концентратами та обпаленого матеріалу;	< 0,25	0,25–0,75
Аерозольні частки та пил від вихлопних газів з ємностей для вилуговування та очищення	< 2	1–9
Вихлопні гази з градирень установок для вилуговування та очищення	< 4	2–16
Вихлопні гази з градирень електролітичного процесу (0,8 т/рік)	< 5	3–20
Джерело: [399, IZA 2012]		

Хоча дифузні викиди важко виміряти та оцінити, для цього успішно використовуються деякі методи, див. Розділ 2.3.5.

6.2.2.1 Діоксид сірки та інші сполуки сірки

Основними джерелами викидів діоксиду сірки є прямі викиди установки із виробництва сірчаної кислоти. Хороша витяжка та герметизація лінії установки для випалювання (піч для випалювання, холодильник обпаленого матеріалу, секція очищення газу та установка з виробництва сірчаної кислоти) запобігають дифузним викидам.

Після знепилення та очищення діоксид сірки в газі після операцій спікання та випалювання перетворюється на триоксид сірки (SO_3) (див. Розділ 2.7.1). Після планових зупинок на технічне обслуговування, під час запуску та зупинки (зазвичай кожні 15–20 місяців) можливі випадки викиду слабких газів без перетворення. Ці випадки повинні визначатися для кожної окремої установки, та багато компаній забезпечили значні вдосконалення систем контролю технологічних процесів, щоб запобігти утворенню або зменшити ці викиди [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], [99, Hähre, S. 1998].

Удосконалення систем управління технологічним процесом дозволили подавати більш постійні концентрації SO_2 на кислотні заводи разом з каталізаторами, допійованими цезієм. Це, а також введення п'ятого контактного проходу призвели до дуже низьких викидів (стандартна практика передбачає чотири проходи; використання п'яти проходів вважається надмірним) [229, IZA plant data 2008].

Під час електролізу відбуваються викиди аерозольних часток (сірчаної кислоти та сульфату цинку) у будівлю цеху електролізу. Ці викиди залишають корпусі камери через (природну) вентиляцію або через вентилятори градирні (якщо погодні умови дозволяють). Викиди малі в порівнянні з викидами установки з виробництва сірчаної кислоти, але оскільки вони у вигляді аерозольних часток, з ними можна боротися в туманоуловлювачах [98, Lijftogt, J.A. et al 1998]. На більшості заводів застосовуються покриття камер шляхом додавання до електроліту піноутворювальних агентів, щоб зменшити/контролювати утворення туману [136, Fugleberg, S. 1999].

Утворення діоксиду сірки у кількох процесах виробництва цинку показано у Таблиці 6.11 нижче.

Таблиця 6.11: Утворення діоксиду сірки у кількох процесах виробництва цинку

Процес	Продукція	Загальне виробництво металу (тонн/рік)	Утворений діоксид сірки (г/т металу)
Концентрат з низьким вмістом заліза	Цинк + кадмій	238 800	280
Випалювання та електроліз	Цинк	65 000–482 000	200–4000
Піч ISF та агломераційний завод	Цинк + свинець	100 000 Zn 45 000 Pb	5000–9000
Джерело: [234, UBA (D) 2007]			

6.2.2.2 Оксиди азоту

Етапи випалювання та плавки є потенційними джерелами утворення оксидів азоту (NO_X). NO_X можуть утворюватись з компонентів азоту, присутніх у концентратах, або у вигляді термічних NO_X. Отримана сірчана кислота може поглинати значну частину NO_X, що може вплинути на якість сірчаної кислоти. Якщо після етапу випалювання присутні високі рівні NO_X, може знадобитися очищення газів від процесу випалювання для забезпечення якості продукту та з екологічних причин. Діапазон для всіх процесів становить від 20 мг/Нм^3 до 400 мг/Нм^3.

6.2.2.3 Пил і метали

Перенесення пилу з процесу випалювання та інших пірометалургійних процесів є потенційним джерелом прямих та дифузних викидів пилу та металів. Гази уловлюються та обробляються у процесах газоочищення та, нарешті, на установці з виробництва сірчаної кислоти. Пил видаляється і повертається у процес.

Потенційними джерелами є гази, що виходять з конденсаторів з розбризкуванням або розпилюванням в печі ISF, з дистиляційних колон і з точок випускання. У цих точках необхідні хороша витяжка та система очищення, щоб запобігти дифузним викидам. В результаті обробки та швидкого охолодження шлаку також утворюється пил. Діапазон викидів пилу з цих уловлених джерел становить від < 1 мг/Нм^3 до 15 мг/Нм^3.

Під час деаерації ємностей на етапах вилуговування та очищення можуть виділятися аерозольні частки. Вони контролюються і, за необхідності, уловлюються й обробляються скруберами або краплевловлювачами. Шкідливі викиди (арсин, стибін, водень та кадмій), де вони потенційно викидаються, контролюються, постійно видаляються та проходять через пристрої для боротьби з викидами, такі як скрубери або краплевловлювачі для мокрих систем та рукавні фільтри для сухих систем.

Викид аерозольних часток відбувається в цеху електролізу, і вони можуть містити метали в розчині. Діапазон викидів туману та пилу з цих джерел становить від 0,2 мг/Нм^3 до 1,25 мг/Нм^3.

Процеси плавлення, легування, лиття та виробництва цинкового пилу є потенційними джерелами викидів пилу та металів. Повідомляється діапазон викидів пилу від 200 мг/Нм^3 до 900 мг/Нм^3 у неочищеному газі [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], [99, Hähre, S. 1998]. Найчастіше рукавні фільтри використовуються для уловлювання відхідних газів і пилу. Значення для очищеного газу нижче 10 мг пилу/Нм^3, а часто — близько 1 мг/Нм^3. [99, Hähre, S. 1998].

Метали пов'язані з пилом, що викидається, і приблизно 50 % становить цинк. Кадмій та свинець відсутні, коли чистий цинк плавиться, легується та відливається.

Тоді як контрольовані викиди утворюються з відомих джерел і можуть бути уловлені та оброблені, дифузні викиди можуть утворюватись практично в будь-якому місці на території заводу. Основними джерелами дифузних викидів є зберігання матеріалу та поводження з ним, налипання пилу на транспортні засоби та на вулиці, а також відкриті робочі зони або зони, де не проводилось очищення. Масові викиди металів із деяких європейських процесів наведені у Таблиці 6.12. В останні роки деякі компанії ефективно зменшили свої дифузні викиди за допомогою відповідних заходів, таких як [234, UBA (D) 2007]:

- оновлення установок уловлювання та фільтрування відхідних газів;
- Скорочення часу простою печі шляхом покращення концепції вогнетривкої футерівки (тим самим скорочення часу запуску та зупинки, що призводить до збільшення викидів протягом обмеженого часу);
- закриття/використання корпусів у зонах доставлення, зберігання матеріалів та рафінування та встановлення систем уловлювання відхідних газів;
- вдосконалення процедур поводження з матеріалом (наприклад, змочування сипких матеріалів до та під час завантаження) та зменшення частоти транспортування (наприклад, шляхом використання більших колісних навантажувачів);
- встановлення обов'язкового миття транспортних засобів (для заводських та сторонніх транспортних засобів);
- зміцнення заводських площ та під'їзних шляхів та оптимізація процедур очищення;
- закриття та очищення старих зон утилізації шлаку.

Таблиця 6.12: Масові викиди металів на деяких заводах з виробництва первинного та вторинного цинку в Європі

Процес	Продукція	Виробництво (тонни)	Пил (г/т продукції)	Zn (г/т продукції)	Pb (г/т продукції)	Cd (г/т металу)	As (г/т металу)
Випалювання, очищення та електроліз (без лиття)	Цинк	130 000–1 450 000	НД	6,6–7,6	НД	< 0,05	НД
Випалювання, очищення та електроліз (з литтям)	Цинк або цинкові сплави	130 000–1 450 000	3–17	1–15	< 0,3	< 0,05	< 0,03 у вигляді оксиду
Випалювання, очищення та електроліз (усі етапі процесу з концентрату з низьким вмістом заліза)	Zn+Cd	238 850	3	2	0,007	0,0004	< 0,0001
Процес Вельца	Оксид процесу Вельца	29 000–60 000	14–73	4–21	0,3–2,0	0,13–0,42	< 0,1
Переплавлення, рафінування	Цинк	40 000	60	15	< 3	НД	НД

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [229, IZA plant data 2008].

6.2.2.4 ПХДД/Ф

У деяких процесах можливе утворення ПХДД/Ф в зоні згорання і в охолодній частині системи очищення газів (синтез de novo), особливо якщо у вторинних матеріалах, що подаються в процес, містяться пластмасові компоненти [237, UBA (A) 2004]. ПХДД/Ф також були виявлені в пилу деяких вельц-печей, що обробляють пил з дугових електропечей. Без спеціальних технологій виміряні значення ПХДД/Ф 100 нг/Нм^3.

Завдяки переходу від кислих вельц-процесів до системи основного шлаку можна досягти зниження концентрації ПХДД/Ф у неочищеному газі до < 0,1 нг/Нм^3. За необхідності кількість органічних сполук можна зменшити за допомогою систем допалювання.

Процес SDHL також допоможе досягати дуже низьких значень ПХДД/Ф (<0,01 нг/Нм^3).

Викиди ПХДД/Ф, що виникають під час виробництва кадмію з акумуляторів, знижуються з допомогою комбінації допалювачів і технологій фільтрування. Викиди ПХДД/Ф набагато нижчі за 0,1 нг МТЕ/Нм^3.

6.2.3 Викиди у воду

При виробництві первинного та вторинного цинку та кадмію метали та їх сполуки, а також матеріали у завислому стані є основними забруднювальними речовинами, що викидаються у воду. Йдеться про такі метали: Zn, Cd, Pb, Cu, Ni та Co (і меншою мірою Hg, Se, As та Cr) [25, OSPARCOM 1996], [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], [99, Hähre, S. 1998], [27, M. Barry et al. 1993], [234, UBA (D) 2007].

Іншими значними речовинами, що викидаються у воду, є хлориди, фториди та сульфати.

Можливими потоками стічних вод, що містять вищезазначені речовини, є:

- стічні води з етапів випалювання та очищення газу: мокрі скрубери, мокрі електростатичні фільтри, ртуть
- етап видалення;
- відпрацьовані води з процесу гранулювання шлаку, якщо такі є;
- аварійні розливи з різних гідрометалургійних процесів.

Інші потенційні водні потоки збираються і повторно використовуються як вода для промивання у фільтрах (якщо дозволяє якість):

- рідкі відходи від промивання анодів та катодів;
- ущільнювальна вода від вакуумних насосів;
- вода від загальних операцій, в тому числі від очищення обладнання, підлог тощо;
- скидання з циклів циркуляції охолоджувальної води (зазвичай за окремими замкнутими контурами);
- стік дощової води з поверхонь (зокрема зон зберігання) та дахів;
- потоки води, що перекачується з полігонів для захоронення або дозволених каверн.

6.2.3.1 Відпрацьовані води з установок з очищення

Зазвичай, системи мокрого очищення газу працюють з рециркуляцією рідини.

- Мокрі скрубери після процесу випалювання працюють з кислим розчином, насиченим SO_2. Скрубер видаляє фториди, хлориди, більшу частину ртуті та селену, і навіть деякі частки, які пройшли механічне очищення газів. Щоб уникнути накопичення забруднювальних речовин зі скрубера необхідно постійно зливати деяку кількість рідини. Розчинений SO_2 видаляють перед подальшою обробкою.
- Мокрі електростатичні фільтри також утворюють кислий розчин. Це переробляється після фільтрування. Деяку кількість рідини необхідно відводити з цього контуру, щоб видаляти накопичені забруднювальні речовини. Ця злита рідина обробляється та аналізується перед скиданням [98, Lijftogt, J.A. et al 1998].
- Фінальний етап видалення ртуті відбувається, якщо це необхідно, перед установкою з виробництва сірчаної кислоти та передбачає резервуар для газорідинного контакту або бризкальну градирню, де рідина містить реагент, який з'єднується з ртуттю і видаляє її. Хлорид ртуті ($HgCl_2$) часто використовується як реагент і реагує з металевою ртуттю з газу, утворюючи твердий осад (Hg_2Cl_2, також відомий як каломель). Відносно чиста рідина скидається як стічна вода для подальшої обробки. Твердий Hg_2Cl_2 трансформується та стабілізується для остаточної утилізації.

У контрольованому зливі завислі тверді частки та розчинені солі підтримуються у визначених межах. Вода, що скидається, обробляється окремо або на інтегрованій установці з очищення відпрацьованих вод для видалення твердих та розчинених часток перед скиданням. Призначення відокремленого матеріалу залежить від походження стічних вод. У Таблиці 6.13 вказано склад рідин з процесу газоочищення до обробки.

Таблиця 6.13: Типові стічні води від процесу газоочищення перед обробкою

Компонент	Концентрація (розчинений компонент)	Склад зважених речовин
Тверді речовини		250-1500 мг/л
Сульфат Хлорид Фторид	13–25 г/л 1,3–1,8 г/л 0,3–0,5 г/л	
Ртуть Селен Миш'як Цинк Кадмій Свинець	0,1–9 мг/л 0,1–50 мг/л 5–95 мг/л 0,1–2,5 г/л 1–95 мг/л 1–13 мг/л	5–30 % 10–60 % < 0,05 % 2–6 % 5–50 %
Джерело: [99, Hähre, S. 1998]		

6.2.3.2 Стоки злитого електроліту

Електроліт може бути злитий з камер для контролю накопичення домішок, наприклад, магнію, який може негативно впливати на роботу електролітичних камер. У виробництві цинку потоки в електролітичних камерах відносяться до того ж (замкнутого) водного циклу, що й етапи вилуговування та очищення. Сірчану кислоту, що утворюється в процесі електролізу, подають у процес вилуговування, а рідину, що залишилася, очищають і подають у процес електролізу [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], [99, Hähre, S. 1998].

Злиті стічні води циклу електролізу-вилуговування-очищення мають сильну кислотність і містять високі концентрації цинку та завислих твердих часток. Об'єм зливу сильно залежить від складу цинкових концентратів, які використовуються в процесі випалювання. Компоненти, які мають тенденцію накопичуватися в циклі, особливо магній, визначатимуть потік зливу та необхідну обробку. Збільшення кількості кальцію в циклі вилуговування через використання вторинного сировинного матеріалу контролюється шляхом видалення гіпсу з розчину для вилуговування. Злив із системи можна обробляти для видалення Mg, Na, K, хлоридів та фторидів [320, Huisman 2004].

6.2.3.3 Стічні води з інших джерел

Електроди, які використовуються під час електролізу, необхідно періодично промивати, щоб видаляти матеріал, що осів на поверхні. Діоксид марганцю утворюється на поверхні анодів внаслідок реакції кисню з розчиненим марганцем. MnO_2 залишається на поверхні анодів, утворює осад на дні електролітичних камер або утворює твердий шар в трубах. Всі ці залишки періодично віддаляються механічним способом або водою під високим тиском. Марганець відокремлюється від промивної води для повторного використання за межами об'єкта або утилізації. Катоди очищаються після видалення осаду електролітичного цинку. Рідкі відходи від промивання анодів та катодів є кислими та, ймовірно, містять мідь, цинк, свинець та завислі тверді частки [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], [99, Hähre, S. 1998].

Типові результати аналізу стічних вод деяких процесів наведено в Таблиці 6.14.

Таблиця 6.14: Типові результати аналізу стічних вод

Процес	Стічні води	Потік	Основні компоненти (мг/л)					
	($м^3$/рік)	($м^3$/год)	Pb	Cd	As	Zn	Ni	ХСК
Електроліз	НЗ	40–200	0,01–0,8	0,001–0,15	0,01	0,01–1,9	НЗ	НЗ
Процес ISP	НЗ	380–420	0,05–0,5	0,005–0,035	0,005–0,1	0,05–1,0	НЗ	НЗ
Процес SDHL вельц-печі з промиванням, без кристалізації	190 000–228 000	35	< 0,2	< 0,1	< 1,0	< 1,0	< 0,5	< 200
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [234, UBA (D) 2007]								

Якщо оксиди процесу Вельца промиваються, використання кристалізації може призвести до здійснення процесу без стічних вод. Також можна здійснити очищення стічних вод перед скиданням.

Короткий огляд потенційних джерел стічних вод та технології очищення наведено в Таблиці 6.15.

Таблиця 6.15: Потенційні джерела стічних вод та технології очищення

Технологічна установка	Операція/джерело	Варіанти використання/обробки
Технологічний процес взагалі	Дощова вода з доріг, дворів, дахів, вологе очищення доріг, очищення вантажівок тощо.	Повторне використання та/або установка очищення відпрацьованих вод
піч ISF	Очищення газу Газоочисна камера нагріву коксу	Рециркуляція, злив на установку з очищення відпрацьованих вод
Гранулювання шлаку	Стічні води з електростатичного фільтра Вода від процесу гранулювання	Рециркуляція та охолодження, злив на установку з очищення відпрацьованих вод
Випалювання/мокре очищення газу	Мокре очищення газів печі для випалювання	Установка з очищення відпрацьованих вод
Вилуговування	Загальні операції включно з мокрим очищенням газу	Повернення до процесу вилуговування
Очищення	Загальні операції	Повернення до процесу вилуговування
Електроліз	Очищення камер, анодів та катодів	Повернення до процесу вилуговування
Вилуговування кадмію	Вилуговування кадмію	Повернення до циклу вилуговування Zn або, якщо це неможливо, на установку з очищення відпрацьованих вод
Усі технологічні установки	Технічне обслуговування	Установка з очищення відпрацьованих вод
Установка з очищення відпрацьованих вод	Обробка стічних вод	Повторне використання для певних галузей застосувань/скидання

6.2.4 Технологічні залишки

Виробництво металів призводить до утворення ряду побічних продуктів, залишків та відходів, які перелічені в Європейському переліку відходів (Рішення Комісії від 3 травня 2000 р., що замінює Рішення 94/3/ЄС).
Тверді частки, що утворюються в результаті різних процесів та етапів боротьби з викидами, можуть мати одне з трьох можливих призначень:

- перероблення у процесі або перед ним;
- подальша обробка для вилучення інших металів;
- остаточна утилізація після обробки для забезпечення безпечної утилізації.

Значними є такі утворення твердих відходів.

- Електролітичне виробництво цинку є одним із основних джерел твердих відходів у кольоровій металургії. У процесі вилуговування утворюється відносно велика кількість твердих часток на основі заліза. Ярозит і ґетит класифікуються як шкідливі відходи через вміст вилужних елементів, таких як Cd, Pb і As. Існують технології зниження вилуговуваності, а іноді і проникності залишків, такі як процес Jarofix, процес сульфідування, ущільнення та обробка в пірометалургійному процесі.

- У процесі вилуговування та очищення та електролізу цинку також утворюються інші тверді речовини з високим вмістом металу. Зазвичай вони мають високий вміст певного металу і переробляються у відповідному виробничому процесі.

- Печі ISF або печі прямої виплавки є також важливими джерелами твердих шлаків. Ці шлаки піддавалися впливу високих температур і, як правило, містять низькі рівні вилуговуваних металів. Отже, після відповідних випробувань їх можна використовувати у якості будівельних матеріалів [289, USEPA 2008]. Директива про захоронення відходів визначає стандартні випробування Європейського комітету зі стандартизації на вилуговування гранульованих відходів (наприклад, EN 14405 та EN 12457/1-4).

- Тверді частки утворюються також в результаті очищення рідких відходів. Основним потоком відходів є відходи гіпсу ($CaSO_4$) та гідроксиди металів, які утворюються на установці з нейтралізації відпрацьованих вод. Ці відходи вважаються наслідком впливу на різні компоненти довкілля цих технологій обробки, але багато з них повертаються в пірометалургійний процес для вилучення металів.

- Пил або осад від обробки газів використовуються як сировина для виробництва інших металів, таких як Ge, Ga, In і As, або вони можуть бути повернені на плавильний завод або в цикл вилуговування для вилучення цинку.

- Залишки ртуті та селену утворюються в результаті попередньої обробки потоків ртуті або селену на етапі очищення газу. Цей потік твердих відходів становить близько 40-120 т/рік на типовому заводі. Через обмеження на використання ртуті вилучення ртуті з залишків Hg-Se або каломелю з етапу видалення ртуті більше не є можливим. Обидва побічні продукти повинні бути стабілізовані для остаточної утилізації. У виняткових випадках, коли відношення Se до Hg високе, можливе відновлення селену.

- Щодо відходів, що утворюються у виробництві кадмію з акумуляторів, пластмаси з корпусів розібраних акумуляторів промислового призначення та споживчих акумуляторів переробляються у пластиковій промисловості. Інші органічні фракції продаються у цементну промисловість як пальне, піддаються захороненню або спалюються на об'єкті з рекуперацією тепла. Ni-Fe електроди від розбирання акумуляторів промислового призначення та брухт Ni-Fe від термічної обробки продаються у промисловість неіржавкої сталі.

У Таблиці 6.16 показано варіанти використання або обробки залишків, що утворюються в результаті декількох процесів.

Таблиця 6.16: Залишки від процесів виробництва цинку

Етап виробництва	Залишки продукту або процесу	Кількість (кг/т Zn)	Варіанти використання або обробки
Процес RLE			
Піч для випалювання/установка з виробництва сірчаної кислоти	Сірчана кислота Пара Hg продукт (каломель) Залишок Hg-Se Зневоднений кислий осад	< 1200–1700 < 1700–2000 < 0,1 0,4 < 0,5	Продаж Перетворення енергії Контрольована утилізація Контрольована утилізація Контрольована утилізація
Установка для вилуговування	Залишок від вилуговування нейтральним розчинником (концентрат Zn/Fe) Ярозит, суміш Jarofix, гетит Ярозит + пряме вилуговування залишок сірки PbAg концентрат Кінцевий залишок, якщо Pb-Ag концентрат видалено	500 400–600 ([1]) 80 150 450 600	У піч ISF, вельц-піч або гаряче кислотне вилуговування, контрольована утилізація Контрольована утилізація Контрольована утилізація Вилучення Ag та Pb Контрольована утилізація або піч з виплавки Pb/Zn плавильний завод
Очищення	Кадмієва губка Цементат Cu Цементат Co та Ni	3–4 7–15	Продаж або контрольована утилізація Продаж Продаж
Цех електролізу	Гіпс	3–4	Цементний завод або контрольована утилізація
Очищення відпрацьованих вод	Осад	7–100 ([2])	Утилізація або на завод з виплавки Pb/Zn
піч ISF			
Агломераційний завод/установка з виробництва сірчаної кислоти	Кислий осад Hg продукт Димовий пил Сірчана кислота	0,25 0,15 200 1300	Контрольована утилізація Контрольована утилізація На завод з виробництва Cd Продаж
Завод з виробництва кадмію	Карбонат кадмію Сульфід талію Залишок від вилуговування	18 0,25 180	Продаж Контрольована утилізація На агломераційний завод
Плавильна піч Imperial.	Шлак печі ISF	600–900	Продаж або контрольована утилізація ([3])
Очищення відпрацьованих вод	Осад	30	Перероблення на агломераційному заводі
Дистилювання за методом «Нью-Джерсі»			
Ліквація	Свинець Твердий цинк	15 ([1]) 25–50 ([1])	На рафінування Pb або у піч ISF Повернення до печі ISF
Видалення As	Дрос	< 1–5 ([2])	Повернення до печі ISF
Обробка відпрацьованих газів	Димовий пил	10	Повернення на агломераційний завод
Процес Вельца з промиванням та кристалізацією			
Гранулювання шлаку	Шлак процесу Вельца (кг/т сухого продукту)	1600	Будівельний матеріал для доріг або на майданчик для утилізації
Промивання оксидів процесу Вельца	Сольовий залишок ([3]) (кг/т сухого продукту)	130	Утилізація в шахтах
Очищення відхідних газів	Абсорбент ([3])	НД	Контрольована утилізація
Переплавлення, рафінування			
Переплавлення, рафінування	Твердий цинк/ цинковий донний дрос	25	Перероблення у ZnO за межами об'єкту
Очищення відхідних газів	Концентрат цинкової золи	130	Перероблення за межами об'єкта у процесі Вельца або в печі ISF (за наявності)
Сортування брухту, плавильна піч	Брухт Al-Fe	50	Перероблення за межами об'єкта у якості брухту з високим вмістом Al або Fe

([1]) Кількість може відрізнятися в залежності від сировини.
([2]) Розрахункові значення.
([3]) В залежності від процесу, якості та норм.
Примітка: НД = немає даних.

6.2.4.1 Залишки від вилуговування

На утворення твердих часток на основі заліза (ґетит, ярозит або гематит) припадає найбільший обсяг відходів. Кількість залишків і відходів, що утворюються, залежить переважно від складу використовуваних концентратів. Концентрати містять різні концентрації домішок, які необхідно осаджувати та вилучати на певних етапах процесу. Більшість залишків реєструються як проміжні продукти, що транспортуються або ізольовані на об'єкті, відповідно до регламенту REACH і використовуються як сировина у внутрішніх або зовнішніх процесах. Інші залишки класифікуються як відходи та утилізуються після відповідної обробки (стабілізації) на полігон для захоронення відповідно до чинного законодавства. Приклади складу різних типів залишків показані у Таблиці 6.17.

Таблиця 6.17: Приклади складу різних типів залишків

Процес	Fe (%)	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Cd (%)
Гематит (з інтегрованим прямим вилуговуванням)	65–67	< 0,2	< 0,01	< 0,02	< 0,01
Гематит (без прямого вилуговування)	59	1	0,01	0,02	0,02
Ґетит	40–42	5–9	< 2	< 0,3	< 0,1
Парагетит	40	НД	НД	НД	НД
Звичайний ярозит	20–30	2–6	0,2–6	< 0,2	0,05–0,2
Ярозит з низьким рівнем забруднення	32	0,3	0,1	0,2	0,001
Доре з ярозитом	26	1	4	0,08	0,05
Ярозит/залишок сірки (40–50 % S)	9–11	2–5	8–10	< 0,4	< 0,1

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], [117, Krüger, J. 1999]

Як правило, ці залишки становлять:

- ярозит: 0,35–0,80 тонни на тонну виробленого цинку;
- ґетит: 0,3–0,35 т на тонну виробленого цинку;
- гематит: 0,2 тонни на тонну виробленого цинку.

Процеси з гематитом не можуть конкурувати з іншими з економічної точки зору, оскільки вони значно складніші та дорожчі в експлуатації. Крім того, гематит виявився неприйнятним як сировина в інших промислових галузях.

Використання концентратів з дуже низьким вмістом заліза дозволяє уникнути утворення цих залишків [227, IZA Report 2008], [240, Nyrstar Budel 2008]. Проте цинкових концентратів із низьким вмістом заліза мало, і лише один завод у ЄС працює із такими концентратами. У деяких випадках процес можна зупинити на етапі вилуговування нейтральним розчинником, а залишок цинку можна вилучити у вельц-печі або в процесі випарювання шлаку.

У суспензії після фільтрування і промивання все ще залишаються деякі вилужні метали. Залишок можна переробити в менш вилужну форму за допомогою нейтралізації та сульфідної обробки. Утилізація цих залишків може бути дорогою, оскільки для утримання матеріалу використовуються спеціально сконструйовані, футеровані ємності або ізольовані зони. Особлива увага приділяється запобіганню витоків, і ці ємності призводять до серйозної необхідності моніторингу підземних вод [98, Lijftogt, J.A. et al 1998], [99, Hähre, S. 1998]. Існує значний вплив на різні компоненти довкілля в порівнянні з процесами, які здатні утворювати інертний залишок. Директива 2008/98/ЄС про поводження з відходами повинна враховуватися в оцінці вимог щодо обробки або утилізації.

Як зазначено в Розділі 6.1.2.2, залишки від вилуговування з вищим вмістом цинку або свинцю можна переробляти у печах ISF або вельц-печах (концентрати Zn-Fe) та на заводі з виплавки свинцю (концентрати $PbSO_4$). Процес Jarofix доступний для стабілізації залишків вапном та цементом [229, IZA plant data 2008], а ущільнення може використовуватися для зменшення вмісту вологи та обсягу залишку заліза. Пірометалургійна обробка цих залишків також практикується в Кореї для отримання

невилужного шлаку й оксидів металів, що відновлюються [40, Ausmelt Ltd. 1996]. Повідомлялося про проблеми із накопиченням забруднювальних речовин. Про інші розробки повідомляється в Розділі 6.4.

Пірометалургійні процеси можуть мати перевагу для стабільності залишку, але витрати енергії набагато вищі. Це показано у Таблиці 6.18.

Таблиця 6.18: Споживання енергії у процесі рафінування цинку в залежності від процесу обробки залишку, що застосовується

		Електроліз	Інша ел. енергія	Кокс	Природний газ	Мастило	Енергетичний кредит	Загальна теоретична потреба в енергії
Гідро повний (1) Всього т Zn слябів: 5708	Середнє значення (МДж/т Zn)	12 410	2357	0	440	105	-237	15 075
Гідро короткий + піро (2) Всього т Zn слябів: 1848	Середнє значення (МДж/т Zn)	11 700	1980	11 800	2500	1400	0	29 380
Піро піч ISF (3) Всього т Zn слябів: 700	Середнє значення (МДж/т Zn)	0	3786	38 726	12 882	0	0	55 393
(1) RLE, включно з гідрометалургійною обробкою залишку + осадження ярозиту/ґетиту. (2) RLE до вилуговування нейтральним розчинником + додаткова пірометалургійна обробка залишку від вилуговування (у більшості випадків процес Вельца) (3) Повний пірометалургійний процес печі ISF. *Джерело:* [399, IZA 2012] на основі Brook Hunt 2008 р. (ред. 2009)								

6.2.4.2 Пірометалургійні шлаки та залишки

Шлаки з печей ISF, печей для випарювання цинку і вельц-печей (якщо обробляються пил з дугової електропечі або подібна сировина) зазвичай містять дуже низькі концентрації вилужних металів. Тому вони, як правило, придатні для використання у будівництві [99, Hähre, S. 1998]. Вихід шлаку становить від 10 % мас до 70 % мас виробленого металу, залежно від використовуваної сировини.

Країни-члени використовують низку стандартних тестів на вилуговування, і вони є специфічними для кожної конкретної країни. Вивчаються процеси для зниження вмісту залучених металів, щоб у майбутньому забезпечити придатність до будівництва та інших галузей застосувань.У Таблиці 6.19 та Таблиці 6.20 наведено деякі значення елюату, засновані на німецькому методі випробувань на вилуговування DEVS4

Таблиця 6.19: Значення елюату гранульованого шлаку печі ISF

Компонент	Елюат гранульованого шлаку печі ISF (згідно з DEVS4) (мг/л)
Zn	0,02–0,1
Pb	0,005–0,1
As	0,001–0,02
Fe	0,05–0,2
Cu	< 0,001–0,05
pH	7–11
Джерело: [99, Hähre, S. 1998]	

Таблиця 6.20: Значення елюату для кислого шлаку процесу Вельца

Компонент	Елюат шлаку процесу Вельца (згідно з DEVS4) (мг/л)
Zn	0,05
Pb	0,02
As	0,008
Crtot	0,002
Ni	0,005
Fe	0,5
Cu	0,05
F	1
Cl	5
pH	9,9
Джерело: [99, Hähre, S. 1998]	

6.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ

У розділах цього документа під назвою «Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ» викладено технології, які зазвичай мають потенціал для досягнення високого рівня захисту довкілля в галузях, що охоплюються цим документом. Передумови способу опису технологій надано у Розділі 2.12 та Таблиці 2.10.

У цьому розділі наведено ряд технологій запобігання або зменшення викидів та залишків, а також технологій зниження загального споживання енергії. Усі вони представлені на ринку. Приклади наведено для демонстрації технологій, що демонструють хороші екологічні показники. Технології, наведені у якості прикладів, ґрунтуються на інформації, наданій галуззю, країнами-членами ЄС, а також на оцінці Європейським бюро з комплексного запобігання та контролю забруднення. Загальні технології, описані у Главі 2 стосовно загальних технологічних процесів, значною мірою застосовні до процесів у цьому секторі та впливають на те, як контролюються та керуються основні та супутні процеси.

6.3.1 Виробництво цинку з використанням первинних та вторинних матеріалів

6.3.1.1 Технології зменшення викидів від приймання, поводження та зберігання сировини

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від приймання, зберігання та поводження з первинною та вторинною сировиною, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006].

Технології, що застосовуються для зниження викидів під час приготування усередненої сировини, розглядаються в Розділі 6.3.1.2.1, оскільки у виробництві цинку обидва потоки обробляються в одних і тих системах зниження викидів пилу.

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Див. Розділ 2.12.5.1.4.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення дифузних викидів пилу в повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Завод I повідомив дані про ефективність рукавного фільтра на цих етапах процесу. Діапазон виміряних значень пилу становить 0,39–6,68 мг/Нм^3, із середнім значенням 1,9 мг/Нм^3.

Німецький завод із виробництва первинного цинку застосовує рукавний фільтр для скорочення викидів із силосу, де зберігаються випалені матеріали. У 2005 р. було проведено 18 вимірювань, а швидкість потоку знаходилася в межах від 2700 Нм^3/год до 5340 Нм^3/год. Викиди пилу та металів склали:

- пил: <0,4–0,7 мг/Нм^3;
- свинець: 0,002–0,011 мг/Нм^3;
- нікель: <0,001–0,003 мг/Нм^3;
- цинк: 0,02–0,08 мг/Нм^3.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Завод I.

Довідкова література
[385, Germany 2012], [399, IZA 2012]

6.3.1.2 Гідрометалургійне виробництво цинку

6.3.1.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів в результаті випалювання первинних матеріалів

Опис
Технології, які слід розглянути:

- волога сировина; досягається завдяки системі розпилення води, встановленої на конвеєрній стрічці перед піччю для випалювання у псевдозрідженому шарі;
- повністю закрите технологічне обладнання (див. Розділ 2.12.4);
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- гарячий електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1) з циклонами (див. Розділ 2.12.5.1.3) у якості необов'язкового попереднього етапу;
- скрубери (див. Розділ 2.12.5.1.6), мокрий електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.2) та методи усунення забруднення ртуттю (див. Розділ 2.12.5.5).

Технічний опис
Рукавний фільтр
Цинкові концентрати зазвичай мають відносно високий вміст вологи (~ 10 %), що дуже ефективно запобігає викидам пилу під час поводження з ними, особливо у разі використання повністю закритого обладнання. У випадку запиленого сировинного матеріалу, наприклад матеріалу з дуже низьким вмістом вологи, або для поводження з випаленими матеріалами, застосовуються рукавні фільтри для боротьби з каналізованими викидами від підготовки сировини для печі для випалювання (дозувальні пристрої, а також помел та подрібнення, якщо застосовуються) та вторинними викидами від самої печі для випалювання.

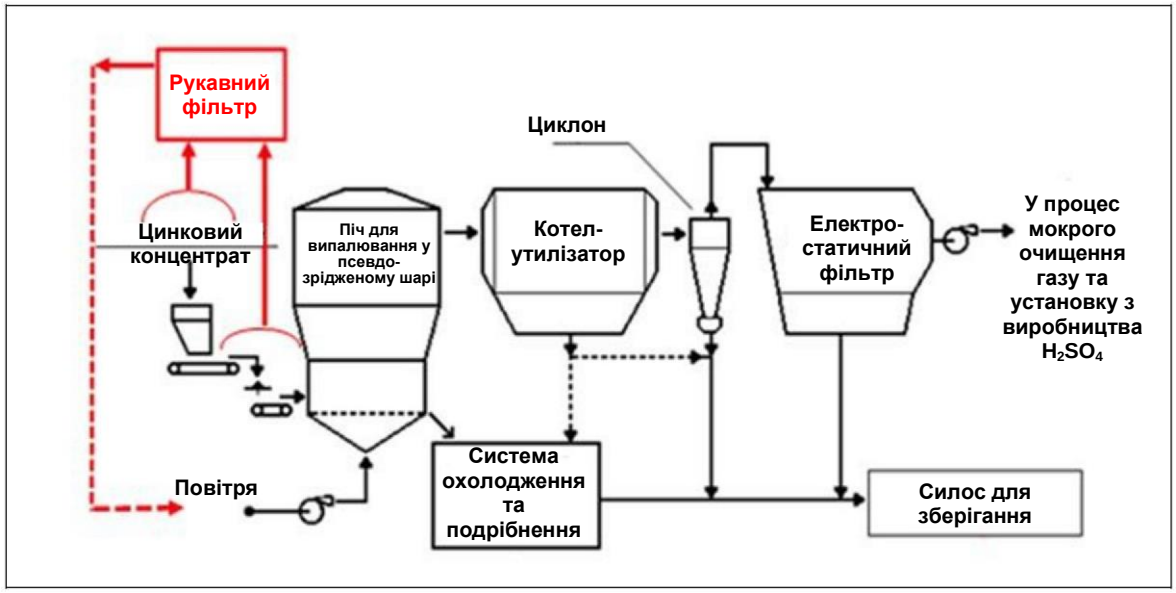


Рисунок 6.21: Уловлювання та боротьба з викидами від підготовки сировини для печі для випалювання та для процесу випалювання

Рукавні фільтри або керамічні фільтри забезпечують кращу ефективність видалення пилу, ніж електростатичний фільтр, коли вони використовуються на цьому етапі процесу.

Гарячий електростатичний фільтр з використанням циклону у якості необов'язкового попереднього етапу
Цей етап сухого очищення застосовується для вилучення якомога більшої кількості обпаленого пилу. За необхідності перед повторним використанням обпаленого пилу в процесі відбувається вилуговування хлориду або кадмію.

Скрубери, мокрий електростатичний фільтр і методи усунення забруднення ртуттю
Цей етап мокрого очищення застосовується для отримання відхідного газу, придатного для подання на установку з виробництва сірчаної кислоти.

Залишки з мокрого електростатичного фільтра та від видалення ртуті піддаються захороненню, якщо вони не використовуються для інших процесів. Гази з високим вмістом SO_2 мають відносно невеликий об'єм у порівнянні з іншими потоками.

Досягнуті екологічні переваги
Волога сировина
- Зменшення викидів пилу.
- Підвищення стабільності шару.

Повністю закрите технологічне обладнання
- Запобігання дифузним викидам у повітря.
- Без втрат матеріалу.

Рукавний фільтр
- Зменшення викидів у повітря.
- Повторне використання пилу.

Гарячий електростатичний фільтр з використанням циклону у якості необов'язкового попереднього етапу
- Зменшення викидів пилу та летких металів (Zn, Pb, Hg, As or Cd).
- Повторне використання вловленого пилу в сухій частині процесу очищення відхідних газів, оскільки він за хімічним складом схожий на обпалений матеріал, що вивантажується з печі, та може бути повернений до системи поводження з обпаленими матеріалами.

Скрубери, мокрий електростатичний фільтр і методи усунення забруднення ртуттю
- Зменшення викидів пилу та летких металів (Zn, Pb, Hg, As or Cd). Крім видалення пилу потрібне очищення газів для отримання сірчаної кислоти товарної якості.
- Зменшення викидів ртуті. Коли ртуть присутня у сировині, вона вловлюється за допомогою спеціального обладнання, що може відрізнятися залежно від об'єкта. Також видалення ртуті потрібне для отримання сірчаної кислоти товарної якості.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавний фільтр

У Таблиці 6.21 показані викиди пилу від підготовки сировини та печі для випалювання.

Таблиця 6.21: Викиди пилу від підготовки сировини та печі для випалювання

Завод		A		A		B		H	
		У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.
Потік	$Нм^3$/год	27 184	НЗ	10 630	НЗ	4655	НЗ	4000	НЗ
Пил	мг/$нм^3$	1,04	3,1	0,54	3,1	0,21	0,51	1,6	2,6
Zn	мг/$нм^3$	0,69	НЗ	0,35	НЗ	0,12	0,29	0,8	1,2
Cd	мг/$нм^3$	0,0060	НЗ	0,0030	НЗ	0,0005	0,001	0,03	0,04
Pb	мг/$нм^3$	НЗ		НЗ		0,0032	0,008	0,09	0,3
Технологія, що застосовується		Рукавний фільтр							
Частота відбору проб	кількість разів/рік	0,5		0,33		1		2	

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Німецький завод із виробництва первинного цинку застосовує рукавний фільтр для скорочення викидів із млина, у якому здійснюється помел випалених матеріалів. У 2005 р. було виконано шість вимірювань, швидкість потоку склала 9670 $Нм^3$/год. Викиди пилу та металів склали:

- пил: 1,1–3,4 мг/$Нм^3$;
- свинець: 0,031–0,132 мг/$Нм^3$;
- нікель: <0,001 мг/$Нм^3$;
- цинк: 0,7–1,7 мг/$Нм^3$;
- миш'як: < 0,001–0,005 мг/$Нм^3$.

Гарячий електростатичний фільтр з використанням циклону у якості необов'язкового попереднього етапу
У Таблиці 6.22 наведено приклад даних щодо зниження викидів пилу на етапі сухого очищення. Після сухого очищення газу потік надходить у секцію мокрого очищення газу.

Таблиця 6.22: Видалення пилу в секції сухого очищення газу установки з випалювання (решітка ~ 120 м^2) перед секцією мокрого очищення газу

Етап процесу (вихідний потік)	Потік газу (макс.) (Нм^3/год)	Температура (макс.) (°C)	Пил (макс.) (мг/нм^3)
Піч для випалювання у псевдозрідженому шарі	88 307	980	300 000
↓			
Котел-утилізатор	88 814	350	150 000
↓			
Циклони (необов'язковий етап)	89 380	350	30 000
↓			
Електростатичний фільтр	90 000	350	200

Скрубери, мокрий електростатичний фільтр і методи усунення забруднення ртуттю
У Таблиці 6.23 показаний типовий приклад зниження викидів пилу на етапі вологого очищення.

Таблиця 6.23: Зниження викидів пилу в системі мокрого очищення газу перед перетворенням на установці з виробництва H_2SO_4

Потік газу (Нм^3/год)		Температура (°C)		Пил (мг/нм^3)	
Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід
80 000–90 000	80 000–90 000	300–350	<30	<200	< 0,5

Вихідним потоком системи мокрого очищення газу є не точка викиду, а внутрішня точка всередині замкнутого циклу очищення газу. Непряме виявлення викидів у цій точці здійснюється шляхом аналізу якості сірчаної кислоти.

Концентрація ртуті (загальна) перед фільтруванням може варіюватися від 10 мкг/м^3 до 9900 мкг/м^3, а після фільтрування — від 3 мкг/м^3 до 50 мкг/м^3, що становить 70–99,7 % видалення залежно від використовуваних технологій видалення ртуті. Подальша якість кислоти забезпечує концентрацію ртуті нижче 1 часток на млн. Проте, сучасна тенденція на ринку вимагає сірчаної кислоти з вмістом ртуті менше ніж 0,5 часток на млн.

Викиди SO_2 та туману з димової труби установки з виробництва сірчаної кислоти описані у Розділі 2.12.5.4.

Вплив на різні компоненти довкілля
Рукавний фільтр
Збільшення енергоспоживання.

Гарячий електростатичний фільтр з використанням циклону у якості необов'язкового попереднього етапу
Збільшення енергоспоживання.

Скрубери, мокрий електростатичний фільтр та методи усунення забруднення ртуттю
Відпрацьовані води від мокрого очищення газу містять дуже багато галогенів і повинні випускатися на установку з очищення відпрацьованих вод.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Зазвичай застосовуються змочування сировини, закрите технологічне обладнання та рукавні фільтри.

У виробництві цинку використання гарячого електростатичного фільтра, мокрого електростатичного фільтра та методів усунення забруднення ртуттю пов'язане з наявністю установки з виробництва сірчаної кислоти.

Застосування методів усунення забруднення ртуттю пов'язане з вимогами щодо бажаної якості сірчаної кислоти.

Економічні аспекти
Оскільки сірчана кислота є основним побічним продуктом випалювання цинкової обманки, зручність і вартість транспортування кислоти до кінцевого споживача можуть стати перешкодою для встановлення установки для випалювання цинкової обманки з відновленням сірки у вигляді сірчаної кислоти.

Стимул до впровадження
- Законодавчі вимоги екологічних норм.
- Повернення пилу у процес.
- Виробництво сірчаної кислоти з комерційно прийнятним вмістом ртуті.

Приклади заводів
Широко застосовується на всіх заводах у Європі, які використовують процес RLE.

Довідкова література
[227, IZA Report 2008], [385, Germany 2012], [399, IZA 2012].

6.3.1.2.2 Технології запобігання та зменшення викидів під час обробки обпаленого матеріалу

Опис
Технології, які слід розглянути:
- повністю закрите технологічне обладнання (див. Розділ 2.12.4);
- експлуатація обладнання під негативним тиском (аспіраційний вентилятор);
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4) або скрубер.

Технічний опис
Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4) або скрубер
Рукавні фільтри зазвичай застосовуються для очищення дифузних викидів із систем охолодження та подрібнення, обробки обпаленого матеріалу та силосів для зберігання, як показано на Рисунку 6.22. Тільки один завод у Європі використовує скрубер замість рукавного фільтра для зниження викидів, і в цьому випадку він застосовується на етапі помелу обпаленого матеріалу.

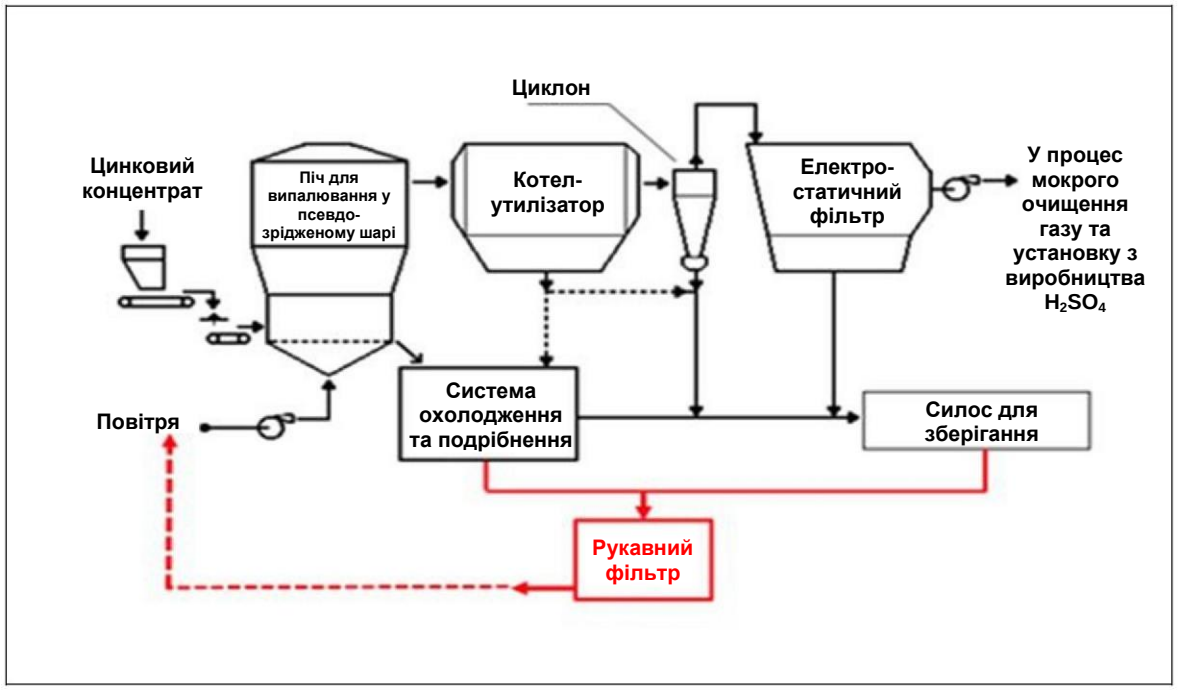


Рисунок 6.22: Уловлювання та зменшення викидів від обробки обпаленого матеріалу

Досягнуті екологічні переваги

Повністю закрите технологічне обладнання та робота обладнання під негативним тиском

- Запобігання дифузним викидам у повітря.
- Без втрат матеріалу.

Рукавний фільтр або скрубер

- Зменшення викидів пилу та летких металів (Zn, Pb, Hg, As or Cd).
- Повторне використання обпаленого матеріалу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

У Таблиці 6.24 наведено дані щодо викидів під час помелу, транспортування та зберігання обпаленого матеріалу для кожного окремого заводу.

Таблиця 6.24: Дані про викиди установки для випалювання під час помелу, транспортування та зберігання обпаленого продукту

Завод		**B**		**B**		**D**	**E**		**F**		**F**		**G**		**H**
		Зберігання та обробка обпаленого матеріалу		Помел обпаленого матеріалу		Помел, зберігання та обробка обпаленого матеріалу	Помел, зберігання та обробка обпаленого матеріалу		Пневматичне транспортування		Помел обпаленого матеріалу		Помел та зберігання обпаленого матеріалу		Зберігання обпаленого матеріалу
		Середнє значення	Макс.	Середнє значення	Макс.	Середнє значення	Середнє значення	Макс.	Середнє значення	Макс.	Середнє значення	Макс.	Середнє значення	Макс.	Середнє значення
Потік	$Нм^3$/год	2972	НЗ	3386		4250	22 281		3162		9857		7000		3500
Пил	мг/$нм^3$	2,16	5,40	0,54	1,35	НЗ	0,89	2,21	0,47	1,0	1	4,9	3,5	4,0	3,6
Zn	мг/$нм^3$	1,36	3,39	0,34	0,84	0,4	0,62	1,55	0,25	0,55	0,53	2,8	НЗ	НЗ	2,15
Cd	мг/$нм^3$	0,0038	0,01	0,0010	0,002	0,002	0,0007	0,002	0,0010	0,004	0,002	0,01	0,044	0,1	0,004
Pb	мг/$нм^3$	0,0645	0,16	0,0162	0,04	0,02	0,0057	0,014	0,010	0,23	0,03	0,12	0,009	0,01	0,27
As	мг/$нм^3$	0,0008	0,002	0,0001	0,0004	0,001	НЗ		НЗ		НЗ		НЗ		НЗ
Cu	мг/$нм^3$	0,0092	0,023	0,0012	0,006	0,02	НЗ		НЗ		НЗ		НЗ		НЗ
Технологія, що застосовується		Рукавний фільтр									Мокрий скрубер		Рукавний фільтр		
Частота відбору проб	кількість разів/рік	1		1		2	3		12		12		12		2

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Широко застосовується на всіх заводах у Європі, які використовують процес RLE.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Повернення пилу у процес.
- Охорона праці.
- Запобігання забрудненню довкілля.

Приклади заводів
Широко застосовується на всіх заводах у Європі, які використовують процес RLE.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.1.2.3 Технології запобігання та зменшення викидів від вилуговування та розділення твердої та рідкої фаз

Опис
Технології, які слід розглянути:
- комплекс технологій запобігання викидам із резервуарів для вилуговування та відстійників;
- Комплекс технологій запобігання викидам від розділення твердої та рідкої фаз;
- мокрі скрубери (див. Розділ 2.12.5.2.2) з водою з подальшим застосуванням краплевловлювачів;
- відцентрові системи;
- краплевловлювачі.

Технічний опис
Комплекс технологій запобігання викидам із резервуарів для вилуговування та відстійників
- Резервуар повинен бути закритий кришкою, щоб уникнути дифузного викиду аерозольних часток. Коли технологічний процес вимагає відкриття кришки, необхідно вжити запобіжних заходів для належного обмеження викидів (наприклад, контроль видалення/негативного тиску, кришки для отворів для відбору проб або очищення, герметизація валу мішалки).
- Якщо резервуар вентилюється, вентиляційна труба повинна бути підключена до системи боротьби з викидами (якщо цього вимагають рівні викидів).
- Використання центральної системи боротьби з викидами штучної тяги.
- Використання єдиної системи боротьби з викидами з резервуара, природної або штучної тяги.
- Жолоби вхідного та вихідного потоків технологічної рідини біля реакційного резервуара повинні бути покриті.
- Сам резервуар повинен мати герметизацію/відстійник, що прилягає до землі, щоб запобігти потраплянню пролитої рідини у ґрунт.
- Резервуар повинен бути розташований у водонепроникній зоні з обвалуванням відповідно до місцевих екологічних норм.

Комплекс технологій запобігання викидам від розділення твердої та рідкої фаз
Процеси вилуговування зазвичай мають один або кілька етапів фільтрування, на яких тверді частки ефективно видаляються з технологічної рідини. Для фільтрування залишків заліза, таких як ярозит і ґетит, зазвичай використовуються вакуумні фільтри та обертові або горизонтальні стрічкові системи. На цьому етапі виникає кілька проблем із викидами, і в цьому короткому списку зазначені деякі з важливих проблем.

- Вакуумні насоси/повітродувки зазвичай використовують воду як герметик. На цю воду впливатиме вміст металу в крихітних краплях, що надходять із вакуумного сепаратора,

та її необхідно суворо контролювати. Несправність на етапі сепаратора може призвести до високого вмісту металів у воді. Повторне використання цієї води є стандартною практикою, і оскільки вода також буде нагріватися, необхідно додати будь-який етап охолодження. Злив води може потребувати очищення перед скиданням. Оскільки вода вакуумних фільтрів під час роботи забруднюється металами, більшість заводів замість прісної води використовують перероблену технологічну воду з низьким вмістом металів для вакуумних насосів. Це знижує загальне споживання води.

- Для підтримання належних та безпечних умов експлуатації вакуумні фільтри зазвичай накривають ковпаками, які уловлюють вологе повітря від фільтрування гарячих рідин. Це повітря міститиме дрібні краплі й, отже, може бути направлене в систему боротьби з викидами, на окремій установці або у комплексній системі.
- Важливим є промивання відокремлених твердих часток, особливо, якщо твердий матеріал є остаточним залишком для утилізації. Горизонтальні стрічкові фільтри допускають наявність декількох зон промивання, що у конструкції з установкою протитечії буде дуже ефективним для зниження вмісту залишкових водорозчинних елементів. Іншими ефективними фільтрувальними пристроями є мембранні фільтрпреси та стрічкові фільтри безперервної дії, що працюють під тиском. Загальновживаною практикою є повторне використання нагрітої охолоджувальної води з технологічних холодильників у якості води для промивання фільтрів. Ефективність промивання осаду у фільтрі підвищується за умови використання теплої води.

Очікувана ефективність промивання варіюватиметься в залежності від установки, але розумно очікувати вміст водорозчинного цинку нижче 1 % (волога маса) в ярозиті.

Мокрі скрубери (див. Розділ 2.12.5.2.2), відцентрові системи та краплевловлювачі для вентиляційних отворів та димоходів

- Очищення водою з подальшим використанням краплевловлювачів, при цьому вода для промивання повертається в процес.
- Відцентрові системи, в яких краплі з вентиляційного повітря змушені вдарятися об стіну після того, як їм було задано круговий напрямок руху статичним пропелером у реакторі з подвійними стінками, який збирає рідину та відправляє її назад у процес.
- Краплевловлювачі різних типів, з уловленим туманом та конденсатом, що стікає назад у резервуар по вентиляційній стінці.
- Належним чином спроєктована димова труба з гідродинамічними умовами, що дозволяють пару осідати, часто може бути достатньо для зменшення викидів туману.

Вимога зниження викидів також залежить від місцевої ситуації. Резервуари, розташовані всередині закритого приміщення, що погано вентилюється, потребують інших систем боротьби з викидами, ніж реактори, що знаходяться зовні на відкритому повітрі.

Згідно з досвідом, ефективність всіх вищезгаданих систем боротьби з викидами зазвичай перевищує 95 %. Існують різні проблеми, пов'язані з утворенням накипу та засміченням для всіх цих типів та процесів їх використання. Для підтримання належної роботи цих очисних установок необхідна програма профілактичного обслуговування.

Також варто зазначити, що під час запровадження нових систем боротьби з викидами слід подбати про те, де розмістити точки моніторингу або відбору проб, оскільки це надзвичайно важливо для належного та правильного відбору проб (щоб зробити можливим ізокінетичний відбір проб).

На Рисунку 6.23 показаний реакційний резервуар, обладнаний статичним краплевловлювачем хвильового типу та природною тягою Він має герметичну кришку та розміщений у басейн для збирання.

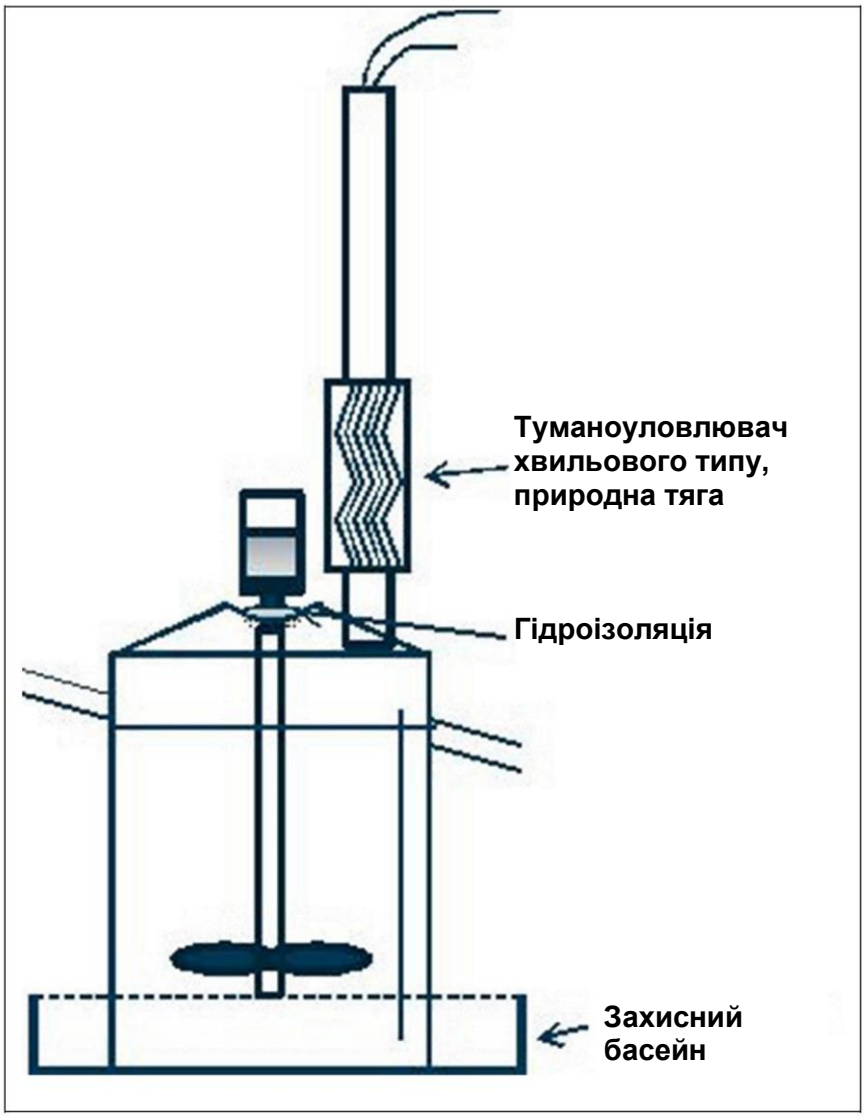


Рисунок 6.23: Єдина система боротьби з викидами з резервуара

Досягнуті екологічні переваги
Комплекс технологій запобігання викидам із резервуарів для вилуговування та відстійників та від розділення твердої та рідкої фаз
Запобігання викидам аерозольних часток та туману.

Скрубери, відцентрові системи та краплевловлювачі для вентиляційних отворів та димоходів
Зменшення викидів аерозольних часток та туману.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Ці установки прості та не потребують особливої уваги, але їх необхідно регулярно очищати, щоб вони працювали належним чином.

Центральні системи збору будуть складнішими, оскільки вони зазвичай мають вбудовані вентилятори та двигуни, але з точки зору експлуатації вони не потребують особливого обслуговування.

Відцентрові системи
Жодних даних не повідомлялося, але очікується, що викиди будуть аналогічні до викидів, зазначених для цього типу обладнання в Розділі 6.3.1.2.4.

Скрубер і краплевловлювачі

Викиди цинку із резервуарів, обладнаних, як показано на Рисунку 6.23 вище, зазвичай знижуються на 95 %. Наведено один приклад із заводу з виплавки цинку Boliden, Одда, з установкою такого типу: там під час установки у 2003 р. були зареєстровані викиди цинку з відстійника за умови вилуговування нейтральним розчинником до та після установки туманоуловлювача; результати показані у Таблиці 6.25.

Таблиця 6.25: Дані про викиди з відстійника за умови вилуговування нейтральним розчинником з краплевловлювачем і без нього

	Одиниці вимірювання	Перед встановленням	Після встановлення
Вентиляційний потік	$Нм^3$/год	6820	3858
Вміст Zn	(мкг/$нм^3$)	3311	264
Викиди	г/год	22,6	1,0
Відновлення	%		95,5
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]			

Дані про викиди за 2011 р. для окремих заводів наведено в Таблиці 6.26, Таблиці 6.27 та Таблиці 6.28 [378, Industrial NGOs 2012].

Таблиця 6.26: Дані про викиди від вентиляції резервуарів для вилуговування

Завод		A	A	B	D	E	F	G
Потік	$Нм^3$/год	12 266	17 921	42 831	11 440	17 400	40 000	12 500
Пил	мг/$нм^3$	НЗ	НЗ	6,0	4,5	0,6	НЗ	4,5
Zn	мг/$нм^3$	0,01–0,95	0,77	3,55	0,25	0,60	0,57	
Cd	мг/$нм^3$	< 0,002	0,008	0,023	0,184	0,002	0,005	0,11
Pb	мг/$нм^3$	< 0,03	0,031	0,168	0,194	0,025	0,030	0,009
Hg	мг/$нм^3$	НЗ	НЗ	НЗ	0,03	НЗ	НЗ	НЗ
As	мг/$нм^3$	НЗ	0,022	0,002	0,019	НЗ	НЗ	НЗ
Cu	мг/$нм^3$	НЗ	НЗ	0,024	0,21	0,006	НЗ	НЗ
Ni	мг/$нм^3$	НЗ	НЗ	0,0004	0,17	НЗ	НЗ	НЗ
Технологія, що застосовується		Краплевловлювач	Регулювальний клапан для регулювання потоку	Немає	Скрубер	Немає	Скрубер	Немає
Частота відбору проб	кількість разів/рік	1,00	0,5	1	0,2–2	3	12	3

Примітка: якщо не застосовується система боротьби з викидами, це означає, хо не відбувається зменшення потоку викидів. Проте, у більшості випадків вживаються запобіжні заходи для уникнення або мінімізації потоків викидів.
Для Заводів B та E дані про викиди охоплюють викиди з секції очищення.
НЗ = Не зазначено

Таблиця 6.27: Дані про викиди від прямого вилуговування

Потік	$Нм^3$/год	9 640
Zn	мг/$нм^3$	0,61
Cd	мг/$нм^3$	0,024
Pb	мг/$нм^3$	0,033
As	мг/$нм^3$	0,025
Hg	мг/$нм^3$	0,008
Технологія, що застосовується		Скрубер
Частота відбору проб	кількість разів/рік	0,5

Таблиця 6.28: Дані про викиди від процесу з ярозитом на Заводі A

Потік	$Нм^3$/год	8614
Zn	мг/$нм^3$	0,25
Cd	мг/$нм^3$	0,023
As	мг/$нм^3$	0,029
Технологія, що застосовується		Немає
Частота відбору проб	кількість разів/рік	0,2

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання електроенергії (вентилятори).

Економічні аспекти
Що стосується повітря, то впровадження цих технологій є відносно недорогим.

Що стосується води/рідини, то будівництво систем для запобігання розливу на землю є дорогим. Це означає встановлення розгалуженої інфраструктури для збирання поверхневих стоків.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів у повітря.
- Для заводів, де операції з вилуговування та очищення проводяться в приміщенні, існує додаткова необхідність у видаленні пари для підтримання робочого місця безпечним для здоров'я. Це є типовим для заводів у Північній Європі з холодними зимами.
- Запобігання просоченню в ґрунт.

Приклади заводів
Широко застосовується на всіх заводах у Європі, які використовують процес RLE.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.1.2.4 Технології запобігання та зменшення викидів в результаті очищення розчинів з використанням цинкового пилу та хімічних добавок

Опис
Технології, які слід розглянути:

- комплекс технологій запобігання викидам із реакційних резервуарів та відстійників;
- мокрі скрубери (див. Розділ 2.12.5.2.2) з водою або хімічними речовинами, такими як $KMnO_4$/розбавлена H_2SO_4, з подальшим застосуванням краплевловлювачів;
- відцентрові системи;

- краплевловлювачі.

Технічний опис

Реакції очищення відбуваються в резервуарах/відстійниках/фільтрах та мають ті ж проблеми з викидами, що й процес вилуговування. Загалом, методи усунення забруднення довкілля, що використовуються для процесу вилуговування, також можуть застосовуватися для очищення, хоча повинні бути вжиті особливі запобіжні заходи, щоб уникнути проблем, пов'язаних з виділенням газоподібного H_2 (водню), SbH_3 (стибіну) і AsH_3 (арсину). Для цього реакційні резервуари повинні бути добре вентильовані, щоб у відхідні гази потрапляло достатньо повітря для розведення водню до рівня нижче 4 % НКГВ.

Комплекс технологій запобігання викидам із реакційних резервуарів та відстійників

У цьому контексті відстійники та реакційні резервуари розглядаються разом. Для запобігання викидам із реакційних резервуарів необхідно враховувати такі основні моменти.

- Резервуар повинен бути закритий кришкою, щоб уникнути дифузного викиду аерозольних часток.
- Якщо резервуар вентилюється, то вентиляційна труба може бути підключена до системи боротьби з викидами.
- Використання центральної системи боротьби з викидами штучної тяги (з резервуванням у разі підключення великої кількості резервуарів).
- Використання єдиної системи боротьби з викидами з резервуара, природної або штучної тяги.
- Жолоби вхідного та вихідного потоків технологічної рідини повинні бути покриті.
- Сам резервуар повинен мати герметизацію від землі, щоб запобігти потраплянню пролитої рідини у ґрунт.
- Резервуар повинен бути обладнаний захисним басейном навколо нього з достатнім простором для уміщення повного резервуара у разі його пошкодження. Якщо декілька резервуарів об'єднані у групу, басейн повинен вміщати принаймні об'єм одного резервуара.

Мокрі скрубери (див. Розділ 2.12.5.2.2), відцентрові системи та краплевловлювачі

- Очищення водою або хімічними речовинами, такими як $KMnO_4$/розбавлена H_2SO_4, з подальшим використанням туманоуловлювачів (краплевловлювачів), при цьому промивна вода повертається в процес або обробляється окремо.
- Відцентрові системи, в яких краплі з вентиляційного повітря змушені вдарятися об стіну після того, як їм було задано круговий напрямок руху статичним пропелером у реакторі з подвійними стінками, який збирає рідину та відправляє її назад у процес.
- Краплевловлювачі різних типів, з уловленим туманом та конденсатом, що стікає назад у резервуар по вентиляційній стінці.

Згідно з досвідом, ефективність всіх вищезгаданих систем боротьби з викидами зазвичай перевищує 95 %. Існують різні проблеми, пов'язані з утворенням накипу та засміченням для всіх цих типів та процесів їх використання. Для підтримання належної роботи цих очисних установок необхідна програма профілактичного обслуговування.

Резервування важливе для технічного обслуговування, щоб завжди тримати рівень H_2 під контролем. Крім того, вентилятори підключені до аварійного джерела живлення, щоб у разі аварії в енергосистемі вентилятори продовжували працювати. Зазвичай використовуються туманоуловлювачі хвильового типу.

Також варто зазначити, що під час запровадження нових систем боротьби з викидами слід подбати про те, де розмістити точки моніторингу або відбору проб, оскільки це надзвичайно важливо для належного та правильного відбору проб (щоб зробити можливим ізокінетичний відбір проб).

Секція очищення на Заводі D обладнана, як показано на Рисунку 6.24, центральною системою боротьби з викидами з резервуванням.

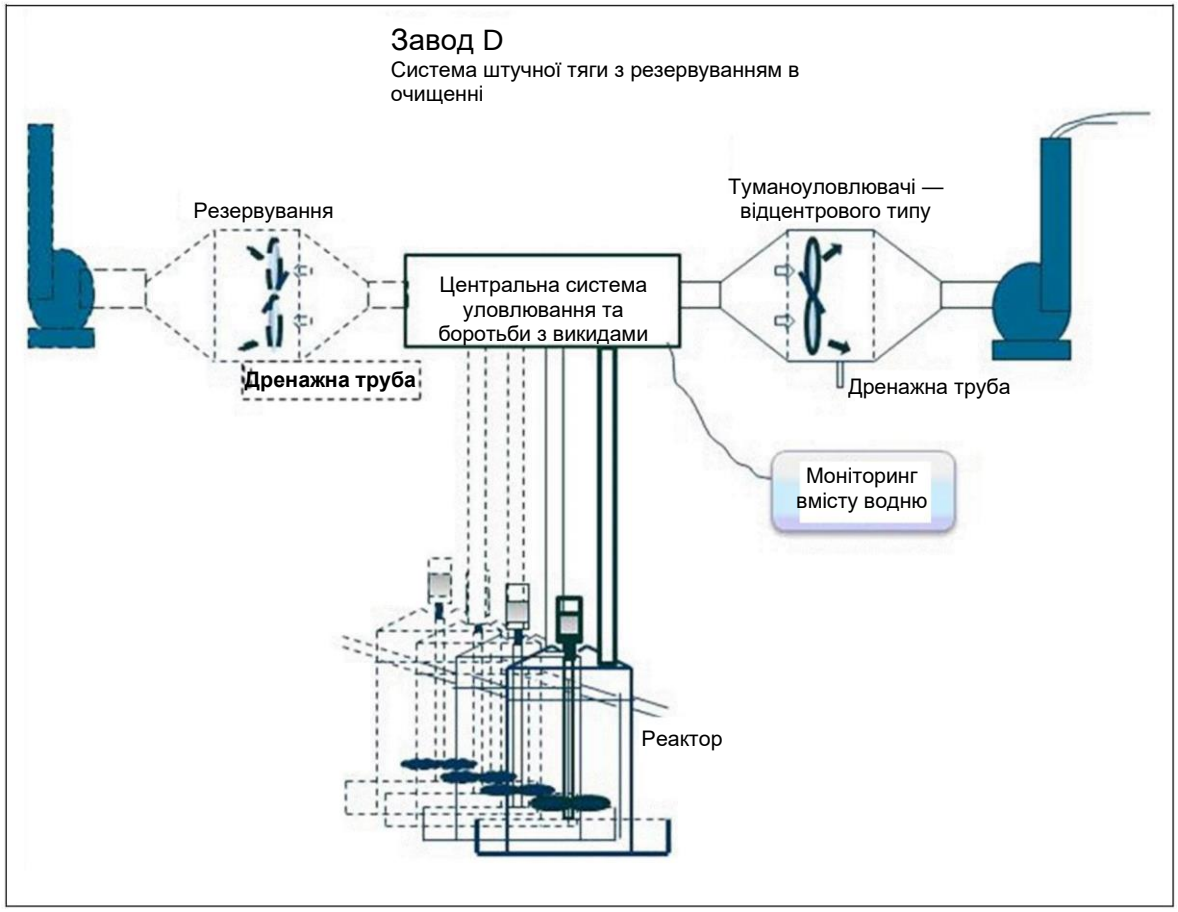


Рисунок 6.24: Центральна система боротьби з викидами з туманоуловлювачем відцентрового типу

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Операції переважно здійснюються в безперервному режимі за температури 60–90 °C (з використанням відпрацьованої пари печі для випалювання) з контрольованими добавками цинкового пилу.

Ці установки прості і не потребують особливої уваги, але їх необхідно регулярно очищати, щоб вони працювали належним чином.

Центральні системи збору будуть складнішими, оскільки вони зазвичай мають вбудовані вентилятори та двигуни, але з точки зору експлуатації вони не потребують особливого обслуговування.

Дані про викиди для окремих заводів наведено в Таблиці 6.29. У 2004 році на Заводі D було встановлено повний новий процес очищення з використанням передової технології. Інші заводи мають старішу інфраструктуру.

Таблиця 6.29: Дані про викиди в процесі очищення

Завод		A		A		D	F	
		У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	У середньому	Макс.
Потік	$Нм^3$/год	5488	НЗ	16 715	НЗ	13 850	31 000	НЗ
Zn	мг/$нм^3$	0,07	0,52	0,1	2,78	0,12	0,81	3,1
Cd	мг/$нм^3$	0,01	0,043	0,012	0,04	< 0,001	0,005	0,018
Pb	мг/$нм^3$	НЗ	НЗ	НЗ	0,177	НЗ	0,01	0,11
As	мг/$нм^3$	0,015	0,043	0,01	0,3	НЗ	НЗ	НЗ
As (окс.)	мг/$нм^3$	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	0,002	0,004
AsH_3	мг/$нм^3$	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	0,23	0,48
Технологія, що застосовується		Краплевловлювач		Скрубер		Відцентрова система	Скрубер	
Частота відбору проб	кількість разів/рік	0,5		0,5		0,5	12	
Етап процесу		Осадження Cu та Cd		Осадження Co		Осадження Co	Весь процес очищення	
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]								

Тільки Завод B повідомив про викиди сурми. Повідомлені дані (середнє значення 0,0012 мг/$Нм^3$ і максимальне значення 0,0020 мг/$Нм^3$) відповідають змішаним газовим потокам, а зазначена концентрація сурми є не тільки стибіном, а й сумішшю дрібнодисперсних крапель розчину та дрібнолисперсного захопленого пилу тартрату сурми, яка додається до очищення. Загальний річний викид сурми становить 0,44 кг.

Дані про викиди від холодильників, що використовують зовнішнє повітря, на окремих заводах наведено у Таблиці 6.30.

Таблиця 6.30: Дані про викиди від холодильників, що використовують зовнішнє повітря, у процесі очищення

Завод		A		A		B		E	
		У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.
Потік	1000 $Нм^3$/год	392		220	НЗ	415	НЗ	752	НЗ
Zn	мг/$нм^3$	0,07		0,05	0,11	0,38	1,89	0,61	1,53
Cd	мг/$нм^3$	0,01		НЗ		НЗ		НЗ	
Всього солей	мг/$нм^3$	НЗ		НЗ		0,93	4,66	1,5	3,75
SO_4	мг/$нм^3$	НЗ		НЗ		НЗ		0,9	2,25
Технологія, що застосовується		Краплевловлювач							
Частота відбору проб	кількість разів/рік	0,33		0,2		1		1	
НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]									

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання електроенергії (вентилятори).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Що стосується повітря, то впровадження цих технологій є відносно недорогим.

Що стосується води/рідини, то будівництво систем для запобігання розливу на землю є дорогим. Це означає встановлення розгалуженої інфраструктури для збирання поверхневих стоків.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів у повітря.
- Запобігання небезпеці вибуху, пов'язаної з високими концентраціями H_2.

Приклади заводів
- Краплевловлювачі: Завод A (процес на основі As) та D (процес на основі Sb).
- Скрубери: Завод A (процес на основі As) та F (процес на основі As).

Довідкова література
[136, Fugleberg, S. 1999], [234, UBA (D) 2007], [274, COM 2008]

6.3.1.2.5 Технології запобігання та зменшення викидів від електролізу

6.3.1.2.5.1 Технології запобігання та зменшення викидів від електролізних холодильників

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання краплевловлювача.

Технічний опис
В ході електролітичного процесу виділяється тепло, що призводить до підвищення температури розчину сульфату цинку. Це тепло має бути частково видалено, що робиться в циклі охолодження. Це можна розробити для одночасної оптимізації водного балансу процесу. У цьому випадку охолодження очищеного розчину та випарювання води поєднують, як правило, за допомогою атмосферних градирень. Для зменшення викидів туману в результаті цієї операції градирні обладнані краплевловлювачами.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів туману, що містить метали (переважно цинк), та сульфатів у повітря.
- Рециркуляція всієї рідини з уловленого туману у процес.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Продуктивність краплевловлювача в градирні щодо видалення туману залежить від швидкості газового потоку, гранулометричного складу туману, типу шару краплевловлювача (структура та матеріал), його загальної товщини (товщина шару та кількість шарів), обсягу і розподілу рідини, що розпилюється, і чистоті шару (ступінь засмічення через відкладення гіпсу).

Крім того, проєктування та вибір цих параметрів ускладнюються тим, що режим роботи атмосферної градирні може суттєво змінюватися через кліматичні та сезонні відмінності (температура та вологість повітря) та через коливання температури розчину сульфату цинку, що охолоджується (30-40 °C), що залежить від режиму електролітичного процесу (наприклад, від прикладеної густини струму).

У Таблиці 6.31 наведено дані про викиди на окремих заводах за 2011 р. з охолодженням з використанням зовнішнього повітря.

Таблиця 6.31: Дані викидів від охолодження електроліту з використанням зовнішнього повітря

Завод		A		B		D	E		F		G
Потік (середнє значення)	10^3 $Нм^3$/год	2284		2791		3948	2668		2000		480
		У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	НД
Zn	мг/$нм^3$	0,050	0,52	0,034	0,678	0,086	0,210	0,53	0,030	0,05	НД
Технологія, що застосовується		Краплевловлювач									
Частота відбору проб	кількість разів/рік	0,5		1		0,2	1		12		0

Примітка: на Заводах B та E для вимірювання викидів від холодильників, що використовують зовнішнє повітря, використовується інша технологія відбору проб. Оскільки обидва заводи мають однакове обладнання, можливо, відмінності пов'язані з технологією відбору проб.
Вимірювання викидів від градирень є складним і не стандартизованим. Вимірювання потоку газу та технології відбору проб для точкових джерел не завжди застосовні для викидів градирень, оскільки типові правила відстані, дійсні для керованих викидів, не можуть бути використані, оскільки димова труба відсутня. Дифузні викиди виходять з поверхні площею кілька десятків квадратних метрів зі значними коливаннями швидкості потоку і концентрація туману залежить від розташування над краплевловлювачем. Передова практика для отримання репрезентативних даних про викиди полягає в тому, щоб схарактеризувати цей розподіл швидкості потоку та концентрації туману шляхом вимірювання локальної швидкості газу та взяття проб газу в кількох точках по всій секції.
НД = немає даних.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Оскільки гіпс відкладається всередині градирні, у тому числі на краплевловлювачах, потрібне часте очищення градирень, щоб гарантувати ефективне охолодження та видалення туману. Періодично одна з градирень тимчасово виводиться з експлуатації, а відкладення гіпсу видаляються струменем води під високим тиском або вручну. Об'єм відхідних матеріалів з високим вмістом гіпсу, що вилучаються в результаті очищення градирень, залежить від вмісту кальцію у сировинному матеріалі заводу і від того, чи є інші етапи видалення гіпсу в гідрометалургійній частині процесу.

З правильним обслуговуванням градирень і добре спроєктований краплевловлювачами досягаються рівні викидів туману в діапазоні 1-3,5 мг/$Нм^3$ (приблизно і за умови, що склад туману аналогічний складу електроліту, загальний туман у сім разів перевищує концентрацію цинку).

Вплив на різні компоненти довкілля
Одним із впливів на різні компоненти довкілля є збільшення споживання енергії. Як правило, ефективність видалення туману зростає в міру збільшення товщини краплевловлювача, а його структура стає менш проникною, і водночас збільшується перепад тиску в краплевловлювачі (за умови постійного потоку). Вищий перепад тиску означає вище споживання енергії вентиляторами градирні. Крім того, можливо, що стійкість конструкції та конструкційний матеріал самої градирні визначають максимальний рівень тиску, який може бути застосований.

Іншими елементів впливу на різні компоненти довкілля є збільшення споживання води та утворення стічних вод та твердих відходів. Для забезпечення ефективного охолодження та видалення туману потрібне часте очищення градирень. Ці операції потребують використання води та утворюють стічні води та тверді відходи (гіпс). Можливість повної або часткової рециркуляції стічних вод в основний цикл сульфату цинку або необхідність їх спрямування на центральну установку з очищення відхідних вод залежить від загального водного балансу заводу. Матеріал, що містить гіпс, відокремлюється від промивної води на місці у секції електролізу (наприклад, шляхом відстоювання, фільтрації) і виходить з циклу у вигляді окремого потоку відходів або не відокремлюється на місці. У цьому випадку гіпс (у вигляді осаду або суспензії) спрямовується на центральну установку з очищення відпрацьованих вод, а частки гіпсу можуть бути частиною осаду з установки з очищення відпрацьованих вод або можуть бути відправлені в секцію вилуговування, якщо в процесі є етап видалення кальцію.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Зміна типу краплевловлювача або додавання шару в наявну градирню може призвести до технічних обмежень, пов'язаних з обмеженою надійністю/міцністю конструкції, доступністю та потужністю вентилятора.

Економічні аспекти
Для нових градирень установка краплевловлювачів є стандартною практикою, і її вартість входить до загальних інвестиційних витрат на градирню.

Заміна краплевловлювача на інший тип або встановлення додаткового краплевловлювача в наявних атмосферних градирнях передбачає:

- інвестиційні витрати;
- модифікації в конструкції, постачанні тощо, які вимагають встановлення нових/додаткових туманоуловлювачів (сильно залежить від місцевої ситуації);
- необхідність модернізації/оновлення вентиляторів (сильно залежить від місцевої ситуації);
- підвищені експлуатаційні витрати (переважно додаткові витрати на електроенергію через збільшення перепаду тиску).

Стимул до впровадження
Зменшення викидів туману, що містить метали (переважно цинк), та сульфатів у повітря.

Приклади заводів
Використання холодильників, що використовують зовнішнє повітря, та краплевловлювачів є звичайною практикою у всьому світі для виробників цинку, які використовують процес RLE.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.1.2.5.2 Технології запобігання та зменшення утворення туману від електровідновленню всередині цеху електролізу

Опис
Технології, які слід розглянути:

- належна вентиляція цеху електролізу;
- використання добавок, особливо піноутворювальних агентів, для мінімізації утворення туману.

Технічний опис
Належна вентиляція цеху електролізу
Для додаткового захисту атмосфери на робочому місці будівля цеху електролізу вентилюється. Існують і загальноприйняті дві системи
для уловлювання електролітного туману.

- Некомбінована: вентиляція цеху електролізу здійснюється (штучна чи природна тяга) незалежно від охолодження електроліту; градирні використовують повітря ззовні будівлі.
- Комбінована: вентиляція будівлі цеху електролізу здійснюється атмосферними градирнями, повітря з будівлі використовується як охолодний агент у градирнях. Вентиляційне повітря, таким чином, проходить через краплевловлювачі градирень і кислотний туман вилучається.

Використання добавок, особливо піноутворювальних агентів
Використання добавок, особливо піноутворювальних агентів, наприклад, лакриці, використовуються для мінімізації утворення туману. Підтримання відносно стабільного шару піни на поверхні розчину в електролітичних камерах перешкоджає розриванню бульбашок кисню, що утворюються на анодах, на поверхні з надлишковим виплеском дрібних часток рідини у повітря.

Досягнуті екологічні переваги
- Збереження атмосфери на робочому місці всередині будівлі з обмеженим впливом туману на операторів.
- Значне зниження утворення кислотного туману в електролітичних камерах за рахунок використання добавок, особливо піноутворювальних агентів.
- Зменшення викидів туману.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про викиди від вентиляції будівлі цеху електролізу наведено у Таблиці 6.32.

Таблиця 6.32: Дані про викиди від вентиляції будівлі цеху електролізу

Завод		A	B	D та E	F
Потік	$Нм^3$/год	1 600 000	1 200 000	Через холодильники	803 439
Zn	мг/$нм^3$	0,2	0,04		0,04
SO_3		НЗ	0,14		НЗ
H_2SO_4		НЗ	НЗ		0,29
Технологія, що застосовується		Немає	Немає		Немає
Частота відбору проб	кількість разів/рік	0,5	1		12
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]					

Використання піноутворювальних агентів, таких як лакриця, та вентиляція будівлі цеху електролізу дозволяють знизити концентрацію туману сірчаної кислоти в атмосфері робочого місця нижче 0,5 мг/$м^3$ (середньозважене значення за 8 годин).

Вплив на різні компоненти довкілля
Належна вентиляція цеху електролізу
Збільшення споживання електроенергії.

Використання добавок, особливо піноутворювальних агентів
Збільшення споживання добавок (наприклад, лакриці). Це збільшення незначне.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Додавання піностабілізуючих добавок тягне за собою більш високі інвестиційні витрати (зберігання, поводження, підготування та дозувальне обладнання) та експлуатаційні витрати (переважно витрати на реагенти).

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів туману, що містить метали (переважно цинк), та сульфатів у повітря.
- Зменшення викиду туману, що містить метали (переважно цинк) та сульфати, у повітря.

Приклади заводів
Додавання стабілізаторів піни в електролітичний процес і вентиляція цеху електролізу зазвичай застосовуються у всьому світі виробниками цинку, що використовують процес RLE.

Заводи, що застосовують ці технології: Заводи A, B (некомбінована вентиляція), C, D, E (комбінована вентиляція), F, G та H.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.1.2.5.3 Технології запобігання та зменшення кількості стічних вод з цеху електролізу

Опис
Технологія, яку слід розглянути, полягає у використанні вторинної системи уловлювання.

Технічний опис
Цехи електролізу забезпечені великою вторинною системою уловлювання для вилучення всіх розливів та рідин або суспензій з операцій з очищення. В принципі, всі зібрані розчини та тверді речовини повертаються на етап вилуговування.

Досягнуті екологічні переваги
Всі розливи та рідини або суспензії від операцій з очищення збираються у вторинній системі уловлювання і максимальною мірою повертаються на етап вилуговування. Тільки у виняткових випадках, наприклад, під час значних робіт з технічного обслуговування або в періоди, коли загальний водний баланс не дозволяє всьому зібраному розведеному розчину надходити до основного циклу розчину цинку, частина зібраного розчину прямує на центральну установку з очищення відпрацьованих вод.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Потрібні інвестиції у системи герметизації, проміжні резервуари для зберігання та схеми рециркуляції. Також є витрати, пов'язані з центральною установкою з очищення відпрацьованих вод, див. Розділ 6.3.4.

Стимул до впровадження
- Зменшення обсягу стічних вод, що підлягають очищенню на центральній установці очищення відпрацьованих вод.
- Загальний вихід цинку заводу.

Приклади заводів
Заводи з електролізом у Німеччині, Франції, Бельгії, Іспанії, Фінляндії, Болгарії, Норвегії, Польщі та Нідерландах.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.1.2.6 Технології запобігання утворенню стічних вод від гідрометалургійного виробництва цинку

Опис
Замкнена система з максимальною внутрішньою рециркуляцією потоків, що містять велику кількість вологи.

Технічний опис
Процес RLE в основному являє собою замкнену систему щодо сульфатного розчину: сірчана кислота, що утворюється під час електролізу, повертається на етап вилуговування, де вона використовується для розчинення цинку та інших елементів обпаленого матеріалу; потім розчин сульфату цинку очищають і подають в електролітичний процес. Отже, сульфати та вода не витрачаються у гідрометалургійних реакціях, а систематично використовуються повторно. Ця замкнута система є найважливішим способом запобігання утворенню потоків стічних вод.

Проте, на практиці водний баланс заводу необхідно постійно підтримувати. З одного боку, частина води зникає з циклу в результаті випаровування з резервуарів і відстійників і в градирнях, а також у вигляді вологи, що забирається побічними продуктами та відходами (наприклад, осади з фільтрів, такими як цементна мідь, залишки, що містять свинець та срібло, залишки заліза) і, можливо, внаслідок спеціальних операцій відведення для видалення домішок. З іншого боку, в цикл також надходить вода, така як дощова вода, вода для промивання осаду у фільтрі, вода для операцій очищення (наприклад, періодичне очищення анодів і катодів) і вода для герметизації насосів.

Для вилучення металів і сульфатів і розвантаження установки з очищення відпрацьованих вод стандартним підходом для заводу, що застосовує процес RLE, є рециркуляція вод, що містять метали та сульфати, після операцій очищення, промивання осаду фільтру тощо в загальний контур технологічного розчину:

- наскільки дозволяє водний баланс заводу (за об'ємом);
- поки склад води не викликає неприйнятних хімічних проблем або ризиків у гідрометалургійному процесі.

У цьому контексті потоки стічних вод, що містять органічні сполуки (наприклад, забруднені нафтою), як правило, вважаються непридатними для перероблення, оскільки органічні сполуки можуть шкідливо впливати на процес очищення або електролітичний процес. Крім того, води, що містять високі концентрації галогенів (Cl, F, Br) або (земельних) лужних металів (Na, K, Mg), не підлягають переробленню в основному циклі або використовуються лише в обмеженій мірі, оскільки ці домішки мають тенденцію накопичуватися у процесі та/або можуть викликати хімічні/технічні проблеми в електролітичному процесі (наприклад, корозія алюмінієвих катодів, пов'язана з хлоридами, утворенням токсичного газоподібного хлору на анодах) або інших етапах гідрометалургійного процесу. Ці потоки стічних вод прямують безпосередньо на установки з очищення відпрацьованих вод.

Сухі тверді матеріали від розливів та операцій з очищення у секціях випалювання та лиття (наприклад, сировина для печі для випалювання, обпалений матеріал, димовий пил, дрос) підтримуються сухими, якщо це можливо, якщо передбачається рециркуляція у секції випалювання; у разі рециркуляції на ділянку вилуговування та очищення вода може використовуватися доти, доки цього дозволяє водний баланс.

Крім основного циклу сульфату цинку, використання основних рідких відходів, що утворюються в процесі RLE, зазначено в Таблиці 6.33 нижче.

Таблиця 6.33: Варіанти використання потоків рідких відходів процесу RLE

Процес	Операція/джерело	Застосування
Піч для випалювання /кислотна установка	Мокре очищення газів печі для випалювання	На установку з очищення відпрацьованих вод (що містять галогени)
	Злив з котла та замкнутих циклів охолоджувальної води	На мокре очищення газу або вилуговування (основний цикл сульфату цинку)
	Операції з очищення/розливи	На вилуговування (основний цикл сульфату цинку)
Вилуговування-Очищення	Операції з очищення/розливи	На вилуговування та/або очищення (основний цикл сульфату цинку)
	Промивання осаду з фільтра	На вилуговування та/або очищення (основний цикл сульфату цинку)
	Мокре очищення газу в скрубері	На вилуговування та/або очищення (основний цикл сульфату цинку) у разі нелужного очищення або до установки з очищення відпрацьованих вод у разі лужного очищення (з вмістом (земельних) лужних металів)
	Етап зливання магнію	На установку з очищення відпрацьованих вод (з вмістом (земельних) лужних металів)
	Стави	На вилуговування (основний цикл сульфату цинку)
Електроліз	Очищення анодів і катодів	На вилуговування (основний цикл сульфату цинку)
	Інші операції очищення	На вилуговування (основний цикл сульфату цинку)
Лиття	Операції з очищення/розливи	На вилуговування (основний цикл сульфату цинку)

Залежно від їх якості деякі потоки води від певних операцій можуть бути використані для інших цілей, тому можна уникнути забору більшої кількості прісної води та/або знизити чистий потік на установку з очищення відпрацьованих вод.

Можна навести кілька прикладів конкретних застосувань: вода з операцій непрямого охолодження (наприклад, охолодний барабан для обпаленого матеріалу, ливарні форми) або зібрана забруднена дощова вода або вода з операцій з відновлення підземних вод/ґрунту може використовуватися для промивання осаду з фільтру, як ущільнювальна вода насосів для підживлення води у котлі або для очисних робіт. Якщо концентрації (земельних) лужних металів та галогенів у потоці води низькі, її можна використовувати для охолодження.

Повторне використання стічних вод з установки з очищення відпрацьованих вод зазвичай обмежене або неможливе через підвищений рівень вмісту галогенів та (земельних) лужних металів.

Досягнуті екологічні переваги
- Вилучення металів та сульфатів.
- Зменшення споживання води.
- Зниження навантаження на установку з очищення відпрацьованих вод (зменшення утворення відходів, зниження споживання енергії та реагентів та зменшення обсягу викидів).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Ступінь, до якої завод може повторно використовувати певні потоки, що містять велику кількість вологи, а також технічні та екологічні характеристики для цього настільки залежать від конкретного об'єкта, що має сенс лише оцінка у кожному конкретному випадку. Немає даних.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Підвищений ризик збою процесу отримання цинку (з можливими негативними наслідками для довкілля та/або безпеки).

- Залежно від загального водного балансу, рециркуляція потоків, що містять велику кількість вологи, в основний технологічний цикл може збільшити споживання енергії, особливо якщо необхідно випарувати надлишкову воду.
- В особливих випадках, наприклад, коли (слабко) забруднена вода використовується для заміни прісної води для приготування демінералізованої води, споживання реагентів та/або енергії для цієї операції може зростати.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Всі установки на основі процесу RLE використовують систему із замкнутим циклом щодо сульфатного розчину.

Можливості та обмеження заводу щодо повторного використання певних потоків, що містять велику кількість вологи, залежать від об'єкта та регіону. Вони залежать від наступних факторів:

- загальний водний баланс, на який своєю чергою впливають кліматичні та сезонні умови (які значною мірою визначають характеристики випаровування та охолодження), а також технологічні та ринкові умови (наприклад, наявність/відсутність етапу зливання (наприклад, операція зливання магнію, продаж очищеного розчину));
- схема заводу (наприклад, відстань між етапом процесу, на якому потік доступний/може бути доступний, та місцем, де цей потік потенційно може бути використаний);
- рівні домішок у процесі, таких як галогени та (земельні) лужні метали, які значною мірою залежать від складу сировини заводу (особливо від відносної кількості вторинної сировини) та від наявності/відсутності конкретних операцій зливання (наприклад, етап видалення гіпсу, етап видалення хлору, зливання магнію).

Економічні аспекти
Оскільки можливості заводу щодо повторного використання певних потоків, що містять велику кількість вологи, а також його технічна конструкція сильно залежать від конкретного об'єкта, рентабельність проєкту повинна оцінюватися в кожному конкретному випадку. Немає даних.

Стимул до впровадження
- Підвищення виходу вилучення металів та сульфатів.
- Зменшення загального споживання прісної води.
- Зниження навантаження на установку з очищення відпрацьованих вод (зменшення утворення відходів, зниження споживання енергії та реагентів та зменшення обсягу викидів).

Приклади заводів
Усі європейські заводи, що застосовують процес RLE (Заводи A, B, C, D, E, F, G та H).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.1.2.7 Технології запобігання та мінімізації утворення залишків та відходів з заводів з гідрометалургійного виробництва цинку

Опис
Перероблення або повторне використання залишків та відходів гідрометалургійного виробництва цинку.

Технічний опис
Концентрати містять домішки, які видаляються та осаджуються на подальших етапах процесу у вигляді твердого матеріалу (наприклад, пилу), рідини або шламу. Обробка концентрату може призвести до утворення залишків пилу, які переробляються та змішуються з концентратами. Якщо пил занадто дрібний, може знадобитися попередня обробка, наприклад, мікрогранулювання. Жоден із залишків, що утворюються в цьому процесі, не потребує спеціальної обробки. Процес випалювання майже повністю закритий. Завдяки покриттю технологічні залишки та потоки відходів мінімізовані.

Ртуть видаляється з газу процесу випалювання та осаджується залишок, що містить ртуть. Цей залишок змішують зі слабкою кислотою та відокремлюють шляхом фільтрування. Після розділення цей залишок можна стабілізувати та утилізувати. Як варіант, цей залишок можна додатково обробити шляхом дистилювання з отриманням чистої металевої ртуті. У процесі «Боліден-Норцинк» виробляється товарна металева ртуть, якщо передбачений етап електровідновлення. Якщо електровідновлення не передбачене, стійкі сполуки ртуті можна утилізувати безпечним способом. Жоден із заводів з виплавки цинку в ЄС-28, що використовують процес «Боліден-Норцинк», не виробляє металеву ртуть шляхом електровідновлення; ртуть, отримана в процесі виробництва кольорових металів, класифікується як відходи та має бути стабілізована та утилізована відповідно до чинного законодавства (наприклад, на полігоні для захоронення або у соляній шахті). Об'єм відходів з вмістом ртуті, що утворюються, можна значно зменшити шляхом дистилювання.

Кількість видаленої ртуті повністю залежить від діапазону концентрації ртуті у сировині. Типовий діапазон може становити 0,2–0,6 кг/т Zn (залишок після фільтрування) або 0,05–0,2 кг/т Zn чистої дистильованої металевої ртуті.

Залишки, що утворюються в процесі гідрометалургійного вилуговування та очищення, осаджуються на різних етапах процесу. Кількість осадів залежить головним чином від якості концентратів і ефективності осадження. Однією з основних фракцій залишку у гідрометалургійному процесі є залишок заліза (у вигляді ярозиту або ґетиту). Залишки заліза переважно утилізуються шляхом захоронення відповідно до чинного законодавства (норми щодо захоронення відходів, дозвіл на викид відходів у довкілля). Кількість залишку заліза, що утворюється, частково залежить від типу осаду (ґетит або ярозит), але більшою мірою залежить від концентрації заліза в концентратах. Технології мінімізації цієї кількості не існує. Концентрати з низьким вмістом заліза можна використовувати, щоб уникнути залишків заліза, але доступність концентратів цього типу дуже обмежена. У ЄС є лише один завод, який переробляє виключно концентрати з низьким вмістом заліза. Для цього компанія підписала довгострокові контракти з великим рудником, який містить концентрати з низьким вмістом заліза: рудником Century в Австралії. Оскільки рудник Century близький до виснаження, у майбутньому буде дуже складно експлуатувати завод з рафінування цинку виключно з використанням концентратів з низьким вмістом заліза.

Елементи, які крім цинку присутні у сировині заводу, необхідно вилучати та видаляти, щоб отримати чистий цинковий продукт та уникнути накопичення таких елементів у замкнутому гідрометалургійному циклі. Деякі з цих вилучених елементів концентруються у товарних «ізольованих на об'єкті або транспортованих проміжних продуктах» і зареєстровані відповідно до REACH. Такими вилученими елементами або побічними продуктами є:

- мідь (Cu) у цементній міді;
- кобальт-нікель (Co-Ni) у цементних Co-Ni;
- кадмій у кадмієвому брикеті, який іноді додатково очищається на місці та продається у вигляді кадмієвих паличок (див. Розділ 6.1.4.1); у якості альтернативи, Cd може бути утилізований у безпечне сховище відповідно до законодавства;
- свинець та срібло у проміжному продукті $PbSO_4$-Ag або залишок Pb тощо;
- марганець в осаді Mn (після внутрішнього перероблення);
- цинковий дрос (після внутрішнього перероблення);
- інші специфічні «проміжні продукти», які, якщо їх ізолювати, можуть надати можливості вилучення та використання таких елементів, як германій, індій та галій.

Інші технологічні залишки необхідно мінімізувати, інертизувати та піддати захороненню на об'єкті або за його межами:

- осад від очищення газу, наприклад, що містить деяку кількість свинцю, селену та ртуті;
- залишки заліза, за потреби включно з залишком процесу прямого вилуговування;
- залишки з етапу видалення гіпсу;
- осад від нейтралізації з установки з очищення відпрацьованих вод.

Досягнуті екологічні переваги

- Максимізація придатних для продажу «проміжних продуктів» для обробки та використання на об'єкті/за межами об'єкта.
- Мінімізація відходів, які необхідно зробити інертними та піддати захороненню.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Типові потоки відходів та залишки, що утворюються в процесі гідрометалургійного виробництва та обробки цинку, показано в Таблиці 6.34.

Таблиця 6.34: Типові потоки відходів та залишки, що утворюються в процесі гідрометалургійного виробництва та обробки цинку

Залишок/Відходи	Процес, у якому утворюється	Сума (кг/т Zn)	Варіанти подальшої обробки
Пил від зберігання та поводження з концентратом	Поводження з концентратом	НЗ	Переробка у процесі, де концентрат використовується у якості сировини
Пил від процесу випалювання	Сухе очищення газу процесу випалювання	НЗ	Він проходить через кульовий млин, а потім додається в силоси з обпаленим матеріалом разом з обсягом надлишкового обпаленого матеріалу, що виходить з печі для випалювання
Залишок, що містить ртуть (після фільтрування)	Видалення Hg (секція очищення газу)	0,3–0,6	Стабілізація та остаточна утилізація шляхом захоронення на полігоні, у безпечне сховище або на соляну шахту відповідно до чинних норм щодо захоронення відходів. Процес «Боліден-Норцинк», включно з процесом електровідновлення, виробляє товарний продукт
Очищена металева ртуть (після дистилювання)	Дистилювання після видалення Hg	0,05–0,2	Стабілізація й остаточна утилізація шляхом захоронення на полігоні, у безпечне сховище або на соляну шахту відповідно до чинних норм щодо захоронення відходів.
Залишок, що містить свинець та срібло	Вилуговування	0,3–0,5	Реєструється як транспортований проміжний продукт відповідно до регламенту REACH. Переробляється як сировина на сторонньому заводі. Також може бути утилізований шляхом захоронення або на соляну шахту відповідно до чинного законодавства
Залишок Cu	Очищення розчину	9–13	Реєструється як транспортований проміжний продукт відповідно до регламенту REACH. Переробляється як сировина на сторонньому заводі. Товарний побічний продукт
Залишок, що містить Co	Очищення розчину	3–7	Реєструється як транспортований проміжний продукт відповідно до регламенту REACH. Переробляється як сировина на сторонньому заводі. Товарний побічний продукт
Залишок Cd	Очищення розчину	2–4	Реєструється як транспортований проміжний продукт відповідно до регламенту REACH. Переробляється як сировина на сторонньому заводі. Товарний побічний продукт Також може бути утилізований шляхом захоронення або у безпечне сховище відповідно до чинного законодавства
Осад Mn	Електровідновлення/очищення розчину	3–6	Реєструється як транспортований проміжний продукт відповідно до регламенту REACH. Переробляється як сировина на сторонньому заводі. Товарний побічний продукт Також може бути утилізований шляхом захоронення або у безпечне сховище відповідно до чинного законодавства
Гіпсовий осад	Електровідновлення/очищення розчину	2–6	Реєструється як транспортований проміжний продукт відповідно до регламенту REACH. Переробляється як сировина на сторонньому заводі. Товарний побічний продукт Також може бути утилізований шляхом захоронення або у безпечне сховище відповідно до чинного законодавства
Примітка: НЗ = Не зазначено			

Вплив на різні компоненти довкілля
- Використання хімічних речовин для осадження (наприклад, пил Zn, $Ca(OH)_2$, NaOH, Na_2S, NaHS, $CuSO_4$).
- Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
В принципі, ця технологія застосовується всюди, але вона сильно залежить від місцевих умов (наприклад, морського середовища або у випадку заводу, віддаленого від моря, розташованого на великій річці або маленькому струмку, сировина для заводу є основним фактором).

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Стабільність роботи заводу.
- Повторне використання природних ресурсів.

Приклади заводів
Усі європейські заводи, що застосовують процес RLE (Заводи A, B, C, D, E, F, G та H).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.1.2.8 Технології вдосконалення утилізації залишків вилуговування гідрометалургійного виробництва цинку

6.3.1.2.8.1 Пірометалургійна обробка для вдосконалення утилізації залишків вилуговування гідрометалургійного виробництва цинку

Опис
Пірометалургійна обробка у вельц-печі. Використання цієї технології передбачає впровадження додаткових методів боротьби з викидами в повітря, таких як рукавні фільтри (див. Розділ 2.12.5.1.4) та мокрі скрубери (див. Розділ 2.12.5.1.6).

Технічний опис
Вельц-процес для пірометалургійного вилучення цинку з залишку вилуговування аналогічний процесу, що використовується для вилучення цинку з пилу дугової електропечі в сталеливарній промисловості. Основна відмінність полягає у тому, що газовий потік відрізняється, тому що відрізняється сировинний матеріал. Залишки після вилуговування містять сульфати, які розкладаються в газоподібному SO_2. Тому вельц-печі, що переробляють залишки вилуговування, застосовують адаптоване очищення газу.

У польській компанії ZGH Bolesław близько 90 % цинку вилучається на етапі вилуговування нейтральним розчинником. Решта цинку фіксується в практично нерозчинних феритах цинку, що становлять 20–25 % від загальної маси обпаленого матеріалу. Типовий склад залишку від вилуговування наведено у Таблиці 6.35.

Таблиця 6.35: Склад залишку від вилуговування нейтральним розчинником

Елемент	Концентрація (%)	Елемент	Концентрація (%)
Zn	14,5–20,0	SiO_2	1,8–2,5
Pb	7,5–11	B	6,5–9,0
Fe	20,0–30,0	S (у вигляді SO_4)	3,5–6,5
Cd	0,25–0,35	H_2O	18,0
As	0,2–0,3		
Mn	0,4–0,6		
Cu	0,15–0,25		
Джерело: [399, IZA 2012]			

Ферити цинку обробляються у двох вельц-печах (довжиною 40 м і внутрішнім діаметром 2,6 м), що працюють із трьома зонами. Завантажуваний матеріал складається із суміші феритів з максимальним вмістом піску 10 % та коксу або антрациту 40 %.

Гази печі переносять пил з вмістом цинку, що утворюється в печі, через пиловловлювальну камеру, потім через змішувальну камеру і трубчастий холодильник зі штучним повітряним потоком і, нарешті, через рукавний фільтр. Продукт оксиду процесу Вельца уловлюється на виході з холодильника та рукавного фільтра. Очищені від пилу гази остаточно десульфурують у мокрому скрубері, де вапняк вступає в реакцію з SO_2 та киснем з утворенням гіпсу.

Досягнуті екологічні переваги
Усунення необхідності тривалого зберігання ярозиту чи ґетиту у відстійниках.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
За типової ефективності вилучення цинку 85–87 % оксид процесу Вельца має типовий діапазон складу, як зазначено в Таблиці 6.36.

Таблиця 6.36: Склад оксиду процесу Вельца після обробки залишків вилуговування

Елемент	Концентрація (%)	Елемент	Концентрація (%)
Zn	45-52	SiO_2	0,3–1,0
Pb	15–21	B	1,5–4,5
Fe	2,0–5,0	F	0,10–0,12
Cd	0,6–1,2	Cl	0,5–1,5
As	0,15–0,25		
Mn	0,08–0,15		
Джерело: [399, IZA 2012]			

Потім оксид процесу Вельца повертається на етап вилуговування нейтральним розчинником або спрямовується в піч ISF.

Типовий діапазон складу шлаку з печі наведено у Таблиці 6.37.

Таблиця 6.37: Склад шлаку процесу Вельца від обробки залишків вилуговування

Елемент	Концентрація (%)	Елемент	Концентрація (%)
Zn	2,6–3,5	Cd	0,004–0,006
Fe	25–35	As	0,01–0,1
Pb	0,8–2,0	SiO_2	10–14
Джерело: [399, IZA 2012]			

Цей шлак можна використовувати як інертний наповнювач у процесі закладки, якщо це відповідає національним вимогам.

Викиди від процесу роботи вельц-печі після рукавного фільтра та скрубера:

- SO_2: 1 кг/т продукту;
- NO_X: 2,5 кг/т продукту;
- CO_2: 40 кг/т продукту;
- PM_{10}: 0,3 кг/т продукту;
- шлак: 2,5 т/т продукту;
- синтетичний гіпс із заводу ДДГ: 200 кг/т продукту;

- стічні води (охолодження шлаку): 0,007 $м^3$ на тонну продукту, очищеного на установці з очищення відпрацьованих вод на об'єкті.

Викиди в концентраціях наведені в Таблиці 6.38.

Таблиця 6.38: Викиди від процесу роботи вельц-печі

Рік	Pb	Cd	Пил	SO_2	NO_X	ПХДД/Ф
	$мг/нм^3$	$мг/нм^3$	$мг/нм^3$	$мг/нм^3$	$мг/нм^3$	нг МТЕ/$Нм^3$
2011	0,180	0,009	3,5	415,27	19,27	0,200
Джерело: [400, IZA 2013]						

Установка вельц-печі для обробки гідрометалургійних шламів споживає [229, IZA plant data 2008]

- відновник (кокс, антрацит): 1,25 т/т продукту;
- SiO_2: 0,2 т/т продукту;
- природний газ: 85 $Нм^3$/т продукту;
- електроенергія: 270 кВт-год/т продукту;
- стиснене повітря: 600 $Нм^3$/т продукту.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання. Прямі викиди CO_2.
- Потенційно більше викидів пилу, які потребують відповідного уловлювання.
- Осад сульфатів/сульфідів із системи скрубера для SO_2.
- Елементи, які погано/не випаровуються у процесі вельц-операції, такі як Cu, Ni, Co та Ag, та/або погано/не використовуються (втрачаються в шлаку), можуть негативно впливати на характеристики вилуговуваності шлаку.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується до залишків вилуговування нейтральним розчинником гідрометалургійного виробництва цинку, які не містять надмірних кількостей фериту цинку (< 10 % загальної кількості цинку залишається невилуженим у феритах цинку після вилуговування нейтральним розчинником) і/або які не містять високих концентрацій дорогоцінних металів.

Економічні аспекти
Рентабельність важко передбачити, але якщо понад 10 % всього цинку потребують пірометалургійної обробки (випарювання) перед повторним введенням у гідрометалургійний процес та спрямуванням на електроліз, процес буде енергоємним та економічно невигідним.

Стимул до впровадження
- Видалення шкідливих відходів (ярозит), що підлягають зберіганню.
- Збільшення виходу вилучення цинку.

Приклади заводів
Завод O, Завод G та Korea Zinc.

Довідкова література
[229, IZA plant data 2008], [305, Ausmelt 2009].

6.3.1.2.8.2 Методи інертизації та ущільнення для вдосконалення утилізації залишків вилуговування у гідрометалургійному виробництві цинку

6.3.1.2.8.2.1 Процес Jarofix

Опис
Процес Jarofix полягає в змішуванні осадів ярозиту, що утворилися в результаті вилуговування феритів цинку, із заданими співвідношеннями портландцементу, вапна та води.

Технічний опис
Реакція осадів ярозиту [$NH_4Fe_3(SO_4)2(OH)_6$] та портландцементу, вапна та води призводить до утворення хімічно та фізично стабільного матеріалу, що знижує довгострокове зобов'язання, пов'язане з утилізацією залишків заліза, та забезпечує супутні переваги обробки. Підтверджувальні мінералогічні дослідження продуктів Jarofix з вичерпаним строком експлуатації показують, що ярозит реагує із лужними компонентами цементу з утворенням різних стабільних фаз, що включають цинк та інші розчинні метали. Стійкість лужних фаз у продукті Jarofix допомагає забезпечити його довготривалу стійкість до впливу довкілля [229, IZA plant data 2008], [289, USEPA 2008].

Поки що ще не доведено, що цей процес однаково ефективний для ґетиту.

Досягнуті екологічні переваги
- Стабілізація ярозиту як відходів, які можна утилізувати на полігонах для захоронення нешкідливих відходів, що усуває необхідність його зберігання у відстійниках.
- Потрібна менша площа у разі захоронення відходів, оскільки, на відміну від відстійників, для утримування відкладень не потрібна дамба.
- Можливість використання меліорації земель.

Прикладом використання процесу Jarofix для відновлення землі є відновлення кар'єру, який «проїдав» гору для видобутку гравію. На першому фото на Рисунку 6.25 показано зону у серпні 1999 р. (до захоронення), а на другому фото показана зона у грудні 2014 р. Намір полягає у тому, щоб відновити, наскільки це можливо, початковий контур гори.



Серпень 1999 р.: до захоронення



Грудень 2014: Триває відновлення ландшафту за допомогою процесу Jarofix
Джерело: [424, Asturiana de Zinc 2014]

Рисунок 6.25: Відновлення ландшафту за допомогою процесу Jarofix

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

З метою контролю якості суміш Jarofix вилуговують з використанням кислого або буферного розчину. Отриманий екстракт аналізують та порівнюють зі списком критеріїв продукту вилуговування. Якщо отримана концентрація дорівнює або перевищує концентрацію, зазначену для цієї забруднювальної речовини відповідно до національних специфікацій, матеріал вважається токсичним продуктом вилуговування і може не бути придатним для перероблення. Проте, отримані результати показують, що отриманий продукт Jarofix має дуже низький вміст вилужних металів.

Рішення Ради 2003/33/ЄС встановило критерії прийнятності відходів для полігонів для захоронення. Критерії засновані на вилуговуваності у воді цих відходів на етапі надходження на полігон для захоронення.У Таблиці 6.39 наведено типові результати випробувань відходів процесу Jarofix відповідно до цих критеріїв на заводах, які застосовують цю технологію в Європі (Заводи C та F).

Таблиця 6.39: Критерії прийнятності відходів для полігонів захоронення для нешкідливих відходів та типові результати випробувань відходів процесу Jarofix відповідно до Рішення Ради 2003/33/ЄС

Параметр	Граничне значення продукту вилуговування рідка фаза/тверда фаза = 10 літрів/кг	
	Критерії прийнятності відходів для полігонів захоронення для нешкідливих відходів (мг/кг сухої речовини)	Відходи процесу Jarofix, що пройшли випробування (мг/кг сухої речовини)
Сурма	0,7	< 0,05
Миш'як	2	0,059
Барій	100	1,72
Кадмій	1	< 0,01
Хром (загальний)	10	0,414
Мідь	50	< 0,05
Ртуть	0,2	< 0,0010
Свинець	10	6,40
Молібден	10	2,41
Нікель	10	< 0,05
Селен	0,5	< 0,05
Цинк	50	0,613
Хлорид	15 000	89,0
Фторид	150	11,0
Сульфат	20 000	13370
РОВ	800	12
Загальна кількість розчинених твердих часток	60 000	27 760
ЗЛОС	*	2200
Здатність нейтралізувати кислоту (мг $CaCO_3$/л)	*	282
pH	*	> 10
* Шкідливі відходи прийнятні для полігонів захоронення для нешкідливих відходів, максимальне значення ЗЛОС становить 50 000, здатність нейтралізувати кислоту необхідно оцінити, а рівень pH має бути ≥ 6. Примітка: РОВ = Розчинений органічний вуглець.		

Вплив на різні компоненти довкілля

Споживання портландцементу як реагенту, що передбачає збільшення маси залишку, що утворюється (приблизно 1,15 тонни речовини процесу Jarofix на тонну виробленого ярозиту).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Ця технологія застосовується до залізних залишків ярозиту від виробництва цинку.

Економічні аспекти

Жодних даних не було надано, але у результаті конфіденційного огляду доступних процесів стабілізації залишку ярозиту було зроблено висновок, що процес Jarofix був найбільш економічним способом дотримання місцевого законодавства з охорони довкілля.

Стимул до впровадження

- Зниження доступності полігонів для вилужних залишків заліза.
- Вимоги екологічних норм.

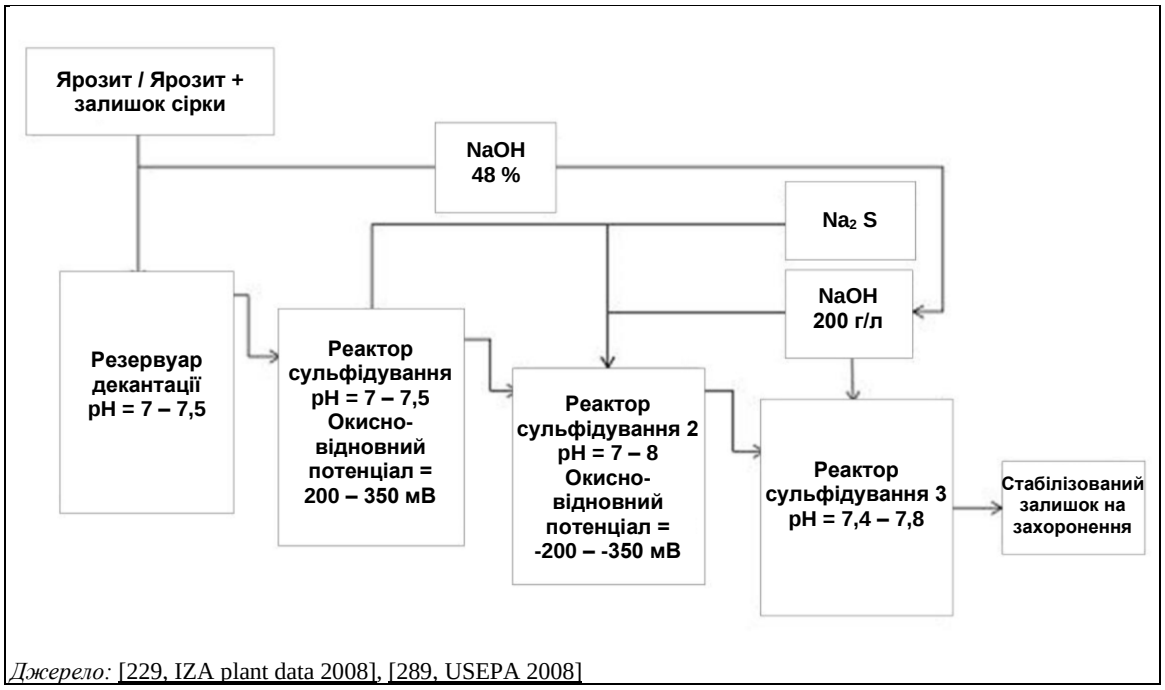
Приклади заводів
Завод C та Завод F.

Довідкова література
[229, IZA plant data 2008], [264, Seyer, Chen 1999]

6.3.1.2.8.2.2 Процес сульфідування

Опис
Процес сульфідування полягає в додаванні NaOH і Na_2S до осадів ярозиту для отримання стабілізованої форми.

Технічний опис
У процесі сульфідування осади ярозиту, що утворюються під час вилуговування феритів цинку, обробляють шляхом сульфідування для отримання стабільної форми залишку, яка задовольняє критеріям вилуговування щодо утилізації відходів на полігон для захоронення шкідливих відходів. Сульфідування є прийнятною технологією обробки ярозиту, але вона також підходить для обробки залишків сірки від прямого вилуговування окремо або разом з ярозитом.



Джерело: [229, IZA plant data 2008], [289, USEPA 2008]

Рисунок 6.26: Схема процесу сульфідування

Осади, що утворюються в процесі і призначені для утилізації на об'єкті, повинні бути попередньо оброблені для досягнення стандартів, визначених у Рішенні Ради 2003/33/ЄС, наприклад, промиватися від цинку або інших металів та зневоднюватися, наскільки це можливо. Установки для утилізації мають бути повністю закритими та герметичними. Вони підлягають місцевому контролю та регулюванню. Вода із зон утримування осаду може бути повернена у процес виробництва цинку.

Внаслідок реакції утворюється хімічно стабільний матеріал, що знижує довготривалу розчинність, пов'язану з утилізацією залишків заліза.

Стабілізований залишок у вигляді вологого осаду перекачується на полігон для захоронення.

Досягнуті екологічні переваги

- Стабілізація ярозиту як шкідливих відходів, які можуть бути утилізовані на полігонах для захоронення шкідливих відходів.
- Потрібна менша площа полігону, ніж у процесі Jarofix. Незважаючи на те, що стабілізовані відходи перекачуються у вигляді вологого осаду на полігон для захоронення, вода циркулює назад у процес виробництва цинку, тому збільшення обсягу не відбувається.
- Економія природних ресурсів, оскільки сульфідований ярозит має геотехнічні властивості, що дозволяють використовувати матеріал у будівництві насипів та інших споруд на території полігону для захоронення.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Рішення Ради 2003/33/ЄС встановило критерії прийнятності відходів для полігонів для захоронення. Критерії засновані на вилуговуваності у воді цих відходів на етапі надходження на полігон для захоронення. У Таблиці 6.40 показані типові результати для сульфідованих загальних відходів (ярозит та залишки сірки) із заводів, які застосовують цю технологію в Європі (заводи A та D). Випробування на розчинність та аналіз проводяться відповідно до EN 12457-3 та інших відповідних стандартів, згаданих у законодавстві про захоронення відходів.

Таблиця 6.40: Критерії прийнятності відходів для полігонів для захоронення шкідливих відходів та типові результати для сульфідованих відходів (ярозит та залишок сірки)

Параметр	**Критерії прийнятності відходів для полігонів захоронення для шкідливих відходів** P/T 10 (мг/кг сухої речовини)	**Сульфідований ярозит + залишок сірки** P/T 10 (мг/кг сухої речовини)
Сурма	5	0,83
Миш'як	25	0,02
Барій	300	0,3
Кадмій	5	0,29
Хром (загальний)	70	< 0,03
Мідь	100	0,08
Ртуть	2	0,001
Свинець	50	6,5
Молібден	30	0,08
Нікель	40	0,97
Селен	7	< 0,12
Цинк	200	21
Хлорид	25 000	43
Фторид	500	< 16
Сульфат	50 000	21 000
РОВ	1000	19
Загальна кількість розчинених твердих часток	100 000	
ЗЛОС	6 %	< 0,2 %
Здатність нейтралізувати кислоту (мг $CaCO_3$/літр)	Повинна бути оцінена.	
Примітка: РОВ = Розчинений органічний вуглець. P/T = рідка фаза/тверда фаза		

Вплив на різні компоненти довкілля

Необхідна система рециркуляції води.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується до залізних залишків ярозиту від виробництва цинку.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зниження доступності полігонів для вилужних залишків заліза.
- Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Завод A та Завод D.

Довідкова література
[229, IZA plant data 2008], [264, Seyer, Chen 1999], [289, USEPA 2008]

6.3.1.2.8.2.3 Ущільнення залишків заліза

Опис
Ущільнення залишків заліза полягає у зменшенні в них вмісту вологи за допомогою фільтрпресу високого тиску та додаванні вапна або інших агентів. Отриманий осад на фільтрі утилізується у басейн, кожен шар осаду додатково ущільнюється за допомогою спеціальних важких транспортних засобів.

Технічний опис
Ущільнення це технологія збільшення місткості зони зберігання залишків заліза. Класичний спосіб зберігання ґетиту і ярозиту полягає в перекачуванні суспензії в став (з пластиковим облицюванням, що покриває дно і стінки) для відстоювання, а потім перекачуванні очищеного розчину на поверхні назад на завод для вилучення цинку, тоді як твердий матеріал, що осів, залишається на дні ставу. Став поступово заповнюється осадом, поки не заповниться повністю. Після закінчення строку експлуатації став накривають. Цей тип традиційного зберігання називається гідравлічним сховищем.

Технологія ущільнення передбачає фільтрування ґетиту за допомогою фільтрпресу високого тиску (15-30 бар) у поєднанні з додаванням вапна або інших агентів для зменшення властивої металам здатності до вилуговування. Осад на фільтрі транспортується в басейн, аналогічний тому, який використовується для класичного зберігання (або наявний спорожнений став), а потім кожен шар осаду додатково ущільнюється за допомогою спеціального важкого транспортного засобу. Кінцевий вміст вологи в залишку з високим вмістом заліза значно нижче, ніж у класичному ставі (знижено приблизно з 60–65 % до 35 %; наприклад, на заводі Nyrstar в Балені, Бельгія), і завдяки щільному характеру осаду його можна сформувати у вигляді насипу, і тому місткість сховища збільшується у два-чотири рази залежно від кінцевої висоти. Сховище поступово накривається, щоб мінімізувати кількість дощової води, що підлягає обробці на установці з очищення відпрацьованих вод або в процесі виробництва цинку.

Ця технологія ще не була випробувана для залишків ярозиту.

Досягнуті екологічні переваги
- Потрібний менший обсяг полігону шляхом утворення більш щільного залишку заліза.
- Зменшений ризик випадкового витоку, тому що проникність матеріалу, що зберігається, надзвичайно низька і знаходиться на тому ж рівні, що і глина. Вилуговуваність металів можна зменшити, додавши вапно або інші добавки.
- Відсутність водяного розчину поверх твердого матеріалу.
- Менші втрати цинку, пов'язані із залишками заліза, що викидаються, оскільки залишковий вміст вологи набагато нижчий (-65 %).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
- Питома проникність (коефіцієнт K) може бути знижена приблизно до 10^{-9} м/с.

- Зареєстровані типові рівні вилуговуваності для ґетиту плюс 5% CaO та осаду від очищення відпрацьованих вод з високим вмістом гіпсу наведені в Таблиці 6.41.

Рішення Ради 2003/33/ЄС встановило критерії прийнятності відходів для полігонів для захоронення. Критерії засновані на вилуговуваності у воді цих відходів на етапі надходження на полігон для захоронення. У Таблиці 6.41 показані типові результати ущільнення ґетиту та осаду з установки з очищення відпрацьованих вод на заводах, які застосовують цю технологію в Європі (заводи E та P).

Таблиця 6.41: Критерії випробувань на вилуговування та отримані результати для ущільнених залишків заліза

Параметр	**Критерії випробувань на вилуговування: NEN 12457-2- S4; P/T = 10 л/кг; pH 7; 24 години**	
	Типові значення: Ґетит + 5 % CaO, що пройшли випробування (мг/кг сухої речовини)	Типові значення: Перевірений осад з установки з очищення відпрацьованих вод (мг/кг сухої речовини)
Сурма	0,21	0,24
Миш'як	< 0,04	< 0,04
Барій	0,38	0,34
Кадмій	2,40	0,48
Хром (загальний)	0,02	0,02
Хром (VI)	< 0,20	< 0,20
Мідь	0,055	0,11
Ртуть	0,0026	0,079
Свинець	0,19	0,9
Молібден	0,25	0,31
Нікель	< 0,04	< 0,04
Селен	0,12	0,38
Цинк	11	2,2
Хлорид	257	384
Фторид	91,5	80,2
Сульфат	17 600	16 000
РОВ	14	34
Загальна кількість розчинених твердих часток	24 000	24 000
ЗЛОС	< 1,2 %	< 1,2 %
pH (KCl)	7,67	8,13
Примітка: РОВ = Розчинений органічний вуглець.		

Вплив на різні компоненти довкілля

- Не відбувається стабілізації відходів.
- Підвищене споживання енергії на ущільнення залишку заліза.
- Споживання вапна (0–5 %).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Ця технологія застосовується до залишків ґетиту від виробництва цинку, а також до осаду від очищення відпрацьованих вод з високим вмістом гіпсу.

Економічні аспекти
Повідомляється, що витрати можна порівняти з гідравлічним сховищем (для неущільненого відкладення в ставі). Відбувається перехід від капітальних витрат (потрібна менша площа ставу) до експлуатаційних витрат (фільтрпрес плюс поводження плюс ущільнення *на місці*).

Експлуатаційні витрати (кількість працівників, технічне обслуговування, енергія, добавки тощо) становлять близько 20–25 євро/т.

Капітальні витрати (будівля, фільтр, насоси, ємності, місцева інфраструктура, але без урахування вартості землі та будівництва ставу) становлять близько 11 млн євро за потужності 100 кт/рік. [399, IZA 2012]

Стимул до впровадження
- Оптимальне використання наявних земель.
- Збільшення строку служби наявних ставів.

Приклади заводів
Завод E та Завод P.

Довідкова література
[274, COM 2008], [399, IZA 2012] на основі *документа «Як суттєво покращити термін служби ставу хвостосховища площею 30 га на заводі з виробництва цинку Umicore» (How to substantially improve the life of a 30 Ha tailings pond at Umicore Zinc Plant),* C. Фогед та Дж. Вандекейбус, Служба охорони довкілля MWH, Мехелен

6.3.1.2.9 Технології регенерації тепла у гідрометалургійному виробництві цинку.

Опис
Технології, які слід розглянути:
- котел-утилізатор;
- турбіна.

Технічний опис
Гази печі надходять з каналу відведення печі для випалювання, розташованого поруч з верхньою частиною печі, у котел-утилізатор, що знаходиться у безпосередній близькості та спроєктований для горизонтального потоку газу, де видаляється велика частина обпаленого пилу, а гази охолоджуються приблизно з 1000 ºC до 350 ºC або нижче. Точка роси вологих відхідних газів, що містять SO_2, встановлює строгу нижню границю роботи котла, оскільки на цьому етапі процесу необхідно уникати конденсації корозійних парів.

Котел є установкою з примусовою циркуляцією (наприклад, La Mont), що складається переважно з декількох випарників і одного пучка труб пароперегрівачів в газовому потоці та зовнішнього барабана для збору пари.

Гаряча вода безперервно циркулює між барабаном для збору пари та пучком випарника, а також охолоджувальними змійовиками шару печі, а пара, випарена з барабана, проходить через пучок пароперегрівача, перш ніж потрапити до установок споживання пари. Система охолодження обпаленого матеріалу може використовуватися як додаткова система регенерації тепла, підключена до котла-утилізатора.

За допомогою турбін енергія перегрітої пари з температурою 290-400 ºC та тиском 4 МПа регенерується або у вигляді електроенергії, або безпосередньо у вигляді механічної енергії (наприклад, для приводу дуттьового вентилятора псевдозрідженого шару або різних витяжних вентиляторів на установках з очищення газу та виробництва сірчаної кислоти). Потім тепло від пари низького тиску, що виходить із турбін, використовується для технологічних потреб заводу з виробництва цинку та опалення офісів. На деяких заводах пара низького тиску використовується для генератора турбінного типу також для генерації електроенергії. Вибір залежить від умов місцевого ринку енергоресурсів.

До допоміжного обладнання, пов'язаного з котлом, належать високопродуктивні електричні насоси живильної та циркуляційної води, які підтримуються резервними

установками парових турбін. Високотехнологічна система управління приладами дозволяє повністю контролювати роботу котла. Крім того, потреба в дуже чистій воді для котлів вимагає роботи установки демінералізації та систем введення хімічних реагентів в котли.

Обпалений матеріал як з печі випалювання, так і з котла-утилізатора охолоджується в або в обертовому холодильнику, або в холодильнику з псевдозрідженим шаром. Для цього вода проходить через холодильник, не контактуючи з обпаленим матеріалом, та здійснюється теплообмін. Після охолодження обпаленого матеріалу отримана тепла вода може бути використана на інших етапах гідрометалургійного процесу (наприклад, поповнення втрат технологічної води через випаровування, операції з очищення). Зазвичай таке повторне використання води вимагає попереднього етапу охолодження, яке може бути досягнуте через контакт повітря та рідини (градирні), або через додаткове охолодження за допомогою теплообміну, наприклад, за допомогою морської води. У цих випадках, які є найчастішими, регенерація тепла не відбувається.

Охолоджувальна вода з млина нижчої якості, ніж вода для парової турбіни високого тиску. Ця охолоджувальна вода найчастіше повертається в технологічний процес, наприклад, для промивання осаду з фільтра.

Додаткове джерело тепла надходитиме від установки з виробництва сірчаної кислоти у вигляді економайзера для підігріву живильної води, що надходить до системи котла-утилізатора.

Досягнуті екологічні переваги
Регенерація тепла екзотермічної реакції та перетворення на електроенергію та пару низького тиску для промислового та офісного опалення.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Типова швидкість регенерації енергії для заводу, що застосовує процес RLE: 3,5 МДж/т Zn.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Широко застосовується до заводів, що використовують процес RLE.

Економічні аспекти
Оскільки охолодження газу потрібно у будь-якому разі, додаткові витрати на регенерацію енергії переважно пов'язані з інвестиціями в турбіну для виробництва електроенергії.

Стимул до впровадження
Регенерація енергії.

Приклади заводів
Усі заводи в Європі, що застосовують процес RLE.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.1.3 Пірометалургійне виробництво цинку

6.3.1.3.1 Технології зменшення викидів у повітря у пірометалургійному виробництві цинку

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Скрубер Вентурі (див. Розділ 2.12.5.1.6);
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис

Скрубер Вентурі (див. Розділ 2.12.5.1.6)

На єдиному заводі в ЄС, що виробляє цинк пірометалургійним способом, скрубери Вентурі застосовуються на наступних етапах процесу:

- коксова зона;
- установка підготування шихти агломераційного заводу;
- дроблення спеку;
- установка підготування шихти печі ISF;
- струменевий конденсатор
- гранулювання шлаку.

Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4)

На єдиному заводі в ЄС, що виробляє цинк пірометалургійним способом, рукавний фільтр застосовується на наступних етапах процесу:

- агломераційний завод;
- зона дроблення спеку;
- піч ISF;
- Процес «Нью-Джерсі»

Досягнуті екологічні переваги

Зменшення викидів пилу та летких металів (Zn, Pb або Cd).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Скрубер Вентурі

Дані щодо Заводу O наведено у Таблиці 6.42.

Таблиця 6.42: Викиди після очищення за допомогою скруберів Вентурі на пірометалургійному виробництві цинку

Забруднювальна речовина	Технологія, що застосовується	Одиниці вимірювання	Значення, отримані за нормальних умов експлуатації			Інформація про збір даних
			Мінімум	Середнє значення	Максимум	Метод
Джерело викидів: коксова зона						
Пил	Мокрий скрубер	мг/нм^3	8,2	10,7	13,2	PN-Z-04030-7:1994
Джерело викидів: установка для підготування шихти агломераційного заводу						
Пил	Мокрий скрубер	мг/нм^3	5,7	8,3	10,9	PN-Z-04030-7:1994
Zn		мг/нм^3	1,13	1,68	2,23	A-METAXDG1
Pb		мг/нм^3	0,52	0,65	0,77	
Cd		мг/нм^3	0,006	0,032	0,058	
Джерело викидів: установка для підготування шихти агломераційного заводу						
Пил	Мокрий скрубер	мг/нм^3	4,2	7,1	10	PN-Z-04030-7:1994
Zn		мг/нм^3	0,85	1,04	1,23	A-METAXDG1
Pb		мг/нм^3	0,39	0,59	0,79	
Cd		мг/нм^3	0,004	0,035	0,066	
Джерело викидів: зона дроблення спеку (вимірювання після скрубера та викид через димову трубу)						
Пил	Мокрий скрубер	мг/нм^3	3,1	6,7	10,3	PN-Z-04030-7:1994
Zn		мг/нм^3	1,5	2,5	3,5	A-METAXDG1
Pb		мг/нм^3	0,75	0,89	1,02	
Cd		мг/нм^3	0,015	0,018	0,021	
Джерело викидів: установка для підготування шихти печі ISF						
Пил	Мокрий скрубер	мг/нм^3	6,6	9,6	12,5	PN-Z-04030-7:1994
Zn		мг/нм^3	2	2,9	3,8	A-METAXDG1
Pb		мг/нм^3	0,32	0,76	1,2	
Cd		мг/нм^3	0,009	0,013	0,016	
Джерело викидів: гранулювання шлаку						
Пил	Мокрий скрубер	мг/нм^3	9,8	12,5	15,2	PN-Z-04030-7:1994
Zn		мг/нм^3	0,2	0,8	1,3	A-METAXDG1
Pb		мг/нм^3	0,09	0,13	0,17	
Cd		мг/нм^3	0,006	0,008	0,01	

Примітка: метод отримання даних: безперервні вимірювання, точковий відбір проб.
Тип середнього значення: середнє значення за період відбору проб.
Кількість операцій та проб: 2.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Рукавний фільтр

Дані щодо Заводу O наведено у Таблиці 6.43.

Таблиця 6.43: Викиди після очищення за допомогою рукавних фільтрів у пірометалургійному виробництві цинку

Забруднювальна речовина	Технологія, що застосовується	Одиниці вимірювання	Значення, отримані за нормальних умов експлуатації			Інформація про збір даних
			Мінімум	Середнє значення	Максимум	Метод
Джерело викидів: агломераційний завод						
Пил	Рукавний фільтр	мг/нм^3	0,33	1,12	1,9	PN-Z-04030-7:1994
Zn		мг/нм^3	0,17	0,18	0,19	A-METAXDG1
Pb		мг/нм^3	0,01	0,05	0,08	
Cd		мг/нм^3	0,002	0,005	0,007	
SO_2		мг/нм^3	690	710	730	PN-ISO 10396:2001
CO		мг/нм^3	15	16	17	
Джерело викидів: агломераційний завод						
Пил	Рукавний фільтр	мг/нм^3	0,63	0,78	0,92	PN-Z-04030-7:1994
Zn		мг/нм^3	0,34	0,39	0,43	A-METAXDG1
Pb		мг/нм^3	0,05	0,1	0,14	
Cd		мг/нм^3	0,002	0,0026	0,0031	
SO_2		мг/нм^3	1030	1055	1080	PN-ISO 10396:2001
CO		мг/нм^3	51	52	53	
NO_2		мг/нм^3	220	230	240	
Джерело викидів: зона дроблення спеку						
Пил	Рукавний фільтр	мг/нм^3	0,52	1,11	1,7	PN-Z-04030-7:1994
Zn		мг/нм^3	0,12	0,36	0,59	A-METAXDG1
Pb		мг/нм^3	0,22	0,27	0,31	
Cd		мг/нм^3	0,0017	0,0024	0,003	
Джерело викидів: піч ISF						
Пил	Рукавний фільтр	мг/нм^3	0,7	1,3	1,8	PN-Z-04030-7:1994
Zn		мг/нм^3	0,2	0,45	0,69	A-METAXDG1
Pb		мг/нм^3	0,25	0,29	0,33	
Cd		мг/нм^3	0,019	0,03	0,041	
SO_2		мг/нм^3	6	10	14	
Джерело викидів: процес «Нью-Джерсі»						
Пил	Рукавний фільтр	мг/нм^3	4,4	4,9	5,4	PN-Z-04030-7:1994
Zn		мг/нм^3	2,37	2,94	3,5	A-METAXDG1
Pb		мг/нм^3	0,006	0,046	0,085	
Cd		мг/нм^3	0,006	0,009	0,012	
SO_2		мг/нм^3	< ГВ	< ГВ	< ГВ	PN-ISO 10396:2001
CO		мг/нм^3	< ГВ	< ГВ	< ГВ	
NO_2		мг/нм^3	12	13	14	

Примітка: метод отримання даних: безперервні моніторинг, точковий відбір проб.
Тип середнього значення: середнє значення за період відбору проб.
Кількість операцій та проб: 2.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Завод O.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.1.3.2 Технології зменшення викидів SO_2 та діоксинів у пірометалургійному виробництві цинку

Опис
Технологією, яку слід розглянути для зменшення викидів SO_2 (відхідних газів з низьким вмістом SO_2), є використання напівсухого скрубера.

Технічний опис
Див. Розділ 2.12.5.2.3.

Досягнуті екологічні переваги
Інформацію не надано.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У Таблиці 6.44 показані викиди SO_2, досягнуті після очищення за допомогою напівсухого скрубера у пірометалургійному виробництві цинку

Таблиця 6.44: Викиди після очищення за допомогою напівсухого скрубера відхідних газів з низьким вмістом SO_2 у пірометалургійному виробництві цинку

Забруднювальна речовина	Технологія, що застосовується	Одиниці вимірювання	Значення, отримані за нормальних умов експлуатації				Інформація про збір даних	
			Середнє значення	Максимум	Тип середнього значення	Метод отримання даних	Метод	Еталонний вміст кисню (%)
Джерело викидів: агломераційний завод (вимірювання після рукавного фільтра та викид через димову трубу)								
SO_2	Напівсухий скрубер (з вдуванням вапна)	мг/нм^3	560	680		Безперервний моніторинг	IR	6
Джерело: [400, IZA 2013]								

На Заводі О немає спеціального обладнання для видалення діоксинів. Викиди, зареєстровані на агломераційному заводі, становлять 0,02 нг МТЕ/Нм^3. Обладнання для видалення ртуті відсутнє, але сировинний матеріал перевіряється на наявність ртуті.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Інформацію не надано.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.2 Виробництво первинного та вторинного цинку з використанням способів перероблення

6.3.2.1 Перероблення металевих потоків

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від приймання, зберігання та поводження з первинною та вторинною сировиною, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006].

6.3.2.1.1 Технології зменшення викидів від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- фільтр з активованим вугіллям (див. Розділ 2.12.5.3) або допалювач (див. Розділ 2.12.5.2.1).

Технічний опис
Рукавний фільтр
Відхідні гази печі спочатку фільтруються рукавним фільтром, щоб уникнути пилу.

Фільтр з активованим вугіллям та допалювач
Якщо використовується цинковий брухт, що містить органічні домішки (фарба, смола тощо), на додаток до рукавного фільтра може знадобитися фільтр з активованим вугіллям або допалювання для видалення ЛОС з газів. Як правило, активоване вугілля використовується, коли кількість органічних сполук низька. Допалювання використовується, коли кількість велика.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу, діоксинів та ЛОС.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавний фільтр
Фільтрування тканинними фільтрами для уловлювання пилу зазвичай досягає рівнів < 5 мг/м^3, а часто < 1 мг/м^3.

Фільтр з активованим вугіллям та допалювач
Повідомлену продуктивність фільтра з активованим вугіллям на заводі N показано в Таблиці 6.45.

Таблиця 6.45: Викиди з фільтра з активованим вугіллям на заводі N

Компонент	мг/нм^3
Бензол	< 5
ЗЛОС	< 50
Діоксини	< 0,4 нг МТЕ/м^3
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]	

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Використання активованого вугілля.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів пилу для забезпечення здорового середовища для операторів.
- Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Заводи в Бельгії та Німеччині.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.2.2 Переробка оксидної сировини

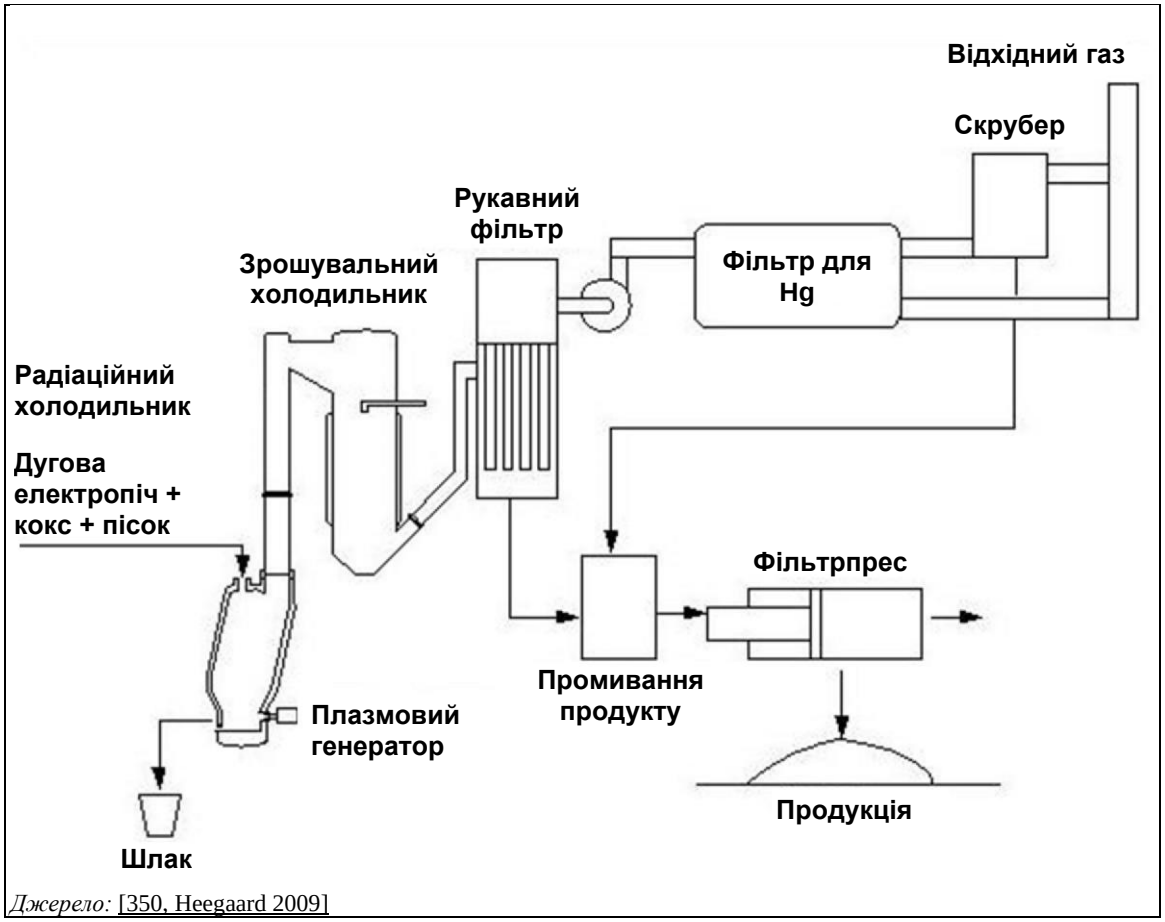
6.3.2.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів з ф'юмінг-печей

6.3.2.2.1.1 Технології запобігання та зниження викидів від процесу плазмово-дугового випарювання

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- фільтр для ртуті (див. Розділ 2.12.5.5);
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.2).

Технічний опис
На Рисунку 2.27 показана схема процесу плазмово-дугового випарювання.



Джерело: [350, Heegaard 2009]

Рисунок 6.27: Схема процесу плазмово-дугового випарювання

Відхідні гази, що утворюються в процесі, необхідно охолоджувати і очищати. Такі елементи, як фтор і хлор, відокремлюються шляхом введення NaOH у зрошувальний холодильник і скрубер. Ртуть видаляють у фільтрі з активованим вугіллям. Реоксидовані цинк і свинець видаляються з відхідних газів у рукавних фільтрах, звідки потім уловлюються для промивання. Вода з додаванням Na_2CO_3 використовується для промивання продукції з метою зниження кількості хлору та фтору в кінцевому продукті. Такі метали, як кадмій, свинець і цинк, присутні в промивній воді, і pH в резервуарах для промивання регулюється в діапазоні від 9,5 до 11, щоб мінімізувати концентрацію цих металів. Здійснюється моніторинг та обробка промивної води перед скиданням у довкілля шляхом додавання Na_2S.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу, ртуті та кислих газів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Очищені відхідні гази складаються переважно з CO_2, H_2O та N_2. У Таблиці 6.46 показані основні газоподібні компоненти відхідних газів. Дані щодо викидів пилу, HCl, HF або Hg не були надані.

Таблиця 6.46: Основні газоподібні компоненти процесу плазмово-дугового випарювання

Компонент	(%)	(кг)
CO_2	4,0	300
H_2O	29,4	2207
N_2	56,4	4233
O_2	10,1	758
Інше	0,1	8
Джерело: [350, Heegaard 2009]		

Вміст фтору та хлору нижче 0,2 %.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Збільшення споживання відновників.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів у повітря.

Приклади заводів
Хьойангер (Норвегія), Гуфорс (Швеція) та Кале (Франція).

Довідкова література
[350, Heegaard 2009]

6.3.2.2.1.2 Технології запобігання та зменшення викидів з ф'юмнг-печі в процесі виробництва вторинного ZnO на мідеплавильному заводі

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1);
- вдування активованого вугілля (див. Розділ 2.12.5.3);
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.2).

Технічний опис
На Рисунку 6.28 показано схему ф'юмінг-печі, об'єднаної з клінкерною піччю в процесі виплавки міді.

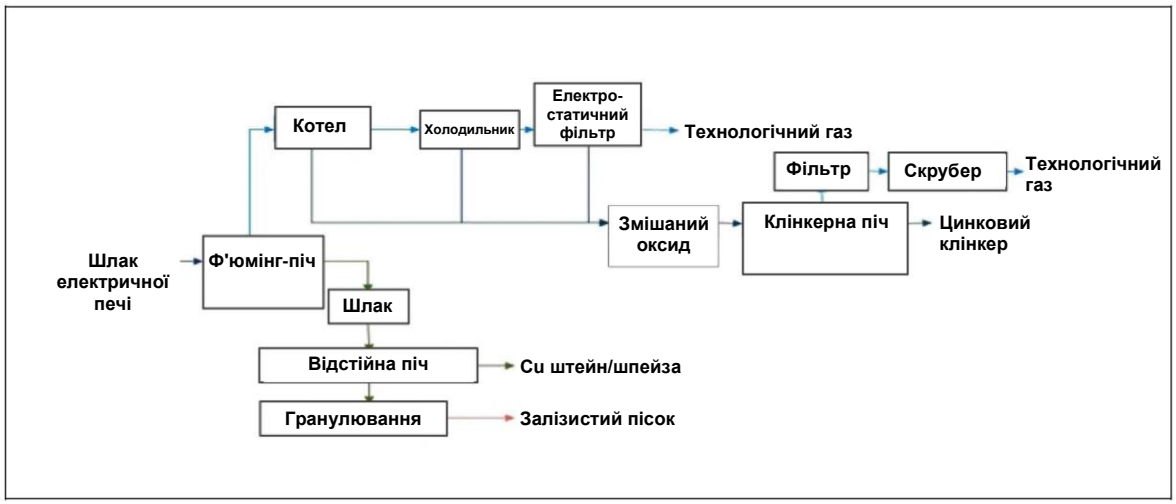


Рисунок 6.28: Ф'юмінг-піч, об'єднана з клінкерною піччю в процесі виплавки міді

Газ з ф'юмінг-печі проходить через три етапи, перш ніж викидається в повітря: котел-утилізатор для регенерації тепла для утворення електроенергії та централізованого теплопостачання, градирня та, нарешті, електростатичний фільтр.

Активоване вугілля вдувається у відхідні гази з клінкерної печі для зниження викидів діоксинів, потім застосовується рукавний фільтр і скрубер (викиди SO_2 можна зменшити шляхом додавання лугу у воду скрубера).

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу, діоксинів та кислих газів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Очищені відхідні гази складаються переважно з CO_2, H_2O та N_2.У Таблиці 6.47 показані основні газоподібні компоненти відхідних газів. Дані щодо викидів пилу, HCl, HF або Hg не були надані.

Таблиця 6.47: Основні газоподібні компоненти процесу випарювання цинку

Компонент	(%)
CO_2	5,5–7
H_2O	20–25
N_2	45–70
O_2	5–10
SO_2	300 частинок на млн

Вміст фтору та хлору нижче 0,005 %.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Використання вугілля у якості відновника призводить до викидів CO_2.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна. Що стосується технології випарювання, то вона добре відома і широко застосовується для пірометалургійних розплавів, що містять леткі речовини.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів у повітря.

Приклад заводу
Boliden, Рьоннскяр (Швеція).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.2.2.2 Технології запобігання та зменшення викидів від багатоподових печей

У Європі більше не експлуатуються багатоподові печі.

За принципом ця технологія дуже схожа на технологію, описану у Розділі 6.3.2.2.1.1, тому можна розглянути ті ж методи усунення забруднення довкілля.

6.3.2.2.3 Технології запобігання та зниження викидів від процесу роботи обертової вельц-печі

6.3.2.2.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів від вторинних матеріалів під час гранулювання

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Різні сировинні матеріали для вельц-печі зберігаються у закритих складах або силосах. Матеріал транспортується конвеєрами до змішувальних пристроїв, де він гранулюється і конвеєрами прямує у вельц-піч. Щоб мінімізувати викиди пилу, конвеєри, шнеки та змішувальні пристрої можуть бути повністю закриті, щоб пил не міг виходити. Пил, що викидається незакритими змішувальними пристроями та конвеєрами, вилучається та очищається у рукавному фільтрі у наявній системі очищення відхідних газів. У системах транспортування, які можуть бути повністю закриті, утворенню пилу запобігають шляхом змочування матеріалу.

Досягнуті екологічні переваги
- Належні санітарно-гігієнічні умови на робочому місці.
- Дуже низький рівень неорганізованих викидів.
- Вища ефективність процесу з використанням гранул.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавні фільтри мають типовий рівень запилення на виході < 5 мг/Нм^3.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Застосовується до всіх порошкоподібних сировинних матеріалів для вельц-печей.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Покращена якість повітря на робочому місці.

- Підвищення ефективності процесу.

Приклади заводів
Заводи в Іспанії, Італії, Франції та Німеччині.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.2.2.3.2 Технології запобігання та зниження викидів від плавлення в обертових вельц-печах

Опис
Технології, які слід розглянути:

- пиловловлювальна камера;
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4) або електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1);
- додавання адсорбенту (див. Розділ 2.12.5.3);
- РТО (див. Розділ 2.12.5.2.1).

Технічний опис
Потік газу і сировинний матеріал розташовуються в печі у протилежних напрямках таким чином, що відхідні гази, що містять цинк, залишають вельц-піч там, куди завантажується сировина. Перше відділення більших частинок пилу відбувається в пиловловлювальній камері, де швидкість газу знижується і частки пилу можуть осідати. Тут може бути здійснене перше охолодження відхідного газу шляхом подання повітря або води в потік відхідного газу. На другому етапі відхідні гази охолоджуються до температури, достатньої для надходження в електростатичний фільтр (необов'язковий етап) і в рукавний фільтр. Це може бути досягнуто за допомогою теплообмінника або шляхом подання повітря та/або води. Електростатичний фільтр і подальший рукавний фільтр видаляють частки пилу, що залишилися, з потоку відхідних газів. Після проходження через електростатичний фільтр і рукавний фільтр, залежно від вмісту ртуті в сировині, у відхідні гази можна вводити адсорбент (буровугільний кокс, змішаний з вапняком/гідратом вапна) для видалення ртуті та органічних сполук. Цей матеріал осаджується у другому рукавному фільтрі (філсорбція). Залежно від конфігурації заводу та місцевих умов органічні сполуки у відпрацьованих газах можуть бути видалені на наступному етапі допалювання.

Викиди SO_2 значною мірою залежать від типу сполук сірки у сировинному матеріалі. Сполуки сірки в залишках вилуговування нейтральним розчинником ($ZnSO_4$) є леткими та виходять з вельц-печі з відхідними газами, тоді як сірка з коксу виходить з печі зі шлаком. Отже, спеціальний етап видалення SO_2 з відхідних газів необхідний тільки в тому випадку, якщо у сировинному матеріалі присутні леткі сполуки сірки.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу, металів, діоксинів та ЛОС.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані щодо викидів у 2011 р. від заводу, що використовує процес Вельца та обробляє пил з дугової електропечі, наведено у Таблиці 6.48. Заводи J, K, L та M використовують процес SDHL. Газовий потік на заводі L набагато вищий, ніж на інших заводах. Це пов'язано з тим, що охолодження газу здійснюється з допомогою вдування в газовий потік свіжого повітря.

Таблиця 6.48: Дані щодо викидів димової труби в повітря з вельц-печей на окремих заводах

Завод		**I**		**Дж**		**K**		**Л**		**M**	
Потік (середнє значення)	$Нм^3$/год	64 000		66 500		88 100		166 146		73 110	
		У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.
Пил	$мг/нм^3$	0,35	1,54	0,5	1,1	< 0,3	< 0,3	0,832	2,2	2,54	5,6
Zn	$мг/нм^3$	НД		НД		НД		0,138	0,692	НД	
Cd	$мг/нм^3$	0,002	0,005	0,003	0,005	0,008	НД	0,001	0,004	0,002	0,004
Pb	$мг/нм^3$	НД		0,009	0,01	0,008	НД	0,017	0,087	0,091	0,383
Hg	$мг/нм^3$	0,009	0,01	0,05	0,1	0,002	0,003	0,004	0,019	0,091	0,164
As	$мг/нм^3$	НД		НД		НД		0,002	0,008	< 0,0002	< 0,0002
Cu	$мг/нм^3$	НД		НД		НД		НД		0,024	0,096
Cr	$мг/нм^3$	НД		НД		НД		НД		0,008	0,027
Ni	$мг/нм^3$	НД		НД		НД		НД		0,012	0,042
Pb+Mn +Cu+Cr+V +Sn	$мг/нм^3$	0,039	0,047	НД		НД		0,08		0,224	НД
SO_2	$мг/нм^3$	7,6	НД	5,70	9,8	28,69	76,2	39,05	96	0,01	0,04
HCl	$мг/нм^3$	3,23	НД	0,30	0,6	0,38	0,64	0,11	0,2	0,85	1,07
HF	$мг/нм^3$	< 0,23	НД	0,20	0,20	0,11	0,2	0,06	0,1	НД	
NO_X	$мг/нм^3$	133,73	143,2	85	107	42,55	43,8	3,63	5,2	44,90	52,4
ЗЛОС	$мг/нм^3$	2,69	13,55	0,7	2	12,6	19,9	НД		НЗ	НЗ
ЛОС	$мг/нм^3$	НД		НД		НД		50	73	243	260
CO	$мг/нм^3$	26,04	31,6	НД		НД		НД		12331	14178
ПХДД/Ф	$нг/Нм^3$	0,090	НД	0,004	0,004	0,001	0,0016	НД		НД	
Діоксини	$нг/Нм^3$	НД		НД		НД		0,003	0,014	0,03	0,03
Частота відбору проб	кількість разів/рік	Безперервно для пилу та ЗЛОС (5 для CO та NO_X та 1 для ПХДД/Ф, ПАВ, HF, HCl, SO_X та NH_3)		10 (2 для ПХДД/Ф, $C_{орг}$, Hg та NO_X)		10 (2 для ПХДД/Ф, $C_{орг}$, Hg та NO_X)		5 (4 для діоксинів, SO_2 та NO_X)		9 (3 для NO_X, HCl та ЛОС і 1 для діоксинів)	

Примітка: застосовуються наступні методи усунення забруднення довкілля:
I: Рукавний фільтр + регенеративний термічний окисник (РТО).
J: Рукавний фільтр + абсорбент (активоване вугілля) + регенеративний термічний окисник (РТО).
K: Рукавний фільтр + абсорбент (буровугільний кокс).
L: Рукавний фільтр + абсорбент.
M: Електростатичний фільтр + рукавний фільтр + абсорбент.
НД = немає даних. НХ = Не характерно.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Завод, який працює у Франції, повідомив про викиди до та після впровадження процесу SDHL.У Таблиці 6.49 надане порівняння процесу SDHL (з середини 2004 року, коли був введений в експлуатацію) з традиційним процесом у вельц-печі, який працював до цього часу.

Таблиця 6.49: Викиди у повітря, пов'язані з процесом SDHL до та після перетворення

Компонент	Одиниці вимірювання	До*		Після*		
		2003	2004	2005	2006	2007
SO_2	кг/год	22148	7,390	0,584	0,424	0,199
NO_X	кг/год	2,140	1,143	0,946	2,467	1,407
ЛОС — не належать до метану	кг/год	2,000	4,237	3,057	2,104	7,711
Пил	кг/год	0,070	0,129	0,204	0,181	0,193
HCl	кг/год	0,069	0,123	0,261	0,070	0,051
HF	кг/год	НД	0,124	0,027	0,346	0,065
Сума металів	кг/год	0,0491	0,0317	0,0177	0,0257	0,0327
Pb	кг/год	0,0054	0,0133	0,0076	0,0102	0,0204
Zn	кг/год	0,0372	0,1191	0,0730	0,1065	0,2446
Hg	кг/год	НД	0,00445	0,00079	0,00148	0,00608
As	кг/год	НД	0,00053	0,00076	0,00089	0,00129
Cd	кг/год	0,0013	0,0011	0,0012	0,0007	0,0007
ПХДД/Ф**	мкг МТЕ/год	9,653	7,235	1,141	2,567	1,292
Повітряний потік	$Нм^3$/год	113706	133977	131056	140781	148329

НД = немає даних.
* Середньорічне значення.
** Перед здійсненням додаткового осадження ПХДД/Ф.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Широко застосовується до вельц-печей. Використання РТО може бути обмежене з міркувань безпеки.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вилучення додаткових компонентів із пилу з дугової електропечі.
- Менша витрата коксу та газу.
- Вища продуктивність і вищий показник вилучення цинку.
- Зменшення викидів CO_2 (тобто ефективність використання ресурсів).

Приклади заводів
Заводи Befesa у Фрайберзі та Дуйсбурзі (Німеччина), Asua-Erandio (Іспанія), Fouquières les Lens (Франція) та в Італії.

Довідкова література
[234, UBA (D) 2007], [246, France 2008], [351, COM 2009], [399, IZA 2012]

6.3.2.2.3.3 Технології запобігання та зменшення викидів від обробки шлаку

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Після проходження вельц-печі, дрібнозернистий шлак виходить у голівці печі та падає через решітку у водяну ванну або бункер з водяним зрошуванням для швидкого охолодження. Охолоджений шлак транспортується з водяної ванни до місця зберігання шлаку ланцюговим конвеєром або екскаватором. Викиди під час транспортування з печі та під час охолодження вловлюються витяжною системою на головці печі або додатковою

системою всмоктування. Ці відхідні гази направляються на очищення відпрацьованих газів печі або обробляються окремо в тканинному фільтрі.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення дифузних викидів пилу в повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавні фільтри мають типовий рівень запилення на виході < 5 мг/Нм^3.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів у повітря.
- Належні санітарно-гігієнічні умови на робочому місці.

Приклади заводів
Широко застосовується в Європі.

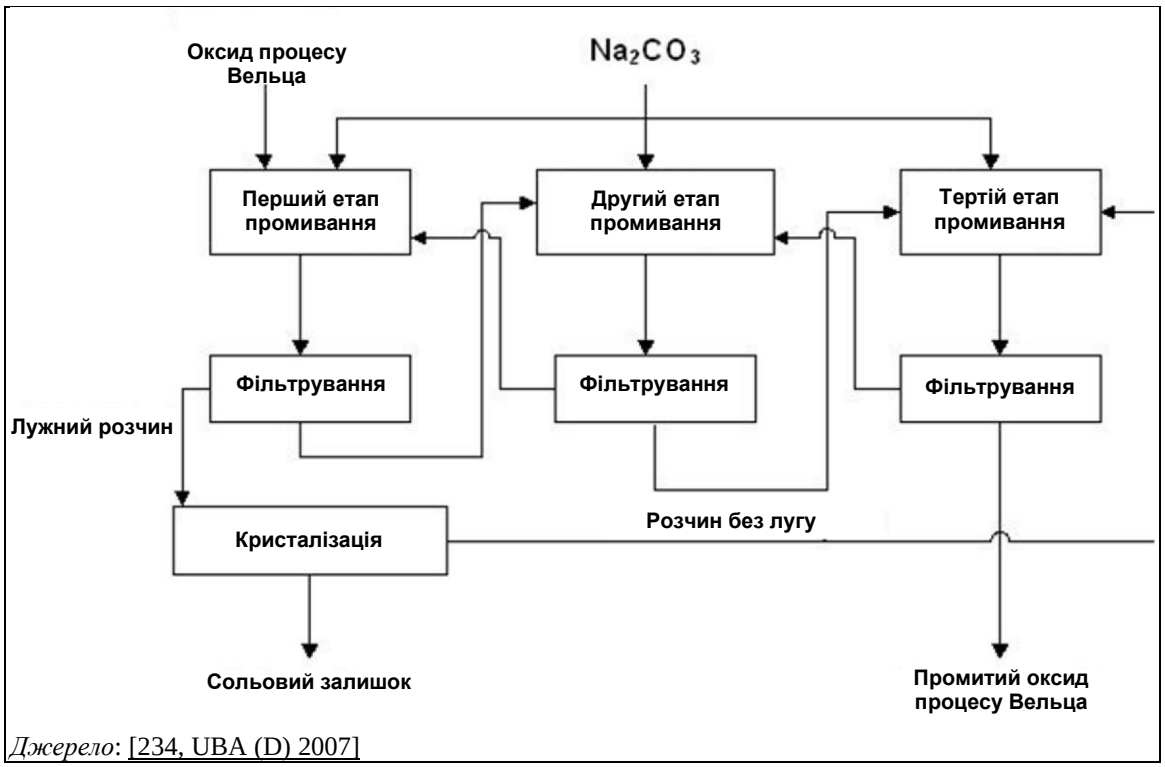
Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.2.2.3.4 Технології запобігання та зменшення кількості стічних вод у процесі вельц-печі

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є протитечійне промивання (два або три етапи).

Технічний опис
Основним джерелом стічних вод у процесі вельц-печі є промивна вода, яка використовується для вимивання галогенів з оксиду процесу Вельца. Кількість стічних вод від промивання оксиду процесу Вельца зменшується через застосування багатоетапного процесу протитечійного промивання.

На Рисунку 6.29 та Рисунку 6.30 показані загальні процеси промивання оксиду процесу Вельца [234, UBA (D) 2007].



Джерело: [234, UBA (D) 2007]

Рисунок 6.29: Схема триетапного циклу протитечійного промивання оксиду процесу Вельца

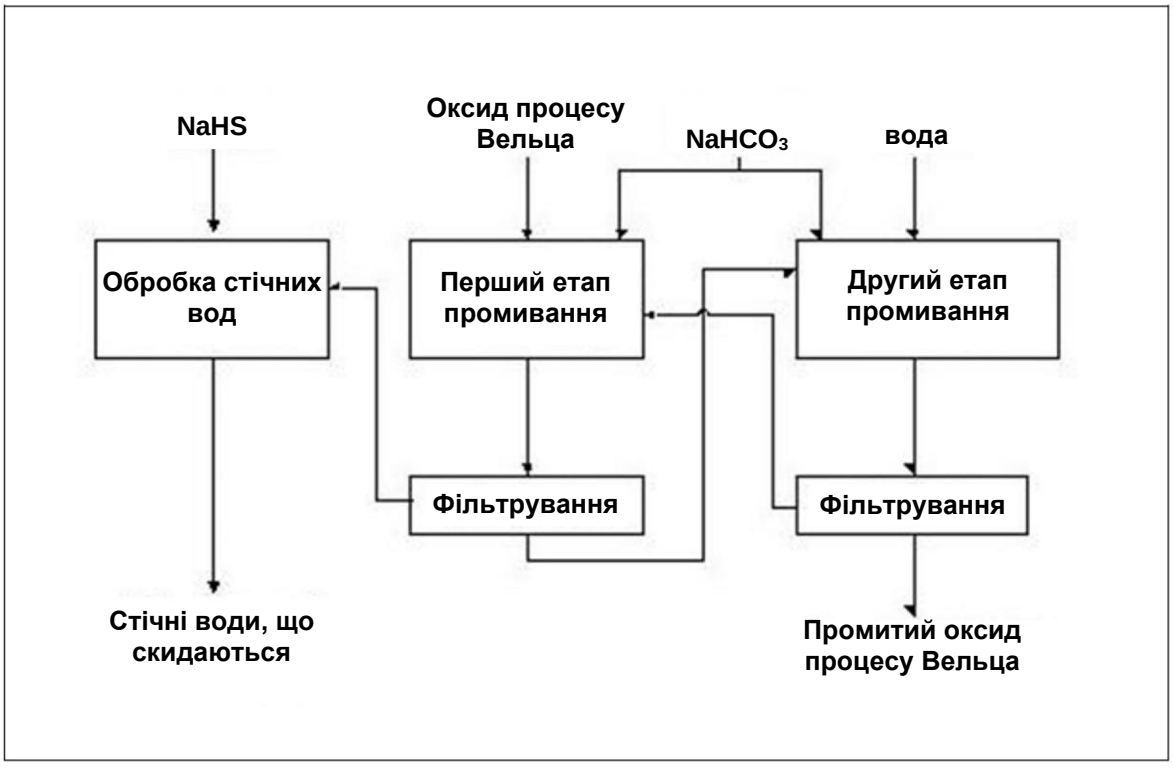


Рисунок 6.30: Схема двоетапного циклу протитечійного промивання оксиду процесу Вельца

Досягнуті екологічні переваги

- При протитечійному промиванні утворюється до трьох разів менше стічних вод.
- Процес без стічних вод можливий у разі застосування процесу кристалізації після промивання.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Див. технічний опис.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії (випаровування) у випадку застосування кристалізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Широко застосовується у вельц-печах.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення обсягів стічних вод.
- Видалення галогенів з оксиду процесу Вельца.

Приклади заводів
Заводи I, J, K, L та M.

Довідкова література
[93, García-Agocheaga, B. 1998], [234, UBA (D) 2007], [399, IZA 2012]

6.3.2.2.3.5 Очищення стічних вод у процесі вельц-печі

Опис
Технології, які слід розглянути:
- кристалізація;
- осадження;
- комбінований процес (кристалізація та осадження).

Технічний опис
Оскільки більшість стічних вод утворюється в результаті промивання оксиду процесу Вельца, процес очищення стічних вод призначений спеціально для очищення цих вод. Інші невеликі потоки стічних вод додаються до установок з очищення відпрацьованих вод, що використовуються для цієї мети.

Кристалізація
Однією з можливостей видалення лугів та галогенів з міцного лужного розчину з першого етапу промивання є застосування етапу кристалізації для отримання сольового залишку та конденсату, що не містить лугу. На етапі кристалізації видаляється 30–35 % від загальної кількості галогенів. Сольовий залишок скидається або закладається під землю, а очищені стічні води можуть бути перероблені на промивній установці. Конденсат з етапу кристалізації переробляють для нового етапу промивання; зрештою, весь процес може працювати без утворення стічних вод. [234, UBA (D) 2007].

Осадження
Коли концентрація галогенів у стічних водах є прийнятною для скидання у приймальні водоймища, можна застосувати інші засоби очищення стічних вод. Для осадження розчинених металів додають сірковмісні добавки, коагулянти та флокулянти. Після етапу фільтрування та нейтралізації очищені стічні води скидаються у каналізацію або в річку/море. Дані щодо Заводу E наведено у Таблиці 6.52.

Комбінований процес
Коли може бути видалена обмежена кількість галогенів, можна застосувати етап часткової кристалізації для видалення деяких галогенів. Частина стічних вод, що залишилася, потім обробляється методом осадження. Завод I повідомив про двоетапне очищення стічних вод. Перший етап — це класичне осадження гідроксиду. На другому етапі для осадження іонів

металів додають спеціальний рідкий реагент, який є ефективнішим, але й дорожчим, ніж NaHS. Дані щодо Заводу I наведено у Таблиці 6.52.

Досягнуті екологічні переваги

Кристалізація

- Видалення стічних вод.
- Часткове видалення галогенідів.

Осадження

Видалення металів зі стічних вод (осадження сульфідів).

Комбінований процес

- Часткове видалення стічних вод.
- Часткове видалення галогенідів.
- Видалення металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Ефект від промивання та типовий склад стічних вод від процесу промивання наведені у Таблиці 6.50, Таблиці 6.51 та Таблиці 6.52.

Таблиця 6.50: Ефект промивання оксиду процесу Вельца

Компонент (%)	Непромитий оксид процесу Вельца	Промитий оксид процесу Вельца (три- або двоетапне промивання)
Цинк	58–63	63–68
Свинець	7–10	9–11
Сірка	0,5–1	< 0,15
Фтор	0,4–0,7	0,08–0,15
Хлор	4–8	0,05–0,15
K_2O	1,5–2	0,1–0,2
Джерело: [234, UBA (D) 2007]		

Таблиця 6.51: Відпрацьована вода від процесу промивання оксиду процесу Вельца

Компонент (мг/л)	Стічні води після обробки за допомогою NaHS
Цинк	0,01–1,0
Свинець	0,01–0,20
Кадмій	0,01–0,10
Джерело: [234, UBA (D) 2007]	

Таблиця 6.52: Відпрацьована вода від процесу промивання оксиду процесу Вельца

Завод		Q		I		M	
		У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.
Потік	$м^3$/год	195	НД	330	НД	28,2	НД
Zn	мг/л	0,04	0,46	0,03	0,06	1,43	5,28
Cd	мг/л	0,0020	0,024	0,0007	0,006	0,05	0,25
Pb	мг/л	0,0031	0,105	0,0067	0,019	0,68	2,76
As	мг/л	0,0123	0,2	< 0,001	< 0,001	0,17	0,64
Cu	мг/л	0,0003	0,0015	< 0,01	< 0,01	0,03	0,19
Fe	мг/л	0,06	0,18	< 0,05	< 0,05	0,3	0,46
Cr	мг/л	0,0015	0,0034	< 0,001	< 0,001	< 0,01	0,1
Cl-	мг/л	2780	5300	635	993	НД	НД
F-	мг/л	3,89	7	0,68	0,93	НД	НД
SO_4^{2-}	мг/л	996	1600	155	269	1994	2945

Примітка:
НД = немає даних.
Завод Q: процес осадження.
Завод I: часткова кристалізація для видалення галогенів + процес осадження.
Завод M: осадження + флокуляція + коагуляція + фільтрація (викиди не відповідають прямим викидам)
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля

Кристалізація

Збільшення споживання енергії (випаровування) та утворення твердих відходів або сольового розчину.

Осадження

Використання хімічних речовин для осадження іонів металу.

Змішаний процес

- Збільшення споживання енергії (випаровування та утворення твердих відходів або сольового розчину).
- Використання хімічних речовин для осадження іонів металу.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Ступінь кристалізації залежить від місцевих умов. Коли викид хлоридів не допускається, здійснюють 100 % кристалізацію. Прикладом може бути завод Befesa у Фрайбергзі.

Коли може бути скинута обмежена кількість хлоридів, застосовується часткова кристалізація, як на заводі в Понтеноссе в Італії, де близько третини загальної кількості галогенів, що містяться в оксиді процесу Вельца, видаляється на установці кристалізації.

Економічні аспекти

Інформація не надана, але процес використовується та є економічно вигідним.

Стимул до впровадження

- Видалення металів (законодавство з охорони довкілля)
- Оптимізація продукту.
- Зменшення викидів фтору, хлору та лугу у приймальне водоймище (місцеве законодавство з охорони довкілля):

Приклади заводів

- Кристалізація: Завод K.
- Осадження: Заводи Q та M.
- Змішаний процес: Завод I.

Довідкова література
[93, García-Agocheaga, B. 1998] [234, UBA (D) 2007], [399, IZA 2012]

6.3.2.2.3.6 Технології запобігання та мінімізації залишків та відходів процесу вельц-печі

Жодних додаткових процесів або обладнання не використовується, тільки належне управління процесом.

6.3.3 Плавлення, легування та лиття цинкових виливків (первинні, вторинні, гідрометалургійні та пірометалургійні процеси)

6.3.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів від плавильних печей, печей для переплавлення, легування, печей витримки та ливарних печей та виробництва цинкового пилу

Опис
Технології, які слід розглянути:

- експлуатація обладнання під негативним тиском;
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Експлуатація обладнання під негативним тиском
Під час додавання флюсів або під час операцій очищення печі можуть відбуватися дифузні викиди пилу і диму. Ці дифузні викиди незначні та контролюються шляхом підтримання негативного тиску в печі, що також призначене для контролю та мінімізації прямих викидів.

Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4)
Рукавні фільтри вважаються найкращим засобом видалення часток відхідних газів від цих операцій.

У Таблиці 6.53 показані як дифузні, так і контрольовані викиди, які можуть виникати у цих операціях.

Таблиця 6.53: Дифузні та контрольовані викиди у процесах гідрометалургійного виробництва цинку

Викиди	Фізичний стан	Основна забруднювальна речовина
Пил	Тверді частки	Оксид цинку Металевий цинк Хлорид цинку
Дим	Аерозольні частки	Оксид цинку Хлорид цинку Хлорид аміаку

Електричні печі, призначені для плавлення цинкових катодів, обладнані системою вентиляторного дуття, що видаляє газовий потік з наступними типовими характеристиками для печі виробничою потужністю 25 т/год цинкових виливків:

- потік газу: 29 100 $Нм^3$/год;
- температура: 50 ºC;
- пил: 1 г/$Нм^3$;

- питома вага пилу: 1,19 кг/л.

Типовий склад пилу, що видаляється (і дросу, що утворюється):

- ZnO: 62–67 % мас;
- $ZnCl_2$: 15–17 % мас;
- Zn (метал): 19–22 % мас;

Крім того, багато заводів із виробництва цинку використовують невеликі установки для виробництва дрібнодисперсного цинкового пилу. Цей пил використовується в процесі очищення для осадження більш електропозитивних металів, таких як Cu, Cd, Ni та Co (див. Розділ 6.3.1.2.4).

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У Таблиці 6.54 наведено дані про викиди від плавлення та лиття на окремих заводах з рафінування цинку.

Таблиця 6.54: Викиди від плавлення та лиття цинку на заводах з рафінування цинку (частина 1)

Завод		A		A		A		B		C (F1)		C (F2)		C (F3)	
		Піч для плавлення		Лінія лиття		Вентиляція робочого місця									
Потік (середнє значення)	10^3 Нм^3/год	98		66		296		64		14		29		26	
		У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.
Пил	мг/нм^3	НД		НД		НД		1,3	3,2	1,3	2,6	0,3	0,5	0,3	0,3
Zn	мг/нм^3	0,57	2,2	0,07	0,12	0,22	0,25	0,9	2,1	1,1	НД	0,2	НД	0,2	НД
NH_4	мг/нм^3	НД		НД		НД		3	7,4	НД		НД		НД	
Технологія, що застосовується		Рукавний фільтр				Немає		Рукавний фільтр							
Частота відбору проб	кількість разів/рік	1		0,2		0,2		1		365		365		365	

Примітка: деякі заводи з рафінування цинку виробляють сплави Zn-Ni (як правило, 0,5–1,0 % Ni) та контролюють викиди Ni.
Завод C здійснює безперервні вимірювання пилу; дані надані як середньодобові.
НД = немає даних.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 6.55: Викиди від плавлення та лиття цинку на заводах з рафінування цинку (частина 2)

Завод		D	E	F		G		H		H	Z	
Потік (середнє значення)	10^3 Нм^3/год	112	104	35		30		45		НД	50	54
		У середньому	У середньому	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	У середньому	Макс.
Пил	мг/нм^3	0,18	0,419	0,25	1,1	3,9	4,5	2,66	НЗ	2,6	1,3	3,5
Zn	мг/нм^3	0,37	0,293	0,17	0,74	НД		2	12	0,83	НД	
Ni	мг/нм^3	0,0017	< ГВ	НД		НД		Н		НД	0,009	0,02
HCl	мг/нм^3	0,92	НД	НД		НД		НД		НД	НД	
Технологія, що застосовується		Рукавний фільтр										
Частота відбору проб	кількість разів/рік	2	3	12		12		2		1	2	

Примітка: деякі заводи з рафінування цинку виробляють сплави Zn-Ni (як правило, 0,5–1,0 % Ni) та контролюють викиди Ni.
НД = немає даних. НХ = Не характерно.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Дані, наведені в Таблицях вище, показують, що рукавні фільтри дозволяють досягти значень концентрації пилу нижче 5 мг/Нм^3, а половина заводів, що подали звіти, повідомляють про середні значення в діапазоні 0,2–0,5 мг/Нм^3. Типовий коефіцієнт викидів становить < 7,5 г Zn/т виробленого цинку.

У Таблиці 6.56 наведено дані про викиди, пов'язані з виробництвом порошку пилу на окремих заводах.

Таблиця 6.56: Викиди від виробництва цинкового пилу

	Завод	B		C (F1)	C (F2)	C (F3)	C (F4)	F	
		У середньому	Макс.	У середньому	У середньому	У середньому	У середньому	У середньому	Макс.
Потік	Нм^3/год	10 644		19 006	19 463	18 368	16 740	7277	
Пил	мг/нм^3	1,8	4,45	9,5	20,0	13,7	14,0	2,4	4,0
Zn	мг/нм^3	1,43	3,57	9,5	19,9	13,6	13,9	2,3	4,0
Технологія, що застосовується		Рукавний фільтр							
Частота відбору проб	кількість разів/рік	1		365	365	365	365	1	2
Примітка: Завод C здійснює безперервні вимірювання пилу; дані надані як середньодобові. *Джерело:* [278, Hunsiger et al 2007]									

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії (споживання електроенергії).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Належні санітарно-гігієнічні умови на робочому місці.

Приклади заводів
Завод B, Завод C та Завод F.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.3.2 Технології запобігання та мінімізації залишків та відходів від процесів плавлення

Опис
Внутрішнє та зовнішнє перероблення залишків та відходів, що утворюються в процесі плавлення, та застосування рукавного фільтра для зменшення викидів, пов'язаних з обробкою цинкового дросу.

Технічний опис
Внутрішнє та зовнішнє перероблення залишків та відходів, утворених у процесі плавлення
Нижче описаний приклад процесу обробки відходів, що утворюються в процесі плавлення (цинковий дрос, дим з цинковмісним пилом та металевий дрос від лиття катодів).

Цинковий дрос транспортується у контейнерах на установку з очищення. Контейнери підіймаються до завантажувального люка бункера. Бункер має просіювальну решітку для видалення більших часток (металу). Решта дросу прямує в кульовий млин за допомогою

вібраційної трубчастої системи подання. Частина дросу з високим вмістом металу відокремлюється від окисненої частини за допомогою просіювального кульового млина. Якщо хімічний склад цих металевих часток відповідає вимогам, частина з високим вмістом металу переплавляється у плавильній печі. В якості альтернативи цей металевий матеріал можна відправити на завод з рафінування цинку (наприклад, на колону типу «Нью-Джерсі») для отримання цинкового пилу, або оксиду цинку.

Після проходження через кульовий млин окиснена частина транспортується в контейнер за допомогою стрічкового конвеєра. Контейнер доставляється вантажівкою на установку з випалювання, де після змішування з цинковими концентратами він перетворюється на обпалений продукт, готовий до використання у секторі вилуговування на заводі.

Пил і дим, що містять цинк, а також пил, виділений на тканинному фільтрі, мають характеристики та склад, подібні до окисненої частини, виділеної на кульовому млині, і тому також направляються в піч випалювання або можуть бути використані для виробництва цинкових хімічних сполук (оксид цинку, хлорид цинку тощо).

Металевий дрос від лиття катодів має характеристики та склад, подібні до частини з високим вмістом металу з кульового млина, і, отже, обробляються разом з ним, як описано вище.

На Рисунку 6.31 узагальнено процеси, що застосовуються до відходів/залишків, що утворюються в процесі плавлення цинку.

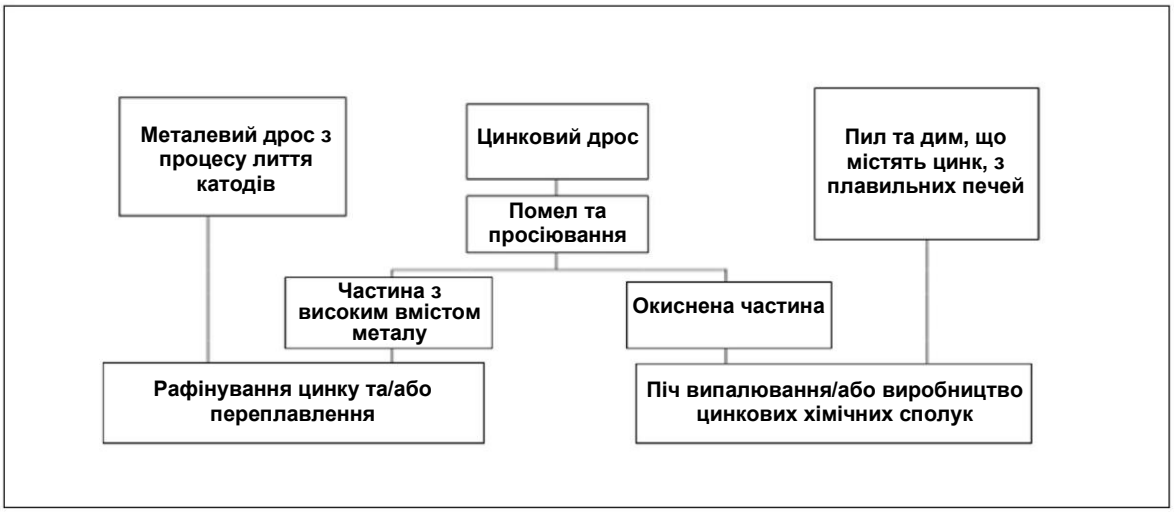


Рисунок 6.31: Схема типової обробки відходів/залишків, що утворюються під час плавлення цинку

Рукавний фільтр
Кульовий млин, бункер та все транспортувальне обладнання з'єднані з рукавним фільтром для видалення пилу/диму, які могли утворитися у процесі обробки.

Досягнуті екологічні переваги
Внутрішнє та зовнішнє перероблення залишків та відходів, утворених у процесі плавлення
Повторне використання відходів, що утворюються.

Рукавний фільтр
Зменшення дифузних викидів у повітря під час обробки цинкового дросу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавний фільтр
У Таблиці 6.57 наведено дані про викиди під час механічної обробки цинкового дросу на окремих заводах.

Таблиця 6.57: Викиди від помелу цинкового дросу на заводах з рафінування цинку

	Завод	B		C		Q		F		H	
		У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.
Потік	$Нм^3$/год	16 310		30 369		9507		9371		35 000	
Пил	мг/$нм^3$	0,45	1,11	1,25		0,42	1,05	0,53	2,6	4,5	4,65
Zn	мг/$нм^3$	0,36	0,89	1,00	1,6	0,293	0,73	0,32	1,8	0,78	2,38
Технологія, що застосовується		Рукавний фільтр									
Частота відбору проб	кількість разів/рік	1		1		3		12		2	
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]											

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Завод B, Завод C, Завод F, Завод H і Завод Q.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.3.3 Технології для запобігання утворенню стічних вод

Опис
Повторне використання технологічної води у градирнях або інших теплообмінних системах.

Технічний опис
На установках плавлення та лиття цинку вода використовується для наступних цілей:

- охолодження ливарних форм та виливків;
- операції з очищення.

Охолодження ливарних форм і виливків здійснюється за допомогою охолоджувальних водяних сорочок, якими циркулює вода, не контактуючи з розплавленим металом. Ці охолоджувальні пристрої є частиною стінок і дна форми. Вода, що використовується для цієї мети, циркулює у замкнутому циклі, як описано нижче, для мінімізації втрат. Крім того, поверхні великих виливків часто охолоджують шляхом розпилення води на їхню верхню поверхню. Ця вода, що розпилюється, випаровується і тому не відновлюється.

Щоб мінімізувати використання води, а, отже, і обсяг стічних вод, після виходу з лінії лиття використана вода спрямовується в систему теплообміну, яка найчастіше складається з градирень зі штучною тягою. Повітря і вода циркулюють у протилежних напрямках, і температура води знижується, що дозволяє повторно використовувати її для охолодження та/або інших цілей. Внаслідок цього процесу єдині втрати води пов'язані з випаровуванням у градирні. Кількісна оцінка зазначених втрат залежатиме від місцевих атмосферних умов і не може бути оцінена в цілому. Залежно від місцевих умов можуть використовуватися

інші системи теплообміну, такі як теплообмінники, що використовують воду зі ставів з дощовою водою, але в цьому конкретному випадку градирні є найбільш економічним способом рециркуляції води після її використання на лініях лиття. Вода, що використовується для охолодження лінії лиття, чиста та тепла, і вона також повторно використовується у гідрометалургійному процесі.

Вода, що використовується для очищення, може бути забруднена. Її загальний обсяг непридатний для використання та перед скиданням має пройти очищення на загальній установці з очищення відпрацьованих вод на заводі.

Досягнуті екологічні переваги
У процесі охолодження форми не утворюється стічних вод.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Інформацію не надано.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.4 Очищення стічних вод заводів з виробництва цинку (первинні, вторинні, гідрометалургійні та пірометалургійні процеси)

Як описано вище, у великій кількості установок охолоджувальна вода та очищені стічні води, в тому числі дощова вода, вода з операцій з контролю полігону для захоронення, вода після відновлення ґрунту тощо, повторно використовується або рециркулює в технологічних процесах. Деякі потоки стічних вод можуть залишатися і перед скиданням їх необхідно очищати для видалення розчинених металів і твердих часток. Традиційно здійснюється осадження гідроксиду/карбонату. У деяких випадках використовується комбінований або двоетапний процес осадження з етапом гідроксиду, за яким іде етап сульфіду. Додатковий етап видалення сульфіду забезпечує зменшення кількості металів до нижчої концентрації, ніж в результаті осадження гідроксидів [168, Steil, H.U. et al. 1999]. Технології, наведені в Розділі 2.12.6.2, є технологіями, які слід розглянути.

6.3.4.1 Очищення стічних вод гідрометалургійного та пірометалургійного виробництва цинку

Опис
Технології, які слід розглянути:

- попередня обробка деяких потоків стічних вод (наприклад, слабка кислота, що зливається з етапу очищення вологого газу печі для випалювання) перед їх направленням на установку з очищення відпрацьованих вод;

- установка з очищення відпрацьованих вод на основі неорганічного процесу (осадження гідроксидів з подальшим, за необхідності, осадженням сульфідів) (див. Розділ 2.12.6.2);
- Установка з очищення відпрацьованих вод на основі біологічного процесу (див. Розділ 2.12.6.2).

Технічний опис

Як правило, на заводах з виробництва цинку більшість стічних вод, що містять метали, сульфати та/або інші елементи, які не придатні для повторного використання в технологічному процесі (див. Розділ 6.3.1.2.6), збирається і зрештою обробляється на центральній установці з очищення відпрацьованих вод.

Попередня обробка

*Т*иповим прикладом попередньої обробки є обробка слабкої кислоти, що зливається з етапу очищення вологого газу печі для випалювання. Ця вода аерується, тому частина розчиненого SO_2 вилучається. Цей потік SO_2 додається до основного потоку газу з печі для випалювання, щоб цей SO_2 також вилучався, тоді як кількість сульфідів/сульфатів, які необхідно обробляти на установці з очищення стічних вод, також зменшується. Крім того, у зливі слабкої кислоти можуть бути присутні спонтанно утворені тверді сполуки, що містять ртуть та/або селен Видалення цього осаду (у відстійнику або фільтрі) перед спрямуванням потоку на центральну установку з очищення відпрацьованих вод є способом розвантажити установку.

Оцінка доцільності попередньої обробки певних потоків стічних вод може проводитися тільки в кожному конкретному випадку, оскільки вирішальні параметри можуть залежати від об'єкта або регіону (наприклад, умови скидання стічних вод, обмеження складу відходів для захоронення або обробки).

Крім того, коли осадження застосовується у два або більше етапи (див. нижче), іноді може бути вигідним не збирати всі стічні води в одному контурі, а робити розмежування між двома (або більше) «родинами», наприклад, сильно навантажена вода (наприклад, злив з етапу очищення вологого газу печі з випалювання) та слабко навантажена вода (наприклад, стік дощової води). В цьому випадку останні можуть входити в процес після першого етапу, що може бути вигідно з точки зору загальної продуктивності та експлуатаційних витрат. Знову ж, це має оцінюватися в кожному конкретному випадку (наприклад, вартість подвійної каналізаційної системи значною мірою залежить від схеми заводу).

Установка з очищення відпрацьованих вод

Для заводу з виробництва цинку з річною виробничою потужністю 250 кт загальний потік, що підлягає очищенню на центральній установці з очищення відпрацьованих вод, становить близько 100–300 $м^3$/год. Застосовуються лише технології, здатні з технічної та економічної точки зору впоратися з великими потоками.

У неорганічному процесі, як і біологічному процесі, основною метою є осадження металів та інших сполук у вигляді нерозчинних або важкорозчинних сполук в один або кілька етапів. Тверді частки відокремлюються від водного потоку шляхом відстоювання та/або фільтрування в один або кілька етапів.

Установка з очищення відпрацьованих вод на основі неорганічного процесу

Зазвичай застосовують осадження гідроксиду. Шляхом регулювання pH до значення в діапазоні від 9 до 10,5 зазвичай шляхом додавання лужних реагентів, таких як вапно або гідроксид натрію, оскільки більшість потоків стічних вод є кислими, метали осаджуються у вигляді гідроксидів. Зазвичай цей етап нейтралізації та осадження здійснюють з одним значенням pH; у деяких випадках це робиться у два або більше етапів, де можуть застосовуватись різні значення pH.

Загальне рівняння для осадження гідроксиду:

$$Me^{2+} + 2OH \rightarrow Me(OH)_2\ (s)$$

Майже всі стічні води заводу з виробництва цинку містять значну кількість сульфатів і мають низький рівень pH (оскільки містять сірчану кислоту). Шляхом додавання вапна (негашеного вапна, каустичного вапна) для нейтралізації та осадження гідроксидів сульфати одночасно видаляються з води у вигляді гіпсу (до досягнення рівня рівноваги близько 1,6 г/л сульфату):

$$SO_4^{2-} + Ca^{2+} \rightarrow CaSO_4\ (s)$$

У деяких випадках осадження гідроксиду поєднується з осадженням сульфіду шляхом додавання, наприклад, NaHS або Na_2S (одночасне осадження в тому ж самому реакторі, таке як багатоетапне осадження) або відбувається вслід за ним. Оскільки розчинність сульфідів металів нижче, ніж розчинність відповідного гідроксиду металу, сульфідний етап здатний видаляти метали до нижчої концентрації, ніж це досягається в процесі осадження гідроксиду.

Загальне рівняння для осадження сульфіду:

$$Me^{2+} + S^{2-} \rightarrow MeS\ (s)$$

Осадження гідроксидів та/або сульфідів є основою операцією з очищення стічних вод. Проте, у деяких випадках додаються додаткові етапи для видалення елементів, що були недостатньою мірою видалені. Необхідність цього залежить від конкретної ситуації на об'єкті (наприклад, наявність типових елементів, суворі стандарти викидів). Деякі відомі приклади: фтор може бути частково осаджений у вигляді CaF_2 шляхом додавання вапна або іншого джерела кальцію з pH 9,5, а миш'як може бути частково видалений шляхом осадження додаванням залізистих (III) солей.

Розділення твердої та рідкої фаз зазвичай здійснюється за допомогою відстоювання в циліндричному відстійнику, пластинчастому відстійнику або відстійнику іншого типу (наприклад, згущувач, декантатор, освітлювач, седиментаційний резервуар). У деяких випадках процес доповнюється операцією фільтрації (наприклад, піщаним фільтром). Для покращення характеристик відстоювання та/або фільтрації можна використовувати добавки флокулянту-коагулянту.

Неорганічний процес найчастіше використовується на гідрометалургійних заводах з виробництва цинку в ЄС. Єдиний пірометалургійний завод з виробництва цинку, що працює в ЄС, також застосовує цей процес.

Установка з очищення відпрацьованих вод на основі біологічного процесу
На одному європейському заводі використовується біологічний процес для виробництва сульфід-іонів *на місці.* Слабка кислота, що відводиться від мокрого газоочищення, має високу концентрацію сульфатів (10—25 мг/л) та обробляється в першу чергу. Сульфат-іони відновлюється до сульфід-іонів (S^{2-}, HS^-) за допомогою газоподібного водню та сульфатвідновлювальних бактерій на установці біологічного очищення відпрацьованих вод:

$$SO_4^{2-} + 4H_2 \rightarrow S^{2-} + 4H_2O$$

Водень виробляється з природного газу та пари в установці риформінгу. Цинк та інші метали вступають в реакцію з сульфід-іонами та осаджуються у вигляді сульфіду металу:

$$Me^{2+} + S^{2-} \rightarrow MeS\ (s)$$

Отже, загальна реакція така:

$$MeSO_4 + 4H_2 \rightarrow MeS\ (s) + 4H_2O$$

Концентрації сульфатів і металів після цього очищення все ще надто високі, щоб їх можна було прямо скидати, і вода очищається на іншому етапі разом з іншими відпрацьованими водами від виробництва (а також із підземними водами після відновлювальних робіт). Водночас також використовуються сульфатвідновлювальні бактерії для осадження металів у вигляді сульфідів, але в цьому випадку замість водню у якості донора електронів використовується етанол. У цьому випадку загальна реакція така:

$$3MeSO_4 + 2C_2H_5OH \rightarrow 3MeS\ (s) + 2H_2O + 4H_2CO_3$$

Оскільки підвищені концентрації вільних металів у потоках стічних вод є токсичними для сульфатвідновлювальних бактерій, реактор повинен виробляти надлишок сульфідів. Оскільки концентрація вільного сульфіду у воді, що скидається, повинна бути низькою, для перетворення сульфід-іонів, що залишилися, в елементарну сірку використовується аеробний біологічний реактор:

$$S^{2-} + ½\ O_2 + H_2O \rightarrow S°(s) + 2OH^-$$

Всі сульфіди металів та осад біомаси повертаються на етап випалювання для вилучення металів у секціях виробництва цинку та сірки у вигляді сірчаної кислоти.

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення викидів металів у воду. Вміст металів у стічних водах у такому біологічному процесі аналогічний вмісту металів в очищеній воді, отриманій у найбільш ефективній системі очищення відпрацьованих вод, заснованій на додаванні неорганічних сульфідів (NaHS, Na_2S), в основному тому, що хімічна основа обох процесів по суті однакова (через низьку розчинність сульфідів металів).
- Зменшення викидів сірки у воду. Біологічний процес має додатковий позитивний вплив, що полягає у зниженні вмісту сульфатів у очищеній воді. Концентрація сульфату може досягати близько 600 мг/л проти концентрації близько 1600 мг/л у класичному неорганічному процесі очищення на установці з очищення відпрацьованих вод.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

У Таблиці 6.58 наведено дані про викиди у воду від окремих заводів, що застосовують процес RLE (середні значення за пробами, отриманими протягом року, та максимальні середньодобові значення протягом року).

Таблиця 6.58: Викиди у воду від заводів, що застосовують процес RLE (частина 1)

Завод		**A**		**B**		**C**		**D** Вилуговування + видалення Mg та Mn		**D** Вилуговування + дощова вода		**D** Завод H_2SO_4	
Потік	$м^3$/год	110–145		248		257,4		84,6		81,4		5,8	
		У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.
Zn	мг/л	0,02—0,25	0,25	0,17	0,34	2,3	3,5	0,8	1,66	0,39	0,92	0,18	0,37
Cd	мг/л	< 0,004	0,004	0,0018	0,005	0,013	0,13	0,01	0,027	0,02	0,0352	0,01	0,0065
Pb	мг/л	НЗ	НЗ	0,002	0,015	0,035	0,107	0,022	0,031	0,029	0,05	0,033	0,064
Hg	мг/л	< 0,00025	НЗ	0,0001	НЗ	0,001	0,0026	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,001	0,0017
As	мг/л	0,005–0,01	0,01	0,0011	0,003	0,008	0,012	0,002	0,002	0,002	0,002	3,6	11,51
Cu	мг/л	< 0,05	< 0,05	0,0004	НЗ	0,006	0,01	0,005	0,012	0,006	0,013	0,009	0,024
Ni	мг/л	0,1–0,4	0,4	0,002	0,017	0,005	0,005	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Fe	мг/л	1,2–2,9	2,9	0,85	1,9	0,2	0,2	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Co	мг/л	0,1–0,3	0,3	0,0001	0,002	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Cr	мг/л	НЗ	НЗ	0,003	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
SO4--	мг/л	НЗ	НЗ	574	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ

Примітка: застосовуються наступні методи усунення забруднення довкілля:
Завод A: регулювання pH за допомогою осадження $Ca(OH)_2$, осадження сульфідів за допомогою Na_2S, фільтр (загальна установка з очищення відпрацьованих вод з заводом з виробництва Co-Ni-Cu поряд).
Завод B: регулювання pH за допомогою осадження $Ca(OH)_2$, біологічне відновлення сульфатів до сульфідів, відстійник.
Завод C: регулювання pH за допомогою осадження $Ca(OH)_2$ флокуляції та піщаного фільтра.
Завод D: регулювання pH за допомогою $Ca(OH)_2$, осадження сульфідів за допомогою Na_2S, піщаний фільтр.
Завод D: регулювання pH за допомогою $Ca(OH)_2$, осадження сульфідів за допомогою Na_2S, піщаний фільтр.
Завод D: осадження сульфідів за допомогою Na_2S + $CuSO_4$, регулювання pH за допомогою NaOH + Na_2S, фільтрування.
НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 6.59: Викиди у воду від заводів, що застосовують процес RLE (частина 2)

Завод		E	F		G		H	I	
Потік	$м^3$/год	195	42		350		НЗ	330	
		У середньому	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	У середньому	Макс.
Zn	мг/л	0,04	0,04	0,1	0,56	2,5	0,39	0,03	0,06
Cd	мг/л	0,002	0,0012	0,0024	0,066	0,1	0,02	0,0007	0,006
Pb	мг/л	0,0031	0,013	0,029	0,091	0,3	0,02	0,0067	0,019
Hg	мг/л	НЗ	0,0006	0,0017	< 0,001	НЗ	НЗ	0,0002	0,00032
As	мг/л	0,0123	0,019	0,093	< 0,001	0,001	НЗ	< 0,001	< 0,001
Cu	мг/л	0,0003	0,005	0,005	0,02	0,05	0,05	< 0,01	< 0,01
Ni	мг/л	НЗ	0,005	0,005	НЗ	НЗ	НЗ	< 0,001	0,002
Fe	мг/л	0,06	0,04	0,077	0,04	0,2	0,09	< 0,05	< 0,05
Cr	мг/л	0,0015	0,005	0,005	НЗ	НЗ	НЗ	< 0,001	< 0,001
SO4--	мг/л	996	НЗ	НЗ	650	1200	650	155	269
Sb	мг/л	0,002	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ

Примітка: застосовуються наступні методи усунення забруднення довкілля:
Завод E: регулювання pH за допомогою $Ca(OH)_2$, осадження сульфідів за допомогою Na_2S, відстоювання, фільтрування.
Завод F: регулювання pH за допомогою NaOH, осадження сульфідів за допомогою Na_2S, відстоювання, фільтрування.
Завод G: регулювання pH за допомогою NaOH, осадження сульфідів за допомогою Na_2S, відстоювання, фільтрування.
Завод H: стічні води надходять на установку з очищення відпрацьованих вод консорціуму.
Завод I: регулювання pH за допомогою $Ca(OH)_2$ або H_2SO_4, спеціальне (невідоме) хімічне осадження, флокуляція, відстоювання.
Заводи E та I мають вищий вміст Cl через стічні води від промивання оксиду процесу Вельца.
Обсяг дощової води може сильно відрізнятися на різних заводах. Наприклад, річна кількість опадів на Заводі D становить 2000 мм проти 600 мм на Заводі F.
Коли потужність відстоювання надто низька, дрібнодисперсні тверді частки можуть залишатися у стоках з установки з очищення стічних вод. Під час дощів потік стічних вод вище, а час відстоювання менше.
НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

У Таблиці 6.60 наведено дані про викиди у воду з єдиного заводу в ЄС, що використовує піч ISF.

Таблиця 6.60: Викиди у воду від заводу, що використовує піч ISF

	Одиниці вимірювання	Завод O
Zn	мг/л	0,70
Cd	мг/л	0,12
Pb	мг/л	0,12
Tl	мг/л	0,68
Cl-	мг/л	970
SO_4^{2}-	мг/л	770

Примітка: застосовні методи усунення забруднення довкілля передбачають регулювання pH за допомогою осадження $Ca(OH)_2$ та осадження сульфідів за допомогою Na_2S, відстійник.
Потоки стічних вод виходять з технологічних стічних вод, дощової води та води з зони захоронення.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Також повідомляється про викиди з заводу в Японії, що виробляє вторинний цинк методом вилученням розчинником (див. Таблицю 6.61).

Таблиця 6.61: Викиди у воду під час виробництва вторинного цинку з використанням вилучення розчинником

Стічні води від процесу вилучення розчинником		
	Одиниці вимірювання	Завод в Японії
Zn	мг/л	< 0,2
Pb	мг/л	< 0,02
Cu	мг/л	< 0,5
Cd	мг/л	< 0,05
F	мг/л	3,3
ХСК	мг/л	4,7
Загальна кількість завислих твердих часток	мг/л	3,7
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Вплив на різні компоненти довкілля

Установка з очищення відпрацьованих вод на основі неорганічного процесу

- Використання нейтралізувальних агентів (вапно, гідроксид натрію), джерел сульфідів (NaHS, Na_2S) та флокулянтів.
- Утворення відходів.

Установка з очищення відпрацьованих вод на основі біологічного процесу

- Використання нейтралізувальних агентів (вапно, гідроксид натрію) та флокулянтів. Потрібна менша кількість нейтралізувальних агентів, ніж у неорганічному процесі.
- Використання природного газу, етанолу або інших джерел вуглецю.
- Збільшення споживання енергії (мінімальна температура має бути близько 30 °C).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Установка з очищення відпрацьованих вод на основі неорганічного процесу

Поширена технологія, тому ноу-хау є відносно легкодоступним.

Установка з очищення відпрацьованих вод на основі біологічного процесу

Цей процес складніший і тонший, ніж неорганічна версія. Це, а також той факт, що повинна бути гарантована мінімальна температура близько 30 °C, обмежує загальну застосовність цієї технології; необхідна оцінка на кожному окремому об'єкті.

Економічні аспекти

Установка з очищення відпрацьованих вод на основі неорганічного процесу

Інформація не надана, але ця технологія використовується у всій галузі.

Установка з очищення відпрацьованих вод на основі біологічного процесу

Інформацію не надано. Інвестиційні витрати та прямі експлуатаційні витрати вищі, ніж для аналогічної неорганічної версії, але єдиний завод у ЄС працює ефективно.

Стимул до впровадження

Зменшення викидів металів та інших забруднювальних речовин у воду.

Приклади заводів

- Біологічний процес: Nyrstar, Бюдел (Нідерланди).
- Неорганічний процес: всі інші європейські заводи з виробництва свинцю.
- Осадження за допомогою спеціальної (невідомої) хімічної речовини: Завод I.

Довідкова література

[319, Boonstra 2003], [320, Huisman 2004], [401, Houten et al. 2009], [402, Buisman et al. 1999]

[319, Boonstra 2003], [320, Huisman 2004], [401, Houten et al. 2009], [402, Buisman et al. 1999]

6.3.5 Способи виробництва та переробки кадмію

6.3.5.1 Гідрометалургійне виробництво кадмію

6.3.5.1.1 Технології запобігання та зменшення викидів від вилуговування та розділення твердої та рідкої фаз

Опис
Технології, які слід розглянути:

- центральна система всмоктування;
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.2).

Технічний опис
У випадку спеціальної секції, призначеної для виробництва кадмію, все обладнання підключається до центральної системи всмоктування, а вихлопний газ очищається у мокрому скрубері. Злив промивного розчину повертається в секцію вилуговування цинку [234, UBA (D) 2007].

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання та зменшення викидів у повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані заводу F наведені в Таблиці 6.29, оскільки у цьому випадку реактори гідрометалургійного заводу підключені до центрального скрубера, який охоплює реактори очищення розчину цинку, реактори заводу з виробництва кадмію, реактори цементації та гранулювання кадмію і реактор обробки мідного залишку.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Застосовується до спеціальних секцій вилуговування кадмію.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів у повітря.
- Охорона праці.

Приклади заводів
Заводи в Бельгії, Болгарії, Німеччині, Нідерландах та Польщі.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.5.1.2 Технології запобігання викидів від електролізу

Опис
Покриття камер поліетиленовим брезентом або окремими стрічки.

Технічний опис
Подібно до процесу електролітичного виробництва цинку, але в меншому масштабі, кадмій осаджується з очищеного розчину сульфату кадмію на алюмінієві пускові катоди, а на анодах утворюється кисень. Бульбашки кисню, що лопнули на поверхні, можуть утворити кислотний туман (аерозольні частки). Щоб зменшити ці викиди туману, камери можна накрити поліетиленовим брезентом, або окремі пластикові стрічки можна помістити над електродами або між ними.

Дифузні викиди пилу можна зменшити шляхом належної організації виробництва, тобто, забезпечення невідкладного видалення розливів рідин, що містять кадмій, і твердих речовин, підтримання вологості підлоги в (частині) зоні.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання викидам кислотного туману та дифузним викидам пилу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформація про конкретний внесок зазначених технологій не надана.

Вплив на різні компоненти довкілля
Не повідомлено.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Широко застосовується в будь-якому цеху електролізу для виробництва кадмію.

Економічні аспекти
Інвестиційні витрати на поліетиленові покриття відносно обмежені.

Стимул до впровадження
- Запобігання викидам у повітря.
- Охорона праці.

Приклади заводів
Nyrstar, Бюдел (Нідерланди).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.5.1.3 Технології запобігання та мінімізації утворення залишків та відходів з заводів з гідрометалургійного виробництва кадмію

Опис
Вилучення або осадження цементату з високим вмістом кадмію з гідрометалургійного виробництва цинку.

Технічний опис
Відновлення
Технологія полягає у вилученні кадмію з процесу виробництва цинку у вигляді цементу з високим вмістом кадмію в секції очищення для його подальшого концентрування та рафінування (електроліз або пірометалургійний процес) і, нарешті, перетворення його на товарний металевий кадмій або сполуки кадмію.

Осадження
Технологія полягає у вилученні кадмію з процесу виробництва цинку у вигляді цементу з високим вмістом кадмію в секції очищення та застосуванні ряду гідрометалургійних операцій для перетворення кадмію на осад з високим вмістом кадмію (наприклад, цемент (металевий Cd), $Cd(OH)_2$), який піддається захороненню за суворо контрольованих умов.

Досягнуті екологічні переваги
Відновлення
Безвідходний процес.

Осадження
Крім спрямованої утилізації відходів кадмію на захоронення, процес є безвідходним: всі технологічні потоки рециркулюють в секції обробки кадмію або в потоці заводу з виробництва цинку. Обсяг відходів, що підлягають захороненню, відносно обмежений, оскільки процес здійснюється таким чином, щоб концентрація кадмію була високою (не менше 20 %). Умови захоронення відповідають чинному законодавству. Це часто означає, що залишок необхідно стабілізувати (наприклад, додати вапно) на об'єкті або на полігоні для захоронення для покращення його фізичних властивостей (наприклад, вилуговуваності).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Відсоток осаду з високим вмістом кадмію, що відправляється на захоронення, залежить від ринкового попиту.

Вплив на різні компоненти довкілля
Відновлення
- Використання реагентів. Для цементації кадмію в очищенні або в кадмієвій секції необхідний цинковий пил (в 1,1–1,6 раза більше за стехіометричну кількість згідно з реакцією $Cd^{++} + Zn \rightarrow Cd + Zn^{++}$).
- Збільшення споживання енергії (для електролізу та плавлення/лиття необхідна електроенергія для перетворення кадмію на його металеву форму).

Осадження
- Використання реагентів. Для цементації кадмію в очищенні або в кадмієвій секції необхідний цинковий пил (в 1,1–1,6 раза більше за стехіометричну кількість згідно з реакцією $Cd^{++} + Zn \rightarrow Cd + Zn^{++}$). Крім того, осадження кадмію в неметалевій формі (наприклад, у вигляді гідроксиду) вимагає додавання вапна або NaOH.
- Утворюються концентровані відходи кадмію.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
З технологічної точки зору процес відновлення є складнішим і менш надійним процесом, ніж осадження: розчин сульфату кадмію повинен бути очищений, перш ніж його можна буде обробити в секції електролізу, а вимоги до якості розчину сульфату кадмію, з якого залишки відходів будуть осаджуватися є менш суворими.

Обладнання, необхідне у процесі відновлення (реакційні резервуари, відстійники, електролітичні камери, плавильна піч, ливарне обладнання), значно більш комплексне, ніж у процесі осадження (реакційні резервуари, відстійники, фільтр).

Який із цих двох варіантів вибере завод, багато в чому залежить від ринкових умов (тобто ринок кадмію надто малий, щоб використовувати весь кадмій, який теоретично може бути вироблений), можливостей/умов захоронення, наявності необхідного обладнання та досвіду тощо. Ці умови можуть залежати від об'єкта або регіону і можуть змінюватися з часом.

Економічні аспекти
Кількісних даних немає, але вартість та вигоди обох варіантів сильно залежать від ринкових умов (ціна на кадмій, ринок короткострокових або довгострокових зобов'язань), можливостей/умов захоронення (ціна, відстань до полігону), інвестиційних та експлуатаційних витрат (кількість працівників, енергія, реагенти). Ці умови можуть сильно залежати від об'єкта або регіону і можуть змінюватися з часом.

Стимул до впровадження
Стимулом для провадження одного з цих двох варіантів є:

- рентабельність/вартість у короткостроковій та довгостроковій перспективі;
- вплив на довкілля (утворення/запобігання утворенню відходів, використання електроенергії та реагентів);

- здатність дотримуватись законодавства з охорони довкілля та охорони здоров'я людини.

Приклади заводів
- Відновлення: Завод B, Завод D та Завод F.
- Осадження: Завод A (зберігається в бетонному бункері), Завод E (потік захоронених відходів – гідроксид кадмію) та Завод P (потік захоронених відходів — цемент з високим вмістом кадмію).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.5.2 Пірометалургійне виробництво кадмію

6.3.5.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів кадмію у пірометалургійному виробництві цинку (ISP)

Дані з заводів B, D і F надані у Розділі 6.3.5.3.

6.3.5.2.2 Технології запобігання та зменшення викидів від брикетування та гранулювання цементного металевого кадмію

Опис
Технології, які слід розглянути:

- центральна система всмоктування;
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6).

Технічний опис
Розчин сульфату кадмію перекачується у резервуар осадження кадмію. Додається цинковий пил, і кадмій осаджується у вигляді невеликих гранул. Гранули відокремлюються від розчину у нутч-фільтрі, промиваються і пресуються у брикети на гідравлічному пресі. Брикети збираються в закриті контейнери для транспортування на завод з рафінування кадмію. Вміст кадмію > 98 %. Збіднений розчин повертається в секцію вилуговування цинку.

Обладнання підключено до центральної системи всмоктування, а вихлопні гази обробляються у мокрому скрубері. Злив промивного розчину використовується в секції вилуговування цинку.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані заводу F наведені в Таблиці 6.29, оскільки у цьому випадку реактори гідрометалургійного заводу підключені до центрального скрубера, який охоплює реактори очищення розчину цинку, реактори заводу з виробництва кадмію, реактори цементації та гранулювання кадмію і реактор обробки мідного залишку.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Екологічно безпечний процес за розумною ціною.

Приклади заводів
Завод F.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.5.2.3 Методи зниження викидів під час вилучення кадмію шляхом випарювання/конденсації

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- Електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1);
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6).

Технічний опис
У низькотемпературному способі брикети кадмію (отримані в процесі, описаному в Розділі 6.3.5.2.2), плавляться в печі під шаром каустичної соди. Дрос видаляється і відливається у невеликі виливки. Рідкий кадмій передається до рафінувальної печі.

У рафінувальній печі розплавлений кадмій обробляють каустичною содою для видалення цинку. Суміш перемішують протягом кількох годин. Потім мішалку вимикають, дрос видаляють і відливають у невеликі виливки. Тепер метал містить > 99,5 % кадмію та передається на вакуумне дистилювання.

У вакуумному дистилюванні кадмій відокремлюється від компонентів, що мають нижчий тиск пари. У дистиляційній установці підтримується вакуум і метал випаровується за температури, близької до температури плавлення. Менш леткі компоненти конденсуються та повертаються в піч. Високосортний кадмій збирається у вигляді конденсату та відливається у виливки.

Все обладнання заводу з рафінування кадмію підключено до центральної системи всмоктування. На Заводі F вихлопні гази обробляються в електростатичному фільтрі перед випусканням в навколишнє середовище. Уловлений пил періодично вимивається з електростатичного фільтра водою. Стічні води використовуються у секції вилуговування цинку. На Заводі B використовується скрубер, а на Заводі D — рукавний фільтр.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення дифузних викидів пилу в повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані із Заводів B, D і F надані в Розділі 6.3.5.3, оскільки обидва потоки відхідних газів обробляються одним і тим же пристроєм для боротьби з викидами.

У Таблиці 6.62 показано розподіл вихідного потоку кадмію для Заводів B, E (остаточне рафінування кадмію із Заводу E відбувається на Заводі B) та F (гідрометалургійний спосіб/спосіб вакуумного дистилювання для виробництва кадмію).

Таблиця 6.62: Розподіл вихідного потоку кадмію на європейських заводах з рафінування цинку

Вхідний потік (%)	Завод B	Завод E	Завод F
Вилучений металевий кадмій	90,4	14	Приблизно 70
Кадмій як домішка у побічних продуктах (концентрати Cu та Pb-Ag)	9,4	41	20–25
Утилізація кадмію	Не повідомлено	35 (відходи Cd) + 5 (ґетит)	5-10 (Jarofix)
Кадмій для утилізації з осадом з установки з очищення відпрацьованих вод	0,1	5	Приблизно 0,1
Кадмій у викидах в повітря	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Кадмій у викидах у воду	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
- Технологія дійсна лише за потреби в кадмії, рафінованому пірометалургійним способом.
- Для безвідходної роботи процес має бути інтегрований у гідрометалургійний завод з рафінування цинку.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Заводи B, E та F.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано**.**

6.3.5.2.4 Технології запобігання та мінімізації залишків та відходів пірометалургійного виробництва кадмію

Всі залишки переробляються/використовуються повторно на об'єкті або за його межами.

6.3.5.3 Плавлення, легування та лиття виливків кадмію (первинний та вторинний контури)

6.3.5.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів від плавильних печей, печей для переплавлення, легування, печей витримки та ливарних печей

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- Електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1),
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6).

Технічний опис
Високосортний кадмій відливається вручну з печі для рафінованого кадмію в кульки, палички або інші формати. Відливки нарізають і пакують у картонні коробки з пластмасовим внутрішнім покриттям або в біг-беги. Брухт від процесів лиття та нарізання переплавляється у спеціальній печі та повторно відливається.

Печі підключені до центральної системи всмоктування. Вихлопний газ обробляється в скрубері або електростатичному фільтрі перед випусканням у навколишнє середовище. Уловлений пил періодично вимивається з електростатичного фільтра водою. Стічні води використовуються у секції вилуговування цинку. Аналогічно, злив зі скрубера можна обробляти на заводі з виробництва цинку.

Дрос із плавильних печей переробляється на заводі з виробництва цинку.

Досягнуті екологічні переваги
- Відходи не утворюються.
- Дуже низький рівень викидів з використанням електростатичного фільтру.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У Таблиці 6.61 наведено дані про викиди різних процесів виробництва кадмію на окремих заводах.

Таблиця 6.63: Викиди від плавильних печей, печей для переплавлення, легування, печей витримки та ливарних печей для обробки кадмію

Завод		B		D		F	
		У середньому	Макс.	У середньому	Макс.	У середньому	Макс.
Потік	$Нм^3$/год	4950	НЗ	10 087	НЗ	7500	НЗ
Пил	мг/$нм^3$	0,106	0,264	1,5	2,5	0,06	0,19
Cd	мг/$нм^3$	0,093	0,232	0,090	0,16	0,001	0,006
Технологія, що застосовується		Скрубер		Рукавний фільтр		Електростатичний фільтр	
Частота відбору проб	кількість разів/рік	1		1		12	
Процес виробництва Cd		Плавлення катоду		Плавка соди		Плавка соди та вакуумне дистилювання	

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Законодавство з охорони довкілля.
- Належні санітарно-гігієнічні умови на робочому місці.

Приклади заводів
Заводи B, D та F.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.5.3.2 Технології запобігання та мінімізації залишків та відходів у процесі плавлення

У процесі плавлення не утворюються відходи. Усі проміжні залишки повертаються у процес.

6.3.5.3.3 Технології для запобігання утворенню стічних вод

Опис
Запобігання скиданню стічних вод від лиття кадмію.

Технічний опис
У цьому способі виробництва не утворюються стічні води.

Усі розчини обробляються у замкненому циклі. Стічні води мокрого скрубера використовується в секції вилуговування цинку.

Охолоджувальна вода не застосовується.

Досягнуті екологічні переваги
Стічні води не утворюються.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Стічні води не утворюються.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Мінімізація викидів кадмію у довкілля.

Приклади заводів
Заводи B, D та F.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.3.5.4 Очищення стічних вод заводів з виробництва кадмію (первинні, вторинні, гідрометалургійні та пірометалургійні процеси)

Опис
Очищення стічних вод заводів із виробництва кадмію.

Технічний опис
Коли кадмієвий металургійний завод поєднується з цинковим металургійним заводом, всі потоки стічних вод з кадмієвої секції зрештою очищаються на загальній установці з очищення відпрацьованих вод (див. Розділи 6.3.4 та 2.12.6.2).

Коли кадмієва секція не поєднана з установкою з виробництва цинку, і коли процес розроблений з остаточним випусканням у приймальне водоймище, застосовуються ті ж технології, що і вище, потенційно з додатковими абсорбційними колонами (коли дозволяє загальний потік).

Досягнуті екологічні переваги
Низький рівень викидів кадмію в приймальне водоймище.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Використання реагентів.
- Кінцеві залишки піддаються інертизації та захороненню.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Місцеві умови визначають застосовність.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Відповідність Рамковій водній директиві та національним нормам.

Приклади заводів
Заводи в Бельгії, Нідерландах, Франції, Німеччині, Болгарії, Польщі, Швеції та Норвегії.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

6.4 Перспективні технології

Процес збільшення рівня вилучення металу зі шлаку процесу Вельца (i-Meltor™)
Він складається з обробки шлаку процесу Вельца в адаптованій дуговій електропечі змінного струму для вилучення металів та переробного чавуну. Цей процес аналогічний тому, що застосовується для вилучення цинку з пилу дугової електропечі у сталеливарній промисловості.

Досі він був випробуваний у кількох європейських вельц-печах, але він все ще не є економічно конкурентоспроможним через пов'язані з ним підвищені витрати на енергію.

Використання цього процесу передбачає впровадження додаткових методів усунення забруднення повітря, таких як камера допалювання, сухий скрубер та системи знепилення.

Система SX-EW (вилучення розчинником та електровідновлення) для вилучення цинку з пилу дугової електропечі
Повідомляється про систему SX-EW для вилучення цинку з пилу дугової електропечі.

Процеси вилуговування на основі хлоридів для вилучення цинку та свинцю
Повідомляється, що процеси вилуговування на основі хлоридів для вилучення цинку та свинцю знаходяться на демонстраційному етапі [202, Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente 1999].

Плазмовий пальник для вторинних цинкових матеріалів
Повідомляється про використання плазмового пальника для вторинних цинкових матеріалів.

Термічна обробка ярозиту та ґетиту
Термічна обробка ярозиту та ґетиту була продемонстрована у процесі Outotec, [98, Lijftogt, J.A. et al 1998]. Цинк та інші леткі метали випарюються та вилучаються, а отриманий шлак може бути придатний для будівельних цілей. Проте, ці процеси не виявилися економічно життєздатними як загальний метод обробки залишків.

Вдування тонкодисперсного матеріалу через фурми доменної печі успішно використовується та зменшує час та витрати на обробку пилоподібного матеріалу та споживання енергії, що витрачається на повернення дрібнодисперсної фракції на агломераційний завод.

Процес EZINEX® заснований на вилуговуванні аміаком/хлоридом амонію з подальшою цементацією та електролізом. Він був розроблений для прямої обробки пилу дугової електропечі, і одна установка знаходиться в експлуатації. Його можна використовувати для вторинної сировини з вищім вмістом цинку [117, Krüger, J. 1999].

Розробляються процеси оптимізації перероблення акумуляторів шляхом обробки лише певних частин акумуляторів у замкнутому циклі перероблення. Всі відомі процеси досі перебувають на етапі розробки.

Досліджується обробка шлаків, що утворюються у пірометалургійному виробництві цинку та свинцю в дуговій печі з зануреною дугою для вилучення цинку та свинцю та отримання придатного для використання та екологічно чистого шлаку.

Рециркуляція пилу дугової електропечі всередині тканинного фільтра призводить до скупчення пилу. Це призводить до збільшення вмісту цинку в пилу, що уловлюється рукавними фільтрами.

7 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА ДОРОГОЦІННИХ МЕТАЛІВ

7.1 Прикладні процеси та технології

Дорогоцінні метали можна умовно поділити на три групи; срібло, золото та метали платинової групи (до останніх, металів платинової групи, належать платина, паладій, родій, рутеній, іридій та осмій). Найважливішими джерелами є руди дорогоцінних металів, побічні продукти, отримані від обробки інших кольорових металів (зокрема, анодні шлами від виробництва міді, залишки вилуговування та чорновий метал від виробництва цинку та свинцю) та переробний матеріал. Багато видів сировини підпадають під дію Директиви про шкідливі відходи, і це впливає на системи транспортування, обробки та оповіщення.

Виробничі процеси є загальними для первинної та вторинної сировини, тому вони описані разом. Для цього афінажного заводу масштаб роботи відбиває відносну кількість кожного присутнього металу. Зазвичай срібла та золота набагато більше, ніж металів платинової групи.

Розроблено різноманітні процеси, які використовують хімічні властивості цих металів. Хоча вони відносно інертні, їх реакційна здатність змінюється, а різні ступені окиснення металу в їх сполуках дозволяють використовувати різноманітні методи розділення [5, B R Lerwill et al. 1993], [18, HMIP (UK) 1994]. Наприклад, тетраоксид рутенію та осмію є леткими і їх можна легко відокремити шляхом дистилювання. У багатьох процесах використовуються дуже реакційноспроможні реагенти або утворюються токсичні продукти, і ці фактори враховуються у використанні систем уловлювання, систем підвищення безпеки у разі відмови та герметичних дренажних зон для мінімізації втрат. Крім того, це обумовлено високою цінністю металів.

Багато процесів є комерційною таємницею, і доступні лише загальні описи. Виробничі процеси зазвичай здійснюють у різних комбінаціях для вилучення дорогоцінних металів, які присутні в конкретній сировині. Іншою особливістю галузі є те, що, як правило, дорогоцінні метали вилучаються на основі оплати натурою, яка може бути незалежною від вартості металу. Тому велика частина обробки призначена для точного відбору проб і аналізу матеріалу, а також для його вилучення. Відбір проб здійснюється після фізичної обробки матеріалу або з бічних потоків під час нормального процесу обробки. Існує понад 200 видів сировини, доступних для промисловості, і вони зазвичай поділяються на п’ять категорій гомогенізації, як показано в Таблиці 7.1.

Таблиця 7.1: Категорії гомогенізації сировини

Категорія гомогенізації	Тип сировини	Коментар
Оригінальні	Каталізатори, підготовлене сміття від підмітання, розчини	Прямо у процес
Сміття від підмітання	Мінерал + метал, неплавкі вуглецеві каталізатори	Спалювання, випалювання та попереднє збагачення
Брухт	Плавкий матеріал	
Матеріал для подрібнення	Фотографічний матеріал, електронний брухт	
Матеріал для розчинення	Матеріал, що розчиняється у кислоті, CN, NaOH тощо.	
Джерело: [18, HMIP (UK) 1994].		

Характеристика сировини базується на найбільш придатній точці введення в технологічну схему обробки (див. Рисунок 7.1) і значною мірою не залежить від дорогоцінних металів, які містить матеріал. Сировина зазвичай відбирається відповідно до цієї характеристики, і повідомляється, що більшість компаній використовують цю схему. Проби підлягають обробці для розчинення вмісту дорогоцінних металів або отримання форми, придатної для аналізу. Іноді цей процес також може передбачати весь або частину фактичного процесу вилучення, тому під час процесу відбору проб використовуються системи боротьби з викидами.

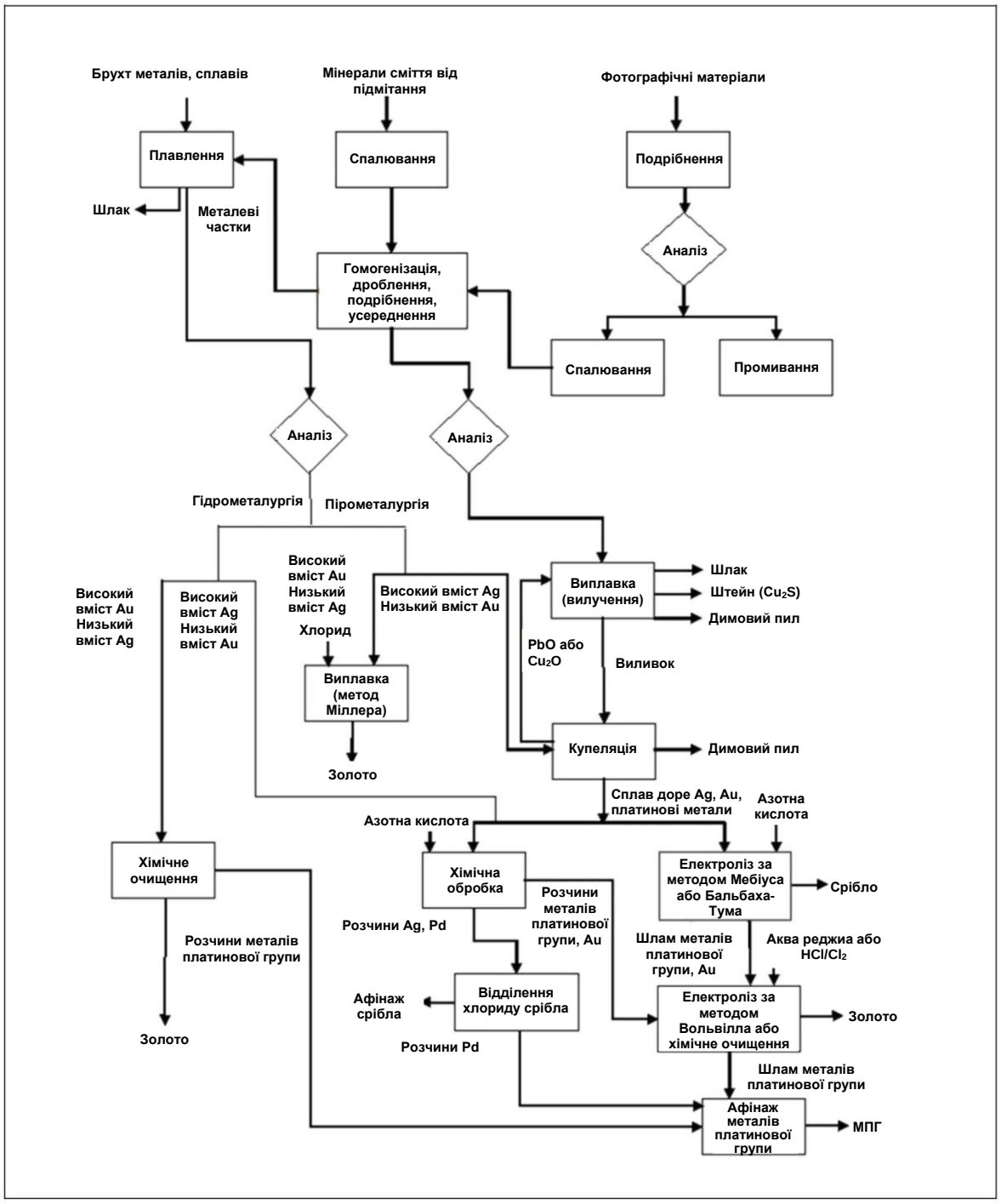


Рисунок 7.1: Приклад загальної схеми вилучення дорогоцінних металів

Також існує необхідність швидкої обробки цих матеріалів, що відбивається у навмисній надлишковій потужності виробництва в цьому секторі. Широкий відбір проб та аналіз також дозволяють зробити оптимальний вибір комбінацій процесів.

Анодні шлами від електролітичного рафінування міді є важливим джерелом дорогоцінних металів, і їх обробляють для видалення та відновлення дорогоцінних металів разом з іншими металами, такими як селен і телур. Деталі процесу залежать від частки присутніх металів. Використовуються пірометалургійні або гідрометалургійні способи, а також у деяких випадках передбачені етапи вилучення розчинником. На Рисунку 7.2 наведено загальний приклад схеми обробки анодного шламу.

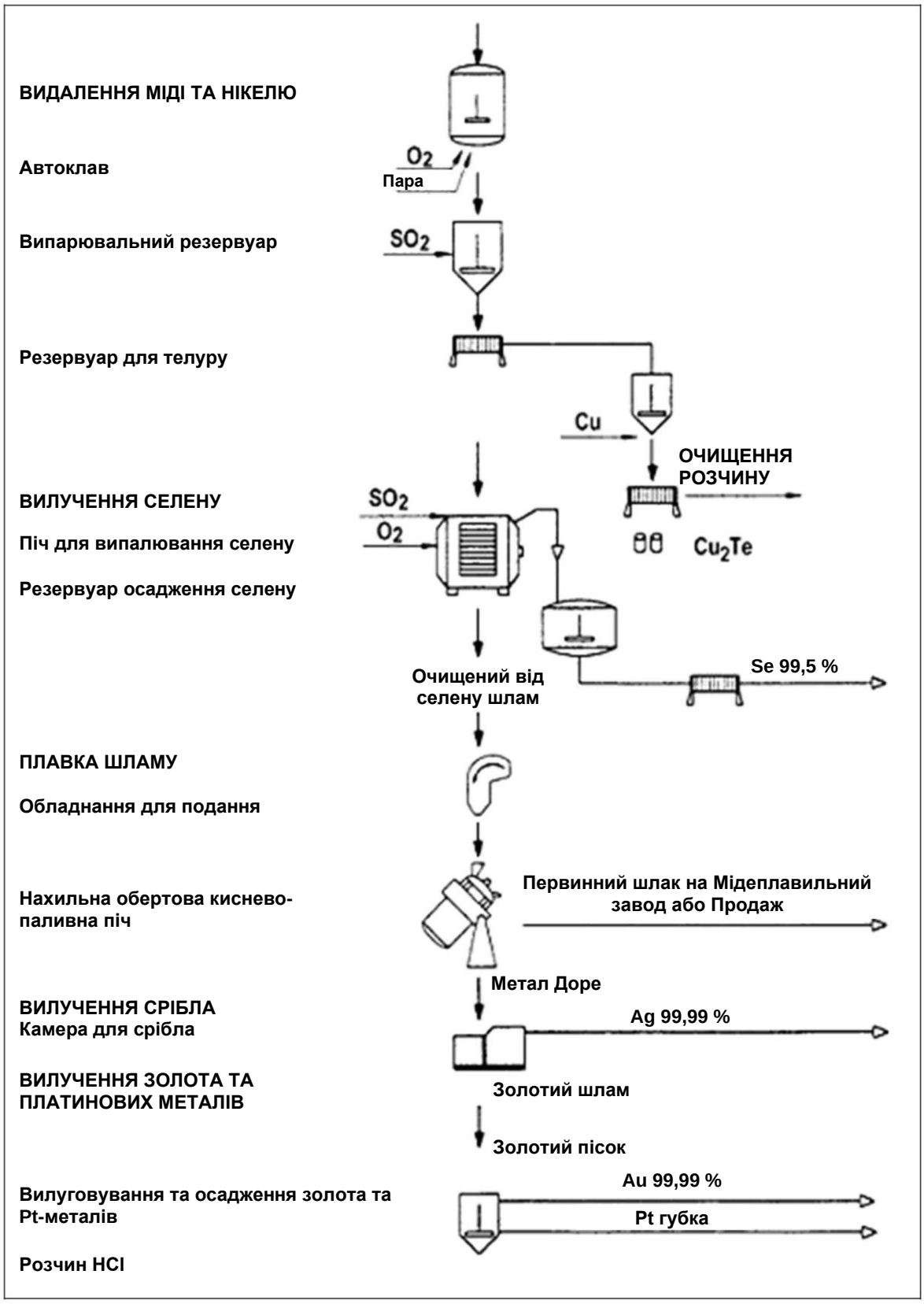


Рисунок 7.2: **Приклад схеми обробки анодного шламу**

7.1.1 Срібло

У 2012 році світове постачання брухту збільшилося на 12 % до нового історичного максимуму в 7985 тонн. Структурний спад пропозиції фотографічного брухту, який до кінця 2000-х років становив переважну частку в загальному обсязі брухту, був компенсований істотним зростанням промислового перероблення та пов'язаним з ціною спрямуванням на брухт ювелірних виробів та виробів зі срібла. На потоки електронного брухту вплинуло не лише посилення законодавства з охорони довкілля, а й різке зростання цін на срібло. Проте, переважно саме вилучення срібла зі старих срібних виробів та ювелірних виробів спричинило збільшення світового постачання брухту на 12 %. Збільшився також потік монетного брухту. Фундаментальним для загального обсягу був стрибок збору на промислово розвинених ринках (переважно в Сполучених Штатах та Європі), який значно перевищив зростання перероблення на чутливих до ціни ринках країн, що розвиваються (таких як Індія) [426, GFMS 2012].

Видобуток залишається найбільшим компонентом загального обсягу срібла, зазвичай на його частку припадає близько двох третин від загального обсягу (у 2011 році він був вищим на 73 %). Більша частина видобутого обсягу міститиме срібло як домішку в інших металах (зазвичай свинці), з яких воно видаляється. Проте, видобуток не є єдиним джерелом, іншими джерелами є брухт, вилучення інвестицій, державні доходи та хеджування виробників. Брухт, або, точніше, «старий брухт» — це срібло, яке повертається на ринок після вилучення з промислових товарів. Це можуть бути старі ювелірні вироби, фотографічні хімікати та навіть викинуті комп'ютери. Старий брухт зазвичай становить близько п'ятої частини загального обсягу [426, GFMS 2012]

7.1.1.1 Фотографічні матеріали

Фотоплівка, папір і осад спалюються періодично в одноподових печах або безперервно в обертових печах для отримання золи з високим вмістом срібла. Невеликі переробники використовують камерні печі. Теплотворна здатність сировини така, що паливо потрібно лише під час запуску. Допалювач, розташований в окремій камері, використовується для спалювання частково спалених продуктів у відпрацьованих газах, а також системи фільтрів і лужних скруберів. Зола вилучається та обробляється іншим матеріалом, що містить срібло, гази фільтруються, а уловлений пил обробляється для вилучення срібла.

Також використовується процес очищення хімічним способом, у якому солі срібла вилуговуються з шару емульсії. У цьому процесі фотоплівка обробляється розчином тіосульфату, який може містити ферменти. Срібло вилучають з розчину для вилуговування шляхом електровідновлення, а відпрацьований електроліт повертають на етап вилуговування. Пластикова основа фотоплівки теоретично може бути відновлена, але вихідний матеріал зазвичай містить папір, такий як конверти, і це може перешкоджати відновленню і призводити до потоку відходів [5, B R Lerwill et al. 1993]. Срібло також вилучають із відпрацьованих розчинів з фотоіндустрії та інших галузей шляхом хімічного осадження у вигляді сульфіду з утворенням порошку, який висушується, плавиться та очищається.

7.1.1.2 Зола, сміття від підмітання тощо

Зола, сміття від підмітання, друковані плати, агломерована дрібнодисперсна фракція, осад та інші матеріали, що містять мідь та дорогоцінні метали, усереднюються та плавляться в печах Ausmelt/ISASMELT, електричних, доменних, обертових та відбивних печах або обертових конвертерах з верхнім вдуванням. Свинець або мідь використовуються для збирання срібла та інших дорогоцінних металів; електроенергія або паливо, таке як кокс, газ або нафта, використовуються для створення відновлювальної атмосфери. У деяких випадках окремі пластмасові відходи можуть використовуватися як паливо або відновник, і в цих випадках використовується відповідне допалювання для запобігання викидам органічних сполук, таких як ЛОС та ПХДД/Ф. Флюси додаються для збирання неметалевих компонентів сировинних матеріалів, що видаляються у вигляді шлаку. Періодично піч запускають зі завантаженням шлаку для вилучення будь-яких дорогоцінних металів зі шлаку перед його гранулюванням або відливанням перед утилізацією, обробкою для збіднення або використанням.

Срібло та інші дорогоцінні метали, виготовлені в плавильній печі, збираються в розплавлений свинець або мідь. Свинцевий сплав переноситься в купеляційну піч, де свинець окиснюється до глету (оксид свинцю) з використанням повітря або кисню. Мідний сплав обробляється способом, подібним тому, що використовується для виробництва оксиду міді. Деякі афінажні заводи не окиснюють, а обробляють безпосередньо свинцевий сплав для вилучення дорогоцінних металів.

Ці матеріали, що містять дорогоцінні метали, також можна обробляти на заводах з виплавки неблагородних металів. Потім метали вилучаються з процесів виробництва свинцю, міді або нікелю.

7.1.1.3 Вилучення з виробництва неблагородних металів

В результаті електролітичного рафінування мідних анодів утворюються шлами, склад яких залежить від сировинних матеріалів та процесів, що використовуються на мідеплавильному заводі. Анодні шлами зазвичай містять значні кількості срібла, золота і металів платинової групи, і вони продаються за ціною дорогоцінних металів [46, Guindy, M 1996], [47, Järvinen, O 1995], [48, Järvinen, O 1994], [49, Hyvärinen, O. et al. 1989] або витягуються на місці плавильної печі [90, Traulsen, H. 1998]

Процеси обробки відрізняються в залежності від складу шламів. Приклад показано вище на Рисунку 7.2, який передбачає вилучення селену. Етапи можуть передбачати видалення міді та нікелю (і основної частини телуру) шляхом кислотного вилуговування (під атмосферним тиском або під тиском з використанням O_2) або шляхом випалювання для видалення також селену, якщо тільки він вже не був видалений шляхом випаровування під час плавки. У деяких випадках утворюються залишки свинцю, які відновлюються у спеціальних процесах виробництва свинцю.

Доре (срібло або золото) — метал, концентрований до форми, що містить 25–99,55 % срібла та 0–99 % золота з певними домішками. Метал доре отримують шляхом плавлення і рафінування анодних шламів від електролітичного рафінування міді, а також сплавів з високим вмістом дорогоцінних металів від рафінування свинцю, залишків вилуговування та чорнового металу від виробництва цинку та свинцю, відходів та сміття від виробництва срібла (наприклад, пилу з рукавних фільтрів, шламу систем мокрого знепилення, цементного срібла, отриманого з відпрацьованого срібного електроліту, шлаку, подрібненого вогнетриву) та інших матеріалів з високим вмістом срібла та/або срібного брухту. Перероблення здійснюється з використанням флюсів коксу, діоксину кремнію, вапна та карбонату натрію для максимального відділення від інших металів з одночасним контролем утворення летких металовмісних сполук. Залежно від складу сировини та місцевих умов можуть використовуватись різні комбінації періодичних процесів. Загалом, передбачені такі етапи процесу:

- сушіння очищеного від міді шламу в парових сушарках непрямого нагріву;
- плавлення і конвертування в печі (наприклад, Kaldo, обертовій з верхнім дуттям або нахильній обертовій киснево-паливній печі для видалення домішок і збереження чорнового сплаву дорогоцінних металів;
- випаровування і вилучення селену з пічних відхідних газів під час плавлення або перед ним шляхом окремого випалювання в печі з електричним нагрівом;
- остаточне рафінування сплаву дорогоцінних металів/сирого срібла або золота в тій же печі або купеляція сплавів з високим вмістом дорогоцінних металів з ліній виробництва свинцю та міді в окремих печах (наприклад, обертовий конвертер з верхнім дуттям, нахильна обертова киснево-паливна піч, кисневий купель з донним дуттям);
- лиття анодів, виливків або прутків зі сплаву Доре.

Гідрометалургійний етап та етап вилучення розчинником також використовуються для вилучення дорогоцінних металів з анодних шламів, наприклад процеси Kennecott та Phelps Dodge. У гідрометалургійному виробництві цинку дорогоцінні метали, якщо вони присутні в концентраті, містяться у великій кількості у залишку вилуговування свинцю та срібла, який може бути оброблений на заводі з виплавки свинцю. Під час виплавки та рафінування свинцю дорогоцінні метали концентруються у сплаві Pb-Zn-Ag (див. Рисунок 7.3).

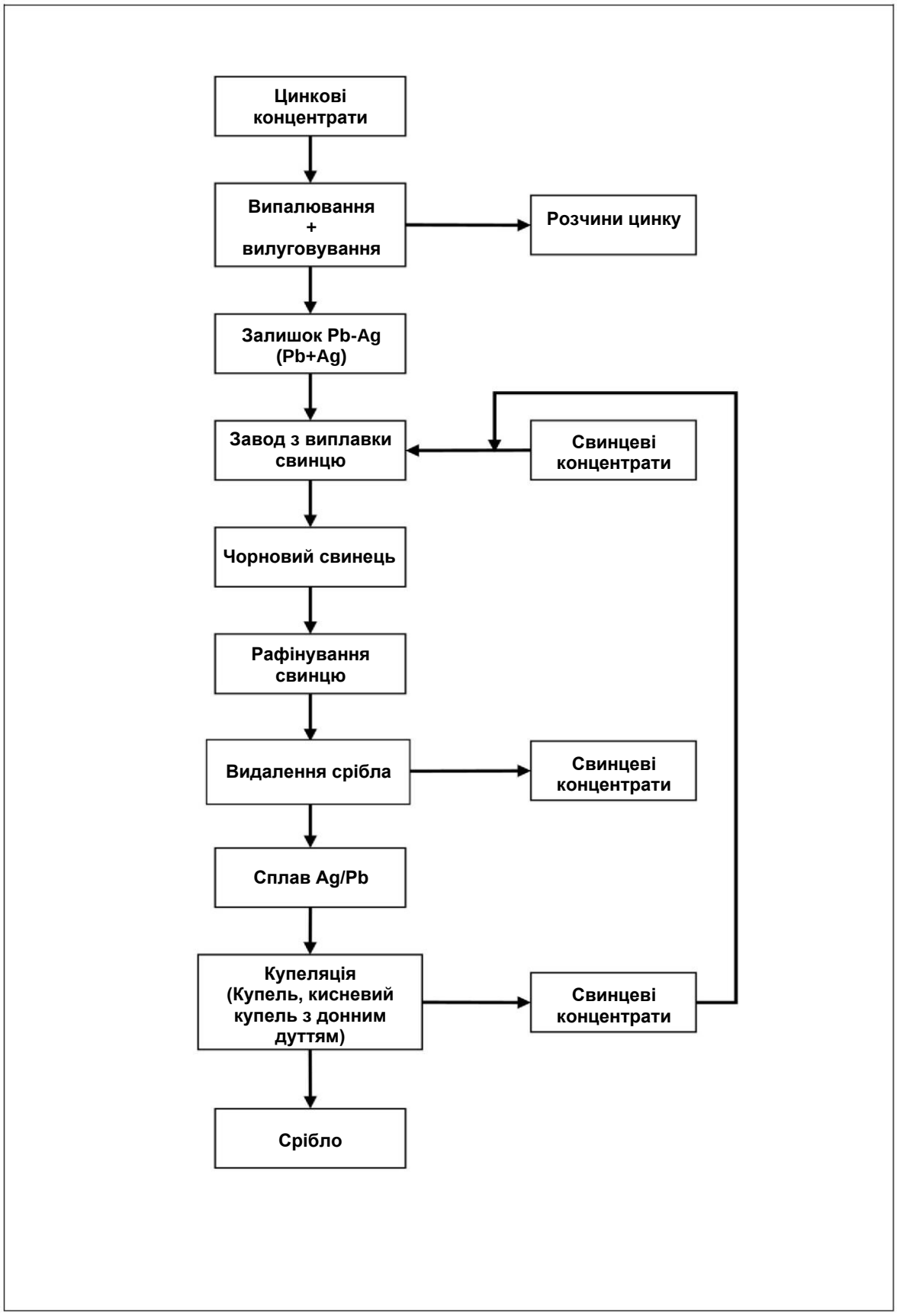


Рисунок 7.3: Вилучення срібла під час виробництва цинку та свинцю

Подальша обробка може передбачати видалення основної частини свинцю та цинку шляхом ліквації та вакуумного дистилювання і, нарешті, купеляції у відбивній печі, обертовому конвертері з верхнім дуттям, нахильній обертовій киснево-паливній печі, купелі або кисневому купелі з донним дуттям. Свинець окиснюється до глету з

використанням повітря та кисню. Деякі установки, на яких працюють заводи з рафінування міді та свинцю, поєднують фази з високим вмістом дорогоцінних металів з ліній виробництва свинцю та міді на етапі купеляції.

У рафінуванні нікелю дорогоцінні метали вилучаються із побічного продукту міді. У рафінуванні цинку у свинцево-цинкових шахтних печах дорогоцінні метали можуть бути вилучені зі свинцевого продукту. Процеси вилучення дорогоцінних металів відрізняються в залежності від кількості необхідних металів та інших супутніх металів, таких як селен.

7.1.1.4 Рафінування

Аноди очищаються в електролітичних камерах Мебіуса або Бальбаха-Тума з використанням катодів із титану або неіржавкої сталі в підкисленому електроліті нітрату срібла. Постійний струм, що подається між електродами, змушує іони срібла, розчинені з анода, мігрувати та осаджуватися у вигляді кристалів срібла на катодах. Кристали безперервно зіскрібають з катодів, вилучають із камер, фільтрують і промивають. Шлами з електролітичних камер обробляються на предмет вмісту в них золота та металів платинової групи.

Кристали срібла можуть плавитися в тигельній печі та періодично відливатися в товарні виливки або зерна для прокатки. Їх можна безперервно відливати в товарні прутки для прокатки в листи та стрічки. Срібло також відливають у бруски для видавлювання у стрижні для подальшого волочіння у дріт.

Срібло, отримане шляхом виплавки, і залишки з високим вмістом срібла від виробничих процесів можуть бути додатково очищені шляхом розчинення в азотній кислоті. Отриманий розчин очищають або за шляхом рекристалізації у вигляді нітрату срібла, що підходить для використання у фотоіндустрії, або шляхом електролізу до чистого срібла для плавлення та лиття у виливки.

7.1.2 Золото

Основними джерелами золота є гірничодобувні операції, промислові процеси, ювелірні вироби, сміття від підмітання та стоматологічний брухт. Золото вилучається разом зі сріблом з анодних шламів від електролітичного рафінування міді та інших матеріалів з використанням описаних вище процесів. Золото присутнє в анодних шламах з етапу електролізу срібла і вилучається шляхом вилуговування шламів гарячою соляною кислотою і газоподібним хлором перед тим, як воно осаджується з отриманого розчину [282, KGHM 2008]. Брухт металів може містити значну кількість цинку, міді та олова.

7.1.2.1 Процес Міллера

Процес Міллера можна використовувати для попередньої обробки матеріалу. У цьому процесі сировинні матеріали плавляться в тигельній печі з непрямим нагріванням або електричній індукційній печі, тоді як газоподібний хлор вводиться в розплав. За робочої температури близько 1000 ºC золото є єдиним присутнім металом, який не вступає в реакцію з утворенням стабільного розплавленого або леткого хлориду. Розплавлений хлорид срібла підіймається на поверхню розплаву. Флюс бури використовується для полегшення уловлювання та видалення хлоридів металів. Цинк у сировині перетворюється на хлорид цинку, який разом із леткими хлоридами металів видаляється в систему очищення газу [5, B R Lerwill et al. 1993] [102, Hasenpusch, W. 1998] [5, B R Lerwill et al. 1993], [102, Hasenpusch, W. 1998].

Процес Міллера використовується для виробництва або 98 % золота, яке відливається в аноди для електролітичного рафінування, або 99,5 % золота, яке відливається у виливки.

7.1.2.2 Електролітичне рафінування

Золоті аноди очищаються в осередках Вольвілла, які містять золоту фольгу або титанові катоди. Використовуваний електроліт є кислим розчином хлориду золота, що підтримується у температурі близько 70 °C. Постійний електричний струм, що подається між електродами, змушує іони золота, розчинені з анодів, мігрувати та осідати на катодах, утворюючи продукт, що містить 99,99 % золота. Хлор виділяється на аноді та збирається у вбудованому корпусі.

7.1.2.3 Інші процеси вилучення золота

Золото також можна вилучати та очищати шляхом розчинення вихідних матеріалів у аква реджиа або в соляній кислоті/хлорі. Далі відбувається осадження високочистого золота, придатного для плавлення та лиття. Коли вихідний матеріал містить значну кількість металевих домішок, перед етапом осадження золота може бути введений етап вилучення розчинником. Процеси вилучення розчинником і осадження також використовуються для вилучення золота з розчинів, що утворюються під час виробництва платини.

Золото також видаляють із твердих та рідких розчинів ціанідів, таких як гальванічні ванни. Розчини ціаніду натрію або калію можна використовувати для видалення золота з матеріалів з покритою поверхнею, таких як електронні контакти або матеріали з гальванічним покриттям. Золото вилучають із розчинів ціанідів шляхом електролізу. Ціаніди вступають в реакцію з кислотами з утворенням ціанідної кислоти (HCN), і тому практикується ретельне розділення цих матеріалів. Для руйнування ціанідів застосовують окиснювачі, такі як перекис водню або гіпохлорит натрію, а також високотемпературний гідроліз.

7.1.3 Метали платинової групи (МПГ)

До МПГ належать платина, паладій, родій, рутеній, іридій та осмій. Основною сировиною є концентрати, що отримуються з руд, штейнів та шламів з операцій у виробництві нікелю та міді. Вторинні матеріали, такі як відпрацьовані хімікати та каталізатори автомобільних вихлопних газів, а також брухт електронних та електричних компонентів також є значними джерелами. МПГ можуть бути присутніми в анодних шламах, описаних вище, і відокремлюються від золота та срібла за допомогою різних гідрометалургійних процесів. Низькосортна сировина може бути подроблена й усереднена, тоді як металева сировина зазвичай плавиться для отримання однорідного продукту для відбору проб.

Основними етапами вилучення МПГ є [102, Hasenpusch, W. 1998], [5, B R Lerwill et al. 1993], [18, HMIP (UK) 1994]:

- попередня обробка сировини, відбір проб та аналіз;
- концентрування та розділення МПГ пірометалургійними та гідрометалургійними методами, такими як хімічне осадження, хімічне розчинення, рідинна екстракція, дистилювання тетраоксидів, іонний обмін та електролітичні процеси;
- піроліз або відновлення сполук хлоридів металів до чистих металевих губок.

Для каталізаторів на основі вуглецю було розроблено спеціальні процеси з використанням спалювання перед етапом розчинення. Порошкові каталізатори та осади обробляють партіями, часто в камерних печах. Пряме нагрівання полум'ям застосовується для сушіння, а потім спалювання каталізатора, якому дають можливість згоріти природним чином. Надходження повітря в піч контролюється, щоб змінювати умов горіння, а також використовується допалювач.

Каталізатори для риформінгу або гідрогенізації можна обробляти шляхом розчинення керамічної основи у гідроксиді натрію або сірчаній кислоті. Перед вилуговуванням надлишок вуглецю та вуглеводнів спалюють. МПГ з каталізаторів автомобільних вихлопних газів можна збирати окремо у мідь або нікель у плазмових, електричних або конвертерних печах [102, Hasenpusch, W. 1998]. Дрібні оператори використовують відкриті лотки для спалювання каталізаторів шляхом самозаймання або випалювання. Ці процеси можуть бути небезпечними, і для обробки диму та газів можна застосовувати уловлювання диму та допалювання.

Гомогенні відпрацьовані каталізатори на органічній основі, наприклад, з хімічної або фармацевтичної промисловості, можна переробляти шляхом дистилювання та осадження. Газоподібні викиди обробляються у допалювачі.

Очищення МПГ складне, і окремі етапи процесу, можливо, доведеться повторювати для досягнення необхідної чистоти. Кількість і порядок етапів також залежать від забруднювальних речовин, що видаляються, і конкретної суміші МПГ, яку необхідно відокремити від будь-якої партії сировини. Перероблення вторинних матеріалів, таких як відпрацьовані хімічні речовини та каталізатори автомобільних вихлопних газів, електричний та електронний брухт на заводах з виплавки неблагородних металів, або спеціальне обладнання, зрештою, призводить до утворення залишків або осадів, з високим вмістом МПГ.

7.2 Поточні рівні викидів та споживання

Заводи з перероблення дорогоцінних металів (ДМ) є складною мережею основних і допоміжних процесів. Використовувана сировина сильно відрізняється за якістю і кількістю, тому використовуване обладнання має різні можливості та сфери застосування. Широко використовуються багатоцільові реактори та печі, і етапи обробки часто повторюються. Тому неможливо визначити окремі етапи процесу та їх внесок у викиди та споживання.

Деякі загальні принципи застосовуються до викидів та споживання у цьому секторі.

- Для виділення дорогоцінних металів необхідно переробити в середньому у десять разів більше матеріалу, ніж кількість самих металів. Концентрації варіюються від < 1 % до майже чистого металу.
- Використовуються високоенергетичні технології, наприклад, електричні печі. Енергія регенерується, якщо це потрібно.
- Залишки, що містять неблагородні метали, продаються для вилучення.
- Багато видів хімічної обробки передбачають використання ціаніду, хлору, соляної та азотної кислот. Ці реагенти повторно використовуються в процесах, але зрештою вимагають окиснення або нейтралізації каустичною содою та вапном. Здійснюється ретельний моніторинг осадів від очищення стічних вод на наявність металів, які, за можливості, вилучаються.
- Для рідинної екстракції використовують різні органічні розчинники.
- Використовуються різні окиснювачі та відновники.
- Кислі гази, такі як хлор або оксиди азоту, відновлюються для повторного використання.
- Обсяги газу дуже відрізняються в залежності від циклу. Невеликий масштаб процесів зазвичай забезпечує належне уловлювання. Використовується місцева витяжна вентиляція.

7.2.1 Цикли матеріалів у галузі перероблення дорогоцінних металів

Однією з характеристик галузі ДМ є необхідність підтримувати невеликі обсяги розчинів, щоб зменшити втрати дорогоцінних металів або їх сполук. Отже, існує кілька замкнених циклів регенерації матеріалів, які показані нижче.

7.2.1.1 Неметалеві цикли

Соляна кислота та азотна кислота переважно використовуються для розчинення металів. Сірчана кислота меншою мірою використовується у складі скруберних розчинів для абсорбції аміаку і як електроліт у ваннах срібного порошку. Інші матеріали використовуються як реагенти або присутні у сировинних матеріалах. [102, Hasenpusch, W. 1998].

- **Цикл соляної кислоти:** у процесах, де застосовується розчинення, соляна кислота (HCl) використовується в поєднанні з надлишковим хлором. Шляхом випарювання та уловлювання у воді утворюється азеотропна кислота (з концентрацією близько 20 % мас.). Її повторно використовують у різних частинах технологічного процесу перероблення.
- **Цикл азотної кислоти:** срібло та паладій часто розчиняються в азотній кислоті (HNO_3). Значну кількість відхідних газів оксидів азоту (NO і NO_2) можна вловлювати за допомогою кисню або перекису водню в спеціальних каскадних скруберах. Тривалий час, необхідний для окиснення невеликих кількостей NO, і зменшення поглинання газу за допомогою екзотермічних реакцій може призводити до проблем. Тому необхідне охолодження й комбіновані скрубери для досягнення граничних значень і уникнення утворення коричневого диму з димової труби. Отримана азотна кислота з першого скрубера зазвичай має концентрацію близько 45 % мас. і може бути повторно використана в декількох технологічних процесах.
- **Цикл хлору:** хлор використовується в процесах мокрого очищення для розчинення металів та на етапах сухого хлорування за підвищених температур для їхнього очищення. В обох випадках застосовуються закриті системи, наприклад, з використанням U-подібних трубок із водою для отримання розчинів гіпохлориту. Гіпохлорит також використовується як окиснювач у розчинах скруберів, що використовуються в різних процесах очищення.

- **Цикл хлориду амонію, натрію або калію:** аміак та хлорид амонію, натрію або калію використовуються у вилученні МПГ. Порівняно низька розчинність хлориду амонію (NH_4Cl) у випарених розчинах за кімнатної температури дає змогу повторно використовувати кристалічний осад цієї солі.
- **Цикл глинозему:** гетерогенні каталізатори на основі глинозему (Al_2O_3) у великих кількостях обробляються на заводі з перероблення дорогоцінних металів, наприклад, каталізатори риформінгу у нафтопереробній промисловості. Каталізатори розчиняють у каустичній соді за температури вище 200 °C під тиском, і отриманий розчин алюмінату після відділення дорогоцінних металів продають як осаджувальний засіб в очищенні води. У якості альтернативи його можна повернути в глиноземну промисловість за допомогою процесу Байєра (розчинення бокситу). Подібні зовнішні цикли можливі з розчинами сульфату алюмінію, що утворюються в результаті розчинення каталізаторів у сірчаній кислоті.

7.2.1.2 Цикли без дорогоцінних металів

Афінажні заводи для перероблення дорогоцінних металів обробляють багато матеріалів, що містять мідь, свинець, олово, вольфрам, реній, кадмій, ртуть та інші спеціальні метали. Для розділення всіх цих металів встановлюються спеціальні процеси, що утворюють концентрати для зовнішніх металургійних заводів для недорогоцінних металів [102, Hasenpusch, W. 1998].

- **Мідь:** використання міді як матеріалу-носія для дорогоцінних металів стає все важливішим, і, як наслідок, оксиди міді часто залишаються після процесів плавки. На гідрометалургійних етапах мідь може бути осаджена за допомогою каустичної соди (NaOH) та/або вапна (CaO). Залишки міді можуть бути вилучені на заводі з рафінування міді або перетворені на сульфат та піддані електровідновленню, якщо це виправдано обсягом.
- Для видалення слідів міді, особливо в присутності хелатів, таких як аміак, необхідно осадження сульфідами або меркаптановими сполуками (наприклад, TMT 15, 15-процентний розчин тримеркаптотріазину).
- **Свинець:** відомо, що свинцеві цикли використовувалися для афінажу срібла з часів Середньовіччя. Цей процес досі використовується у вилученні зі сміття від підмітання. Рідкий свинець є хорошим розчинником для дорогоцінних металів, особливо у разі надлишку срібла. Свинець з високим вмістом дорогоцінних металів окиснюється у печах або конвертерах киснем, що призводить до майже кількісного розділення свинцю та інших недорогоцінних металів. Оксиди, що утворилися, відновлюють вуглецем, наприклад, у доменній печі, а свинець виробляється та повторно використовується в процесі. Надлишки свинцю продаються заводам з рафінування свинцю. Деякі афінажні заводи не окиснюють свинцевий сплав, а обробляють його безпосередньо і переробляють свинець з розчинів для вилуговування.
- **Олово:** олово відокремлюють у вигляді металу у розчині або у вигляді осаду гідроксиду.
- **Вольфрам та інші метали:** для деяких металів, отриманих у гальванічних процесах, неблагородні метали, такі як сплави нікелю, вольфрам та молібден, можуть бути перероблені шляхом очищення ціанідом.
- **Реній:** для ренію використовуються йонообмінники. Після очищення та осадження утворюється сіль амонію (NH_4ReO_4).
- **Кадмій:** концентрація кадмію у спеціальних сплавах, наприклад, припоях та твердих припоях, останніми роками знизилася. Кадмій концентрується у димових газах спеціальних операцій та відправляється на зовнішні металургійні заводи.
- **Ртуть:** ртуть може в невеликих концентраціях входити до складу деяких спеціальних матеріалів, наприклад, амальгама для зубної пломби, порошки або шлами, залишки з акумуляторних заводів та спеціальні плівки Polaroid. Для такого матеріалу високотемпературне дистилювання, можливо, у поєднанні з низьким вакуумом є першим етапом вилучення. Середні концентрації дистильованого брухту та шлаків становлять менше ніж 0,1 % мас. гранично допустимих концентрацій ртуті.

Ці цикли та відділення сполук недорогоцінних металів сприяють запобіганню забрудненню та оптимізації рентабельності.

7.2.2 Екологічні проблеми процесів виробництва дорогоцінних металів

Процеси виробництва дорогоцінних металів насамперед є джерелом викидів твердих часток та газоподібних викидів у повітря та викидів у воду. Загалом, інформація, наведена в Розділах з 7.2.2.1 до 7.2.2.3 нижче, описує найбільш актуальні екологічні проблеми виробництва дорогоцінних металів.

7.2.2.1 Викиди в повітря

Джерелами викидів є:

- Спалювання.
- Інші види попередньої обробки.
- Печі виплавки та плавлення. Типовими операціями виплавки та плавлення, відповідальними за утворення пилу та диму, є:
  - виплавка в обертовому конвертері з верхнім дуттям, плазмово-дугової печі або іншій печі;
  - виплавка/гранулювання виливків та металевого брухту, що містять дорогоцінні метали, та виливків інших цінних металів у тигельній печі, у тому числі з індукційним плавленням;
  - виплавка хлориду срібла та інших металів, що потенційно містять срібний пил, у печі; плавлення та лиття металевого срібла з печі.
- Вилуговування та очищення.
- Вилучення розчинником.
- Електроліз.
- Завершальний етап відновлення або перетворення.

Основні викиди у повітря від виробництва дорогоцінних металів:

- діоксид сірки (SO_2) та інші кислі гази (HCl);
- оксиди азоту (NO_X) та інші сполуки азоту;
- метали та їхні сполуки;
- пилу;
- хлор;
- аміак та хлорид амонію; ЛОС та ПХДД/Ф.

Запах може бути присутнім через деякі з перелічених вище сполук. Значущість потенційних викидів у повітря з основних джерел у виробництві дорогоцінних металів надана у Таблиці 7.2.

Таблиця 7.2: Значущість потенційних викидів у повітря з основних джерел виробництва дорогоцінних металів

Компонент	Спалювання або виплавка	Вилуговування та очищення	Електроліз	Вилучення розчинником	Дистилювання
SO_2 та HCl	••	•	•	НЗ	НЗ
ЛОС	•	•••	НЗ	•••	•••
ПХДД/Ф	••	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Хлор	•	•••	••	НЗ	НЗ
Оксиди азоту	••	••	НЗ	НЗ	НЗ
Пил і метали	•••([1])	•	•	•	•

([1]) Дифузні та невловлені викиди також є актуальними для цих джерел.
Примітка: ••• Більш значущі — • Менш значущі
НЗ = не застосовується.
Джерело: [374, COM 2001]

7.2.2.1.1 Пил і метали

Пил і метали, як правило, можуть виділятися в результаті будь-якого пірометалургійного процесу, наприклад, в установці для спалювання, печі для виплавки, печі для плавлення та купеляційній печі, у вигляді дифузних або уловлених та підданих очищенню викидів. Герметизація печі та вторинне уловлювання із жолобів є важливим фактором запобігання дифузним викидам. У деяких електричних печах використовуються порожнисті електроди для додавання матеріалу, що дозволяє покращити герметизацію печі. Золу від установок для спалювання зазвичай різко охолоджують, і підтримання гідроізоляції є важливим чинником зниження дифузних викидів. В установках для спалювання періодичної дії, що використовують відкриті лотки або камери, виникають проблеми з уловлюванням пилу та золи. Уловлені викиди зазвичай очищаються в керамічних або тканинних фільтрах, електростатичних фільтрах або мокрих скруберах [161, Bobeth, A. 1999]

Пил може утворюватися під час виконання таких операцій, як:

- змішування розплавів та флюсів тощо у мішалках для сипких матеріалів перед виплавкою;
- очищення дорогоцінних та інших металовмісних виливків для видалення слідів шлаку перед відбором проб або плавленням;
- дроблення шлаку, відпрацьованих тиглів та вогнетривких матеріалів у дробарці;
- змішування/відбір проб/дроблення/просіювання сировинних матеріалів, що містять дорогоцінні метали та інші цінні метали у вигляді порошку;
- грубе подрібнення (дроблення) та утилізація проміжних продуктів сушіння та обпалювання.

7.2.2.1.2 Діоксид сірки

Діоксид сірки утворюється в результаті спалювання сірки, що міститься в сировині або паливі, або утворюється на етапах кислотного розкладання. Для мінімізації викидів можна здійснювати контроль сировини; мокрі або напівсухі скрубери використовуються, якщо це виправдано концентраціями. Під час електровідновлення можуть утворюватися електродні тумани та гази. Гази можна уловлювати та використовувати повторно, а тумани можна видаляти за допомогою краплевловлювачів та повертати у процес. Деякі установки працюють на території заводу з виплавки первинного металу, а відхідні гази обробляються на установці з виробництва сірчаної кислоти [238, ECI 2012], [282, KGHM 2008]

7.2.2.1.3 Хлор та HCl

Ці гази можуть утворюватися в ході низки процесів розкладання, електролітичних процесів та процесів очищення. Хлор широко використовується в процесі Міллера та на етапах розчинення з використанням сумішей соляної кислоти та хлору. Хлор вилучається для повторного використання всюди, де це можливо, наприклад, використання

герметизованих електролітичних камер для золота та металів платинової групи. Скрубери використовуються для видалення залишкових кількостей хлору та HCl.

Наявність хлору в стічних водах може призвести до утворення органічних сполук хлору, якщо у змішаних стічних водах також присутні розчинники тощо.

7.2.2.1.4 Оксиди азоту

Оксиди азоту певною мірою утворюються у процесі спалювання та у значних кількостях у процесі кислотному розкладанні з використанням азотної кислоти. Високі концентрації оксидів азоту обробляються в скруберах, щоб можна було вилучити азотну кислоту; різні окиснювачі використовуються для сприяння перетворенню та відновленню азотної кислоти.

Залишкові оксиди азоту з відхідних газів печі можуть бути видалені з використанням каталізаторів шляхом селективного або неселективного каталітичного відновлення, якщо постійно спостерігаються дуже високі концентрації NO_X [161, Bobeth, A. 1999].

Вибір системи боротьби з викидами суттєво залежить від зміни концентрації NO_X.

7.2.2.1.5 ЛОС та ПХДД/Ф

ЛОС можуть виділятися внаслідок процесів вилучення розчинником. Невеликі масштаби процесів зазвичай дозволяють герметизувати або покривати реактори, а також здійснювати належне уловлювання та відновлення з використанням конденсаторів. Зібрані розчинники використовуються повторно [102, Hasenpusch, W. 1998].

Якщо гарячі гази, що утворюються на етапах виплавки, не охолоджуються швидко, органічні сполуки вуглецю, які можуть виділятися, можуть включати ПХДД/Ф в результаті неповного згорання мастила і пластмаси у сировинному матеріалі та в результаті синтезу de novo. Можна застосовувати обробку брухту для видалення органічних забруднень, але зазвичай для обробки газів, що утворюються, використовуються допалювачі з подальшим швидким охолодженням. Коли немає можливості обробити газів із печей у допалювачі, їх можна піддати окисненню шляхом додавання кисню над зоною плавлення. Також можна визначити органічне забруднення вторинної сировини, щоб можна було використовувати найбільш ефективну комбінацію печі та системи боротьби з викидами для запобігання викидам диму та газів та супутніх ПХДФ/Ф. Органічні сполуки, в тому числі ПХДД/Ф, можуть розкладатися шляхом каталітичного окиснення, часто у спільних реакторах.

7.2.2.1.6 Висновки щодо викидів у повітря

У Таблиці 7.3 наведено питомі викиди для трьох основних забруднювальних речовин, а у Таблиці 7.4 продемонстровані концентрації викидів для трьох різних процесів виробництва дорогоцінних металів.

Таблиця 7.3: Питомі викиди у повітря від низки процесів виробництва дорогоцінних металів

Параметр	Одиниці вимірювання	Завод 1	Завод 2	Завод 3	Завод 4	Завод 5
Виробництво	т/р	2155	1200	2500	1110	102
Пил	кг/т	58	4,5	2	18	127
NO_X		154	68	7	НЗ	21
SO_2		232	3,1	9	НЗ	НЗ
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело:* [374, COM 2001]						

Таблиця 7.4: Концентрації викидів у повітря від трьох різних процесів виробництва дорогоцінних металів

Параметр	Одиниці вимірювання	Процес спалювання	Пірометалургійний процес	Гідрометалургійні процеси
Виробничий діапазон	т/р	73–365	150–1200	20–600
Пил	мг/нм^3	2–10	4–10	
Оксиди азоту		50–150	~ 200	1–370
Діоксид сірки		1–25	10–100	0,1–35
CO		10–50	80–100	
Хлорид		2–5	< 30	0,4–5
Cl_2			< 5	2–5
Фторид		0,03–1,5	2–4	
ЗЛОС		2–5	2–20	
ПХДД/Ф	нг МТЕ/Нм^3	< 0,1	< 0,1	
HCN	мг/нм^3			0,01–2
NH_3				0,2–4
Джерело: [161, Bobeth, A. 1999]				

Два заводи надали дані щодо уловлених викидів у повітря для різних етапів процесу, які узагальнено в Таблиці 7.5.

Таблиця 7.5: Уловлені викиди у повітря від двох заводів із виробництва дорогоцінних металів для різних етапів процесу

Забруднювальна речовина	Одиниці вимірювання	Завод 1						Завод 2		
		Без установки з виробництва сірчаної кислоти	З установкою з виробництва сірчаної кислоти	Зал печі (піч в експлуатації)	Зал печі (в очікуванні завантаження)	Рафінувальний завод	Дроблення шлаку	Етап процесу виробництва Ag, Au	Скрубер Pt	Скрубер PtRh, Pd
Пил	мг/нм^3	2,9	НЗ	0,5	0,3	1,1	1,1	0,097	НД	НД
NO_X	мг/нм^3	520	230	НД	3	3	НД	17,1	НД	92
SO_2	мг/нм^3	9400	280	НД	6	2	НД	НД	НД	НД
H_2SO_4	мг/нм^3	НД	70	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
CO	мг/нм^3	830	НД	НД	21	1	НД	НД	НД	НД
Cl_2	мг/нм^3	НД	НЗ	НД	НД	НД	НД	Н	НД	0,134
HCl	мг/нм^3	НД	НЗ	НД	НД	НД	НД	НД	3,12	0,926
ПХДД/Ф	нг МТЕ/Нм^3	НД	НЗ	НД	НД	НД	НД	НД	НД	0,02
Cu	мг/нм^3	0,24	НЗ	0,0005	НД	НД	0,022	НД	НД	НД
Pb	мг/нм^3	0,2	НЗ	0,029	НД	НД	0,43	НД	НД	НД
As	мг/нм^3	0,011	НЗ	0,0005	НД	НД	0,003	НД	НД	НД
Cd	мг/нм^3	0,001	НЗ	0,00001	НД	НД	0,0002	НД	НД	НД
Примітка: Середньодобові значення. НД = немає даних. НЗ = не застосовується. *Джерело:* [282, KGHM 2008] [403, EPMF 2008]										

7.2.2.2 Викиди у воду

На об'єктах, де обробляються різні метали, часто використовуються загальні засоби управління викидами у воду. Таким чином, технології, зазначені нижче, можуть стосуватися не тільки дорогоцінних металів.

У пірометалургійних та гідрометалургійних процесах використовується значна кількість охолоджувальної води. Луг із циклів вилуговування зазвичай рециркулює у герметичних системах. Джерела потенційних викидів у воду від виробництва дорогоцінних металів показані у Таблиці 7.6 нижче. З цих джерел у воду можуть потрапляти завислі тверді речовини, металовмісні сполуки та мастила.

Усі відпрацьовані води очищаються від розчинених металів та твердих часток. Технології, що використовуються, передбачають осадження іонів металів у вигляді гідроксидів або сульфідів або двоетапне осадження. Іонний обмін підходить для низьких концентрацій та невеликої кількості іонів металів. У низці установок охолоджувальна вода й очищені стічні води, в тому числі дощова вода, повторно використовуються або переробляються в технологічних процесах.

Для обробки дорогоцінних металів були розроблені спеціальні технології для детоксикації нітритів шляхом процесу відновлення та ціанідів — шляхом гідролізу у стічних водах [161, Bobeth, A. 1999].

Таблиця 7.6: Джерела потенційних викидів у воду від виробництва дорогоцінних металів

Джерело викидів	Завислі тверді речовини	Металовмісні сполуки	Мастило
Відкритий дренаж	•••	••	•••
Вода для прямого охолодження	•••	•••	•
Вода для непрямого охолодження	•	•	НЗ
Вода для швидкого охолодження	•••	••	НЗ
Вилуговування (у незамкнутому циклі)	•••	•••	•
Електровідновлення (у незамкнутому циклі)	НЗ	•••	НЗ
Скруберні системи	•••	•••	НЗ
Примітка: ••• Більш значущі — • Менш значущі НЗ = не застосовується. *Джерело*: [374, COM 2001]			

Викиди у воду від семи заводів наведені у Таблиці 7.7 та Таблиці 7.8.

Таблиця 7.7: Викиди у воду від п'яти великих заводів

Завод	Виробництво (тонн/рік)	Стічні води ($м^3$/год)	Основні компоненти (мг/л)					
			Ag	Pb	Hg	Cu	Ni	ХСК
1	2155	10	0,1	0,5	0,05	0,3	0,5	400
2	1200	2	НЗ	< 1	< 0,05	< 2	< 5	НЗ
3	2500	100	0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,3	< 0,02	250
4	1110	НЗ	НЗ	3,9 кг/рік	0,05 кг/рік	194 кг/рік	24 кг/рік	НЗ
5	102	НЗ	НЗ	1260 кг/рік	НЗ	2750 кг/рік	1640 кг/рік	НЗ
Примітка: НЗ = Не зазначено *Джерело*: [374, COM 2001]								

Таблиця 7.8: Викиди у воду від двох заводів із виробництва дорогоцінних металів

	Одиниці вимірювання	Завод 1	Завод 2
Споживання води	$м^3$/рік	111 829	111 829
Скидання води (в тому числі дощової води, охолоджувальної води, технологічної води)	$м^3$/рік	61 093	61 093
Компонент, що викидається у воду			
As	кг/рік	1,73	9,5
Pb		0,25	3,6
Hg		0,04	0,01
Zn		0,80	10,7
Cd		0,002	0,1
Cu		3,88	7,9
Ni		7,03	6,1
Cr		0,044	0,7
Fe			21,3
Se			31,7
Ag			9,5
Se			31,7
Ціанід		126,22	
ХСК		37 850	11 500
Хлориди (всього у вигляді Cl)		408 066	
Азот (всього у вигляді N)		3240	
Завислі тверді речовини		4,313	
Джерело: [403, EPMF 2008]			

Інші потенційні викиди у воду можуть включати іони амонію, хлориду та ціаніду залежно від окремих етапів процесу. Даних для кількісної оцінки цих компонентів не було надано.

7.2.2.3 Технологічні залишки

Виробництво металів пов'язане з утворенням кількох побічних продуктів, залишків та відходів, які також перелічені у Європейському каталозі відходів. Більшість технологічних залишків переробляються в процесі або відправляються іншим фахівцям для вилучення будь-яких дорогоцінних металів. Залишки, що містять інші метали, наприклад, мідь, продаються іншим виробникам для вилучення. Кінцеві залишки з водних відпрацьованих розчинів зазвичай є осадами гідроксиду у фільтрі. Деякі типові приклади наведено у Таблиці 7.9.

Таблиця 7.9: Приклад кількості відходів осаду з фільтра

Річні відходи для утилізації (тонни)	Характеристика відходів
1000	Гідроксид заліза, 60% води, (Кат. 1 Промислові відходи)
1000	Осад на фільтрі від стичних вод
350	Осад на фільтрі від стичних вод
Джерело: [102, Hasenpusch, W. 1998]	

7.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ

У розділах цього документа під назвою «Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ» викладено технології, які зазвичай мають потенціал для досягнення високого рівня захисту довкілля в галузях, що охоплюються цим документом. Передумови способу опису технологій надано у Розділі 2.12 та Таблиці 2.10.

У цьому розділі наведено ряд технологій запобігання або зменшення викидів та залишків, а також технологій зниження загального споживання енергії. Усі вони представлені на ринку. Приклади наведено для демонстрації технологій, що демонструють хороші екологічні показники. Технології, наведені у якості прикладів, ґрунтуються на інформації, наданій галуззю, країнами-членами ЄС, а також на оцінці Європейським бюро з комплексного запобігання та контролю забруднення. Загальні технології, описані у Главі 2 стосовно загальних технологічних процесів, значною мірою застосовні до процесів у цьому секторі та впливають на те, як контролюються та керуються основні та супутні процеси.

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від приймання, зберігання та поводження з первинною та вторинною сировиною, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006].

7.3.1 Методи запобігання та зменшення викидів пилу від попередньої обробки дорогоцінних металів та операцій з поводження з ним (наприклад, дроблення, просіювання та змішування)

Опис
Технології, які слід розглянути:

- підключення операцій попередньої обробки та поводження з пилоподібними матеріалами до пиловловлювачів або витяжних вентиляторів через витяжні ковпаки та систему повітропроводів (див. Розділ 2.12.4);
- фільтрування уловленого або видаленого пилу у спеціальних автономних або загальних установках, обладнаних рукавним фільтром (див. Розділ 2.12.5.1.4) або патронним фільтром;
- електрично взаємопов'язане обладнання для попередньої обробки та поводження (наприклад, мішалки, дробарки) з пиловловлювачем або витяжним вентилятором.

На деяких об'єктах, залежно від розміру та загальної організації (наприклад, окремі або поєднані з іншими операціями з рафінування металів), вилучення та обробка пилу, що утворюється в результаті операцій попередньої обробки та поводження, виконуються таким чином, що пил (та дим), що утворюється у процесі виплавки та інших операцій, що утворюють пил, централізовано уловлюються, обробляються та контролюються. Це пояснює схожість між технологіями, описаними у Розділах 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3 та 7.3.8.

Технічний опис
Закриті будівлі можуть мати відповідні витяжні пристрої (наприклад, системи знепилення будівель) або витяжки в точках передачі та подання, або еквівалентні заходи (наприклад, зрошення матеріалу). Можуть застосовуватись системи пригнічення пилу, такі як розпилювачі води або системи туманоутворення. Змішування пилоподібних матеріалів можна здійснювати в закритому приміщенні або в закритих бункерах/мішалках.

Операції зі змішування, очищення та дроблення сипкого порошку пов'язані через ковпаки та систему повітропроводів з рукавним фільтром або абсолютним фільтром. Для автономних установок вентилятори видаляють пил та дим з обладнання через пиловловлювач, перш ніж відфільтроване повітря викидається в атмосферу через димову трубу. Як правило, пиловловлювач на малому або середньому об'єкті з рафінування (наприклад, на об'єкті з очищення МПГ, обсяги яких значно менші, ніж, наприклад, срібла), де земля оцінюється високо, міститиме патронні фільтрувальні елементи. У якості альтернативи, на деяких об'єктах з більшою доступністю місця використовуються пиловловлювачі з системами рукавних фільтрів. Коли використовуються патронні або рукавні фільтри, зворотний переривчастий струмінь повітря видаляє пил з блоків, і він

опадає в бункер та систему уловлювання. Все змішувальне обладнання, очисні камери та дробарки, як правило, електрично взаємопов'язані з пиловловлювачем, отже ніяке обладнання не може працювати, якщо пиловловлювач і система фільтрування не працюють. Якщо використовуються рукавні фільтри, уловлений пил подається у якості сировини на найбільш придатну операцію з рафінування металу в залежності від його складу.

Для автономних пиловловлювачів або загальних витяжних установок димові труби зазвичай можуть оснащуватися зондами для вимірювання пилу та впливу часток (або аналогічним обладнанням) та приладами, що підключаються до комп'ютера реєстрації даних та передаються до місцевої робочої зони та/або центральної диспетчерської кімнати. Крім надання даних про викиди в режимі реального часу для димових труб, це обладнання може забезпечити запис результатів складної діагностики стану окремих рядів фільтрувальних елементів в пиловловлювачі або витяжній установці. Зонди налаштовані на подання сигналу тривоги при заданому значенні (зазвичай 5–10 мг/м^3 пилу), щоб попередити експлуатаційний персонал або персонал диспетчерської кімнати про можливий вихід з ладу фільтрувального елемента та зупинити операції, що утворюють пил/дим.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу.
- Зменшення утворення твердих відходів для утилізації. Вилучений димовий пил і фільтри з пиловловлювача переробляються на афінажному заводі або на сторонньому афінажному заводі для вилучення дорогоцінних та інших цінних металів, або шляхом прямої виплавки, або після попередньої обробки шляхом гранулювання або гідрометалургійного підвищення якості (без утворення твердих відходів в результати операцій з поводження та попередньої обробки).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Завод 221 переважно займається переробленням металів платинової групи. Це передбачає підвищення якості низькосортної сировини шляхом плавки та розчинення високоякісної сировини, а також послідовне вилучення металів платинової групи шляхом вилучення розчинником та іонного обміну.

Пиловловлювачі на афінажному заводі містять патронні фільтрувальні елементи, які мають ефективність уловлювання > 99,99 % для частинок розміром 0,5 мікрона. Відпрацьовані патронні фільтри спалюються підрядником за межами об'єкта. Зола, що містить дорогоцінні метали, повертається на афінажний завод для перероблення. Типові викиди від малих та середніх установок, що мають вісімнадцять фільтрів, будуть такими, як показано в Таблиці 7.10.

Таблиця 7.10: Викиди пилу на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 221

	Метод усунення забруднення довкілля	Отримані значення	Пил (мг/м^3)	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Завод 221	Патронний фільтр	Середнє значення	1,12	Безперервний моніторинг	За місяць
		95-й процентиль	3,5		
		Максимум	4,38		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

У печі Kaldo Заводу 117, де виробляється метал Доре, утворюються два типи шлаку. Шлак з першого етапу дробиться та передається на завод з виробництва свинцю всередині об'єкта. Шлак другого етапу, відомий як конвертерний шлак, дробиться і повертається в піч Kaldo. Обидва види шлаку дробляться у два етапи. Попереднє дроблення відбувається в основному залі. Зона дроблення обладнана місцевим витяжним ковпаком, підключеним до центральної системи вентиляції заводу. Повітря після обробки у системі рукавних фільтрів викидається в атмосферу через димову трубу (ці викиди повідомлені в розділі 7.3.3).

Далі попередньо подроблений шлак надходить на станцію дроблення шлаку, розташовану в окремій будівлі. Дільниця дроблення шлаку обладнана власною системою вентиляції та після обробки в рукавному фільтрі повітря викидається в атмосферу через димову трубу (див. Таблицю 7.11).

Таблиця 7.11: Викиди пилу на дільниці дроблення шлаку на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 117

Завод 117 (дільниця дроблення шлаку)	**Метод усунення забруднення довкілля**	**Отримані значення**	**Пил (мг/м^3)**	**Метод отримання даних**	**Тип середнього значення**
	Рукавний фільтр	Мінімум	0,4	Періодичний моніторинг (4 рази на рік)	За період відбору проб
		Середнє значення	1,3		
		Максимум	2,6		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

Після дроблення шлак транспортується в контейнерах за допомогою вилочного навантажувача на завод з виробництва свинцю або в піч Kaldo.

На Заводі 121 всі матеріали для афінажу дорогоцінних металів зберігаються у закритому приміщенні. Пилоподібні матеріали зберігаються в закритих ємностях/біг-бегах і транспортуються через закриті бункери, обладнані витяжною системою, і на закритих конвеєрах. Непильні або об'ємні матеріали переміщуються механічними навантажувачами або кранами у закритих приміщеннях на непроникній підлозі. Вихлопні гази очищаються у рукавних фільтрах (викиди для цього заводу повідомлені в Розділі 7.3.3, оскільки гази від операцій попереднього очищення обробляються разом із газами від виробництва металу Доре).

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії для експлуатації витяжних систем та систем знепилення. Витяжні системи даху є особливо енергомісткою технологією.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Вибір методів попередньої обробки та подальшого усунення забруднення довкілля залежить від типу печі та процесу виплавки, а також від типу та розміру часток сировини, що використовується як вихідна сировина промисловості.

Вентиляція будівлі може бути встановлена в залежності від різних факторів, таких як розмір часток, розмір та використання складу, а також ситуація відносно кожного з викидів.

Централізована система уловлювання пилу з патронним фільтром може бути застосовна для нових установок, що працюють з порошкоподібними або пилоподібними матеріалами, але для її впровадження на наявних установках потрібна капітальна модернізація.

Систему на основі рукавних фільтрів легше обслуговувати, з меншою ймовірністю забруднення через складки в патронах, а фільтрувальне середовище, як правило, служить довше. Патронні фільтрувальні системи, як правило, легше автоматизувати, і вони краще підходять до об'єктів, де земля оцінюється високо, оскільки вони займають набагато менше місця.

Економічні аспекти
Пиловловлювач з патронним фільтром малого та середнього розміру, наприклад, що складаються з 18 патронних фільтрів та потужністю вентилятора 7500 м^3/год, потребує капітальних витрат та витрат на встановлення в районі 0,25 млн євро за поточними цінами [404, EPMF 2012].

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Вимоги екологічних норм.
- Мінімізувати втрату цінних (дорогоцінних) металів, а також зберегти та відновити сировину, що містить дорогоцінні метали та інші цінні метали.

Приклади заводів
Заводи 112, 113, 117, 121, 205, 221, 318, 2113 та інші.

Довідкова література
[404, EPMF 2012].

7.3.2 Технології запобігання та зменшення викидів від операцій виплавки та плавлення дорогоцінних металів (за винятком пов'язаних з виробництвом металу Доре)

Опис
Технології, які слід розглянути:

- закриті системи транспортування для пилоподібних матеріалів (див. Розділ 2.12.4);
- закриті приміщення та/або зони плавильних печей (див. Розділ 2.12.4);
- робота під негативним тиском;
- підключення операцій печі до пиловловлювачів або витяжних вентиляторів через витяжні ковпаки та систему повітропроводів (див. Розділ 2.12.4);
- фільтрування уловленого або видаленого пилу у спеціальних автономних або загальних установках, обладнаних рукавними фільтрами (іноді поєднаними з циклонами) або патронними фільтрами;
- електрично взаємопов'язане обладнання печі з пиловловлювачем або витяжним вентилятором.

На деяких об'єктах, залежно від розміру та загальної організації (наприклад, окремі або поєднані з іншими операціями з рафінування металів), вилучення та обробка пилу, що утворюється в результаті пірометалургійних операцій, таких як виплавка, виконуються таким чином, що пил (та дим), що утворюється у процесі попередньої обробки, поводження та інших операцій, що утворюють пил, таких як плавлення, централізовано уловлюються, обробляються та контролюються. Це пояснює схожість між технологіями, описаними у Розділах 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3 та 7.3.8.

Технічний опис
Закриті системи транспортування для пилоподібних матеріалів
Пилоподібні вихідні матеріали завантажуються в піч через закриті системи (конвеєри, контейнери, герметичне пакування); непильний матеріал можна завантажувати безпосередньо в піч через відкриті човни/ємності у закритих умовах.

Закриті приміщення та/або зони плавильних печей
Закриті будівлі можуть мати відповідні витяжні пристрої (наприклад, системи знепилення будівель) або витяжки в точках передачі та подання, або еквівалентні заходи (наприклад, зрошення матеріалу).

Підключення операцій печі до пиловловлювачів або витяжних вентиляторів через витяжні ковпаки та систему повітропроводів
Печі ізольовані та підключені до витяжного ковпака. Покриття або корпус може застосовуватися до приймального ковша під час випускання/лиття металу/шлаків. Ковші тримають під покриттям, поки матеріал не затвердіє.

Печі можуть бути накриті водоохолоджувальною кришкою, яка одночасно може використовуватися як ковпак для технологічних відхідних газів. Крім того, піч можна помістити всередину оболонки для уловлювання дифузних викидів із печі.

Витяжні ковпаки/покриття з'єднані з витяжною системою, що забезпечує уловлювання пилу та диму. Система витяжної вентиляції може бути підключена до системи зниження викидів газів, що присутня в зонах завантаження/випускання та зонах лиття.

Фільтрування уловленого або видаленого пилу.
Використовуються рукавні фільтри та патронні фільтри. Уловлений пил повертається у процес.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу.
- Вилучений димовий пил і фільтри з пиловловлювача переробляються на афінажному заводі або на сторонньому афінажному заводі для вилучення дорогоцінних та інших цінних металів, або шляхом прямої виплавки, або після попередньої обробки шляхом гранулювання або гідрометалургійного підвищення якості (без утворення твердих відходів в результати операцій з поводження та попередньої обробки).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані Заводу 221 (див. опис Заводу 221 у Розділі 7.3.1) показують, що типові викиди від установки патронних фільтрів середнього та великого розміру, що мають вісімдесят фільтрів та з потужністю вентилятора 30 000 м^3/годину, будуть наступними.

Таблиця 7.12: Викиди пилу на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 221

Метод усунення забруднення довкілля	Отримані значення	Пил мг/нм^3	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Патронний фільтр	Середнє значення	1,12	Безперервний моніторинг	За місяць
	95-й процентиль	3,5		
	Максимум	4,38		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]				

На Заводі 2426 процес виплавки складається з обертової печі, в якій плавляться всі свинцеві відходи, які можуть містити срібло. Викиди з плавильного заводу особливо значні для свинцю, але незначні для срібла, оскільки вони виникають переважно зі сполук свинцю і парів металевого свинцю, а срібло присутнє у вигляді незначної домішки. Проте всі тверді матеріали (залишки сировини та проміжні продукти внутрішнього процесу) розглядаються як потенційно шкідливі, незалежно від того, чи передбачається, що вони містять свинець або срібло, оскільки вони можуть містити інші токсичні речовини.

Нижче наведено операції виплавки та плавлення, відповідальні за утворення пилу та диму на Заводі 2426:
- плавка свинцевих відходів, що містять срібло у вигляді домішки, в обертовій печі;
- лиття шлаку в блоки;
- лиття вилученого свинцю, що містить домішки срібла.

Обертова піч з'єднана спереду і ззаду через ковпаки та систему повітропроводів з витяжною системою з рукавним фільтром. Витяжна система має пропускну здатність 160 000 м^3/год. Крім того, великий передній витяжний ковпак, що працює у зоні вікна та лиття, з'єднаний з двома додатковими установками рукавних фільтрів потужністю 34 000 м^3/год кожна. Пил та дим видаляються з процесів через пиловловлювачі, перш ніж відфільтроване повітря викидається в атмосферу через димову трубу. Рукавні фільтри мають ефективність уловлювання > 99,99 % для часток розміром до 0,5 мікрон.

Таблиця 7.13: Викиди пилу на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 2426

Метод усунення забруднення довкілля	Отримані значення	Пил мг/нм^3	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Рукавний фільтр	Мінімум	0,15	Безперервний моніторинг	У середньому за місяць
	Середнє значення	0,3		
	Максимум	1,1		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]				

Вилучений димовий пил переробляється на рафінувальному заводі через обертову піч для вилучення свинцю і срібла. Димові труби оснащені зондами для вимірювання пилу та впливу часток, які запускають сигнал тривоги у разі виникнення несправності. Інформація передається до відділу служби безпеки на об'єкті, що працює цілодобово, який потім забезпечує вживання відповідних заходів. Зонди налаштовані на подання сигналу тривоги при заданому значенні 5 мг/м^3 пилу в середньому за годину.

Всі процеси виробництва срібла вентилюються в загальну установку рукавного фільтра. Типовий вміст срібла становить ~ 1 % від загальної маси та ~ 1,6 % від типового вмісту свинцю.

Завод 112 також повідомляє про викиди від обертової печі, продемонстровані в Таблиці 7.14.

Таблиця 7.14: Викиди від обертової печі Заводу з виробництва дорогоцінних металів 112

Метод усунення забруднення довкілля	Потік	Забруднювальна речовина	Значення	Одиниці вимірювання	Метод отримання даних	Тип середнього значення
	$Нм^3$/год			мг/$нм^3$		
Циклон, газоохолоджувач, рукавний фільтр	36 090	Пил	Середнє значення	0,30	Періодичний моніторинг (6 разів на рік)	За період відбору проб
			Максимум	0,30		
		Загальний С	Мінімум	0,6	Безперервний моніторинг	За пів години
			Середнє значення	6,7		
			Максимум	37,7		
		HCl	Середнє значення	0,13	Періодичний моніторинг (6 разів на рік)	За період відбору проб
		Cl_2	Середнє значення	0,02		
			Максимум	0,04		
		ПХДД/Ф	Середнє значення	0,024 нг МТЕ/$Нм^3$		
		Hg	Мінімум	0,0001		
			Середнє значення	0,0032		
			Максимум	0,0095		
		Tl	Мінімум	0,00002		
			Середнє значення	0,00003		
			Максимум	0,00003		
		Pb	Мінімум	0,001		
			Середнє значення	0,0016		
			Максимум	0,0028		
		Co	Мінімум	0,00002		
			Середнє значення	0,0001		
			Максимум	0,0004		
		Ni	Мінімум	0,0008		
			Середнє значення	0,002		
			Максимум	0,0046		
		Se	Мінімум	0,0407		
			Середнє значення	0,0469		
			Максимум	0,0572		
		Te	Мінімум	0,00001		
			Середнє значення	0,0001		
			Максимум	0,0001		
		Sb	Мінімум	0,0001		
			Середнє значення	0,0001		
			Максимум	0,0001		
		Cr	Мінімум	0,0006		
			Середнє значення	0,0025		
			Максимум	0,0092		
		Cu	Мінімум	0,0098		
			Середнє значення	0,0162		
			Максимум	0,026		
		Mn	Мінімум	0,0004		
			Середнє значення	0,0031		
			Максимум	0,0106		
		V	Мінімум	0,00002		
			Середнє значення	0,00003		
			Максимум	0,00003		
		Sn	Мінімум	0,0004	Періодичний моніторинг	За період відбору проб
			Середнє значення	0,0007		
			Максимум	0,0018		

		As	Мінімум	0,00003		
			Середнє значення	0,00005		
			Максимум	0,00011		
		Cd	Мінімум	0,0001		
			Середнє значення	0,0007		
			Максимум	0,0026		
		Cr(VI)	Мінімум	0,0002		
			Середнє значення	0,0002		
			Максимум	0,0003		
		Be	Мінімум	0,00001		
			Середнє значення	0,000015		
			Максимум	0,00003		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії для експлуатації витяжних систем та систем знепилення.
- Використання сировини/флюсів для стабілізації та максимізації ефективності реакцій плавки для запобігання утворенню летких металовмісних сполук.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Цей тип пиловловлювача застосовується для нових установок та для капітально модернізованих наявних установок.

Економічні аспекти
Капітальні витрати та витрати на встановлення для пиловловлювача з патронним фільтром середнього та великого розміру (80 фільтрів) за поточними цінами становитимуть близько 1–1,5 млн євро.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Вимоги екологічних норм.
- Мінімізувати втрату цінних (дорогоцінних) металів, а також зберегти та відновити сировину, що містить дорогоцінні метали та інші цінні метали.

Приклади заводів
Заводи 112, 121, 205, 221, 318, 2113, 2426 та інші.

Довідкова література
[404, EPMF 2012]

7.3.3 Технології запобігання та зменшення викидів від пірометалургійних процесів виробництва металу Доре

Опис
Технології, які слід розглянути:
- ізольовані печі, відповідні корпуси/ковпаки, покриття та закриті промивні пристрої; з ефективними витяжними системами та системами подальшого газоочищення (див. Розділ 2.12.4);
- системи мокрого знепилення (швидке охолодження, скрубери Вентурі, мокрий електростатичний фільтр);
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- Вилучення SO_2 на установці з виробництва сірчаної кислоти (див. розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2) або в скрубері для SO_2 (пероксидний процес);
- вилучення селену, зібраного у відхідних газах, і осадження з водного розчину.

На деяких об'єктах, залежно від розміру та загальної організації (наприклад, окремі або поєднані з іншими операціями з рафінування металів), вилучення та обробка пилу, що утворюється в результаті пірометалургійних процесів для виробництва металу Доре, виконуються таким чином, що пил (та дим), що утворюється у процесі попередньої обробки, поводження та інших операцій, що утворюють пил, таких як плавлення, централізовано уловлюються, обробляються та контролюються. Це пояснює схожість між технологіями, описаними у Розділах 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3 та 7.3.8.

Технічний опис

Ізольовані печі, відповідні корпуси/ковпаки, покриття та закриті промивні пристрої; з ефективними витяжними системами та системами подальшого газоочищення

Сировинні матеріали, такі як анодний шлам, завантажуються через закриті завантажувальні бункери та конвеєри з витяжною системою в сушарку. Пилоподібні матеріали зберігаються в закритих біг-бегах і завантажуються в піч Kaldo/обертовий конвертер з верхнім дуттям через закриті бункери з витяжною системою в повністю закритій системі. Непильні та об'ємні матеріали можна завантажувати безпосередньо в піч через відкриті човни/ємності також у закритих умовах. Обробка відбувається під витяжним ковпаком.

Робота відбувається під негативним тиском. Піч Kaldo/обертовий конвертер з верхнім дуттям ізольовані та з'єднані з ковпаком. Приймальний ківш покривається або закривається у корпус під час випускання/лиття металу/шлаків. Ковші тримають під покриттям, поки матеріал не затвердіє. Купеляційна піч (обертовий конвертер з верхнім дуттям/нахильна обертова киснево-паливна піч/кисневий купель з донним дуттям) для афінажу сплавів з високим вмістом дорогоцінних металів з ліній виробництва свинцю/міді завантажується об'ємними матеріалами, що не містять сірки та селену. Печі накриваються водоохолоджувальною кришкою, яка одночасно використовується як ковпак для технологічних відхідних газів. Крім того, піч розміщується всередині оболонки для уловлювання дифузних викидів. Карбонат натрію та інші флюси для процесу рафінування зберігаються у закритих бункерах та завантажуються через закриту систему.

Метал Доре також може бути отриманий внаслідок видалення цинку шляхом випарювання у вакуумі у вакуумній реторті (ВР). Жодних флюсів не потрібно. Цей процес є закритим. Лиття у прутки здійснюється під витяжним ковпаком, а вилучене повітря фільтрується через рукавні фільтри.

Витяжні ковпаки/покриття з'єднані з витяжною системою, що забезпечує уловлювання диму. Система витяжної вентиляції підключена до системи зниження викидів газів, що присутня у зонах завантаження/випускання, а також у зонах лиття анодів зі сплаву доре/срібних анодів.

Системи мокрого знепилення, рукавні фільтри та вилучення SO_2 на установці з виробництва сірчаної кислоти або в скрубері для SO_2 (пероксидний процес)

Технологічні відхідні гази з печей (етап плавлення/ конвертування, що містять випарений селен) охолоджуються/різко охолоджуються та обробляються в скрубері Вентурі, мокрому циклоні та/або мокрому електростатичному фільтрі. Видалення SO_2, за необхідності, досягається за допомогою кислотної установки подвійного контактування/подвійної абсорбції, промивної колони для SO_2 або скрубера для SO_2. Відхідні гази від окремого випалювання селену, вловлюються системами знепилення, метою яких є видалення всього пилу.

Відхідні гази з сухого процесу печей (купеляційна піч для виплавки сплаву Доре/етап остаточного рафінування або плавлення після попереднього випалювання, що не містять випарений селен) можна очищати в рукавних фільтрах.

Вторинні гази з різних джерел зазвичай змішуються та очищаються у рукавних фільтрах.

Вилучення селену та цінних металів

Селен випаровується і вилучається з відхідних газів процесу виплавки з використанням скрубера Вентурі та/або мокрого електростатичного фільтра. Суспензію, отриману в системах мокрого знепилення, обробляють гідроксидом натрію та/або фільтрують у фільтрперсі (з непрямим нагрівом парою). Відфільтрований шлам повертається у процес. Розчин додатково нагрівають та обробляють газоподібним діоксидом сірки для осадження селену. Решта стічних вод обробляються на установці з очищення відпрацьованих вод (фізична та хімічна обробка) або переробляються на кислотних установках.

Шлами, що містять селен, також можна випалювати перед плавкою. Селен випаровують в електропечі у вигляді газоподібного діоксиду селену з використанням кисню та діоксиду сірки у якості реагентів. Селен видаляють з відхідних газів у водний розчин і відновлюють до елементарного селену.

Технологічні залишки, такі як шлаки з різних етапів процесу рафінування, пил, відділений у рукавних фільтрах, залишки системи мокрого знепилення тощо, переробляються на об'єкті або за його межами для отримання металу.

Досягнуті екологічні переваги

- Запобігання та зменшення викидів пилу, металів та SO_2.
- На об'єктах, які приєднані до установок з виробництва сірчаної кислоти, викиди SO_2 вилучаються для виробництва сірчаної кислоти для повторного використання на об'єкті та/або продажу третім сторонам.
- Селен вилучається з відхідних газів печі.
- Всі залишки, що утворюються в системах мокрого знепилення, які можуть містити цінні метали (фільтрований шлам), повертаються в процес рафінування. Уловлений димовий пил у рукавних фільтрах переробляється на афінажному заводі або третьою стороною для вилучення дорогоцінних металів та інших цінних металів, що сприяє економії сировини та мінімізації потоків відходів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

На Заводі 117 діяльність з афінажу дорогоцінних металів пов'язана з установкою з рафінування міді, і тому основною сировиною, що подається у процес виробництва сплаву Доре, є висушені шлами мідних анодів, а також інші повернені матеріали з виробництва дорогоцінних металів. Шлами спочатку висушують у паровій сушарці з непрямим нагрівом. Висушений матеріал в герметичних умовах подається в завантажувальний бункер печі Kaldo, а потім (також в герметичних умовах) в саму піч. Деякі інші шихтові матеріали, такі як дроблений шлак або цементне срібло, (без сушіння) подаються прямо в завантажувальний бункер, звідки в герметичних умовах завантажуються в піч Kaldo. Допоміжні матеріали подаються прямо в піч Kaldo через горловину. Усі зони завантаження обладнані системами вентиляції. Піч Kaldo повністю закрита витяжним ковпаком.

Відхідні гази печі Kaldo очищаються від пилу в скрубері Вентурі та направляються (як додатковий газовий потік) на установку з виробництва сірчаної кислоти подвійного контактування/подвійної абсорбції, розташовану на мідеплавильному заводі. Потік димових газів печі Kaldo, що містить 1,5–12 г/м^3 SO_2, становить близько 4 % від загального потоку, що надходить на установку з виробництва сірчаної кислоти.

Таблиця 7.15: Викиди на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 117

Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Отримані значення	Одиниці вимірювання	Метод отримання даних	Тип середнього значення
			мг/нм^3		
Скрубер Вентурі та установка з виробництва сірчаної кислоти подвійного контактування/подвійної абсорбції з подальшим застосуванням краплевловлювача	SO_2	Мінімум	140	Безперервний моніторинг	Щогодинно
		Середнє значення	186		
		Максимум	800		
	NO_X	Мінімум	280		
		Середнє значення	299		
		Максимум	640		
	H_2SO_4	Мінімум	37	Періодичний моніторинг (12 разів на рік)	За період відбору проб
		Середнє значення	77		
		Максимум	200		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

На заводі з виробництва дорогоцінних металів є центральна система вентиляції, обладнана двома рукавними фільтрами та двома димовими трубами. Система уловлює викиди від:

- відхідних газів із сушарки;
- цеху обробки сировини;
- ковпаку печі Kaldo та прольоту анодної печі;

- вентиляційне повітря із зони завантаження сушарки та завантажувального бункера;
- зони попереднього дроблення шлаку;
- інших установок заводу з виробництва дорогоцінних металів.

Таблиця 7.16: Викиди із центральної системи вентиляції Заводу з виробництва дорогоцінних металів 117

Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Отримані значення	Одиниці вимірювання	Метод отримання даних	Тип середнього значення
			мг/нм^3		
Рукавний фільтр	Пил	Мінімум	0,1	Періодичний моніторинг (4 рази на рік)	За період відбору проб
		Середнє значення	0,23		
		Максимум	0,3		
	SO_2	Мінімум	14,6		
		Середнє значення	40,15		
		Максимум	64,24		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

Суспензію, отриману в системі мокрого знепилення, нейтралізують гідроксидом натрію. Свинець та інші залишкові метали осаджуються. Пульпу фільтрують у фільтрпресі Відфільтрований шлам повертається у сушарку. Розчин нагрівають і обробляють газоподібним діоксидом сірки, а селен осаджується. Потім селен фільтрують, промивають у фільтрпресі та висушують шляхом продування повітрям. Стічні води скидаються на місцеву установку попереднього очищення відпрацьованих вод, де вони нейтралізуються вапняним молоком та фільтруються. Шлам повертається в потік мідного концентрату для брикетування та завантаження у шахтні печі для виплавки міді. Фільтрований розчин скидається в каналізацію для кислих стічних вод мідеплавильного заводу для остаточної нейтралізації та коагуляції.

Метал Доре з печі Kaldo подається в анодну піч у ковші, що переміщається мостовим краном. Чорнове срібло нагрівають і відливають у срібні аноди. Цех лиття анодів обладнано МВВ (місцевою витяжною вентиляцією). Вентиляційні гази з прольоту анодної печі та технологічні гази з печі очищаються від пилу в рукавному фільтрі. Пил з рукавного фільтра повертається в піч Kaldo через закриту систему труб.

На Заводі 121 завод з афінажу дорогоцінних металів призначений для афінажу як анодних шламів з високим вмістом дорогоцінних металів з виробництва міді, так і сплаву з високим вмістом дорогоцінних металів від рафінування свинцю. Очищений від міді шлам висушують. Висушений шлам плавиться в печі Kaldo/обертовому конвертері з верхнім дуттям для відокремлення неблагородних металів від шлаку та зберігання чорнового сплаву дорогоцінних металів. Селен випаровується, уловлюється під час очищення газу та осаджується у вигляді сировинного селену, який продається для подальшого рафінування. Сплави, що містять дорогоцінні метали, з різних технологічних ліній (свинцевої, мідної, ринкової) змішуються і плавляться в другій печі (нахильна обертова киснево-паливна піч, обертовий конвертер з верхнім дуттям), де, зрештою, сплав дорогоцінних металів/насичений метал Доре/сире срібло очищається і відливається в срібні аноди.

Анодний шлам завантажується через закриті завантажувальні бункери та закриті конвеєри в сушарку. Конвертери та бункери спорожнюються. Пилоподібні матеріали зберігаються в біг-бегах і завантажуються з біг-бегів в закриті бункери з витяжною системою. Непильні/об'ємні матеріали завантажуються за допомогою човнів/ємностей. Обертова конвертерна піч з верхнім дуттям завантажується через повністю закриту систему.

Сушарка нагрівається непрямим шляхом паровою сушаркою та завантажується через закритий завантажувальний конвеєр (витяжна система). Газ обробляється разом з вторинними відхідними газами, що відходять печі Kaldo (обертовий конвертер з верхнім дуттям 1) і заводу з рафінування свинцю, в рукавному фільтрі. Закриті бункери використовуються для зберігання та завантаження висушеного матеріалу.

Піч Kaldo (обертовий конвертер з верхнім дуттям 1) ізольована та з'єднана з ковпаком. Первинні технологічні гази швидко охолоджуються на установці для швидкого

охолодження (з 600 до 80 °C), потім проходять через скрубер Вентурі, мокрий циклон і мокрий електростатичний фільтр. Газ обробляється для вилучення SO_2 на кислотній установці подвійного контактування/подвійної абсорбції або в скрубері для SO_2. Пилова суспензія з установки для швидкого охолодження та скрубера Вентурі фільтрується фільтрпресом (з непрямим паровим нагрівом), а шлам рециркулюється назад в обертовий конвертер з верхнім дуттям. Водний розчин повторно використовується у процесі мокрого очищення газу для концентрування селену і далі використовується для осадження чорнового селену. Вміст SO_2 у газах, що викидаються установкою з виробництва сірчаної кислоти, становить близько 270–1080 мг/м^3 (середньодобове значення).

Вторинні гази з різних джерел (наприклад, печі Kaldo (обертовий конвертер з верхнім дуттям 1) та заводу з рафінування свинцю) змішуються та очищаються у двох рукавних фільтрах.

Таблиця 7.17: Викиди пилу від вторинних газів на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 121

Метод усунення забруднення довкілля	Максимальний потік	Отримані значення	Пил	Метод отримання даних	Тип середнього значення
	Нм^3/год		мг/нм^3		
Рукавний фільтр	40 000	Мінімум	< 0,5	Безперервний моніторинг	За день
		Максимум	2,0		
		Мінімум	< 0,5		За пів години
		Максимум	8,0		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

Купеляційна піч (обертовий конвертер з верхнім дуттям 2) розташована усередині великої оболонки. Завантажуються об'ємні тверді матеріали, що не містять сірки та селену. Карбонат натрію та інші флюси для процесу рафінування зберігаються у закритих бункерах та завантажуються через закриту систему. Печі накриваються водоохолоджувальною кришкою, яка одночасно використовується як ковпак для технологічних відхідних газів. Крім того, піч розміщується всередині оболонки для уловлювання неорганізованих викидів. Обидва ковпаки підключені до витяжної вентиляції. Відхідні гази купеляційної печі (обертового конвертера з верхнім дуттям 2) разом з вторинними газами очищаються в окремому рукавному фільтрі.

Таблиця 7.18: Викиди пилу з кількох джерел (купеляційна піч та вторинні гази) на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 121

Метод усунення забруднення довкілля	Максимальний потік	Отримані значення	Пил	Метод отримання даних	Тип середнього значення
	Нм^3/год		мг/нм^3		
Рукавний фільтр	50 000	Мінімум	< 0,5	Безперервний моніторинг	За день
		Максимум	2,0		
		Мінімум	< 0,5		За пів години
		Максимум	4,0		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

На Заводі 27 відділення та вилучення селену здійснюють шляхом випалювання очищеного від міді анодного шламу та шляхом випарювання газоподібного діоксиду селену в печі з електричним нагрівом з використанням у якості реагентів кисню та діоксиду сірки. Селен потім видаляють з відхідних газів у водний розчин і відновлюють до елементарного селену. Пил уловлюється в резервуарах розчину для осадження. Середній вміст пилу у відхідних газах після осадження селену становить < 25 мг/Нм^3. Потім вільний від селену шлам плавиться, відновлюється та очищається у нахильній обертовій киснево-паливній конвертерній печі у вигляді металу Доре та відливається у вигляді анодів. Відхідні гази направляються у два рукавні фільтри: один для технологічного газу й один для вентиляційного газу. Вміст пилу в об'єднаному потоці відхідних газів (18 000 Нм^3/год) після рукавного фільтра показано в Таблиці 7.19.

Таблиця 7.19: Викиди пилу на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 27

Метод усунення забруднення довкілля	Отримані значення	Пил	Метод отримання даних	Тип середнього значення
		мг/нм^3		
Рукавний фільтр	Середнє значення	10	Періодичний моніторинг (4 рази на рік)	За період відбору проб
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]				

На Заводі 219 застосовується сушіння вилуженого анодного шламу і змішування шлакових флюсів (наприклад, карбонату натрію та коксу) з подальшою плавкою та конвертуванням в обертовому конвертері з верхнім дуттям для видалення домішок та виробництва металу Доре у вигляді анодів. Селен відокремлюють шляхом випаровування і вилучають із газової фази за допомогою скрубера Вентурі та мокрого електростатичного фільтра, після чого остаточно осаджують у вигляді чорнового селену. Гази також очищаються від діоксиду сірки в електростатичному фільтрі та промивній колоні. Відхідні гази з вторинного ковпака і сушарки концентрату очищаються в рукавному фільтрі.У Таблиці 7.20 продемонстровані викиди пилу.

Таблиця 7.20: Викиди пилу на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 219

Метод усунення забруднення довкілля	Потік	Отримані значення	Пил	Метод отримання даних	Тип середнього значення
	Нм^3/год		мг/нм^3		
Електростатичний фільтр + скрубер	7000	Мінімум	< 0,5	Періодичний моніторинг (4 рази на рік)	За період відбору проб
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

На Заводі 2113 метал Доре виготовляється з різних проміжних продуктів, що містять високі концентрації дорогоцінних металів. Вапно вдувається для видалення SO_2 з відхідних газів печі за допомогою рукавного фільтра, де також видаляється пил. Вентиляційне повітря будівлі очищається рукавним фільтром.У Таблиці 7.21 показані викиди пилу з технологічних газів, а у Таблиці 7.22 — викиди пилу з вентиляційного повітря будівлі.

Таблиця 7.21: Викиди з технологічних газів на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 2113

Метод усунення забруднення довкілля	Потік (Нм^3/год)	Забруднювальна речовина	Отримані значення	Одиниця вимірювання (мг/Нм^3)	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Рукавний фільтр із вдуванням вапна (технологічні гази)	18 500	Пил	Мінімум	0,02	Періодичний моніторинг (5 разів на рік)	За період відбору проб
			Середнє значення	0,10		
			Максимум	0,14		
		SO_2	Мінімум	62	Періодичний моніторинг (15 разів на рік)	
			Середнє значення	248		
			Максимум	620 ([1])		
([1]) Значення відповідають 1–2-годинним пробам. Протягом усього циклу (приблизно 12 годин) повідомлені значення коливаються від 250 мг/Нм^3 та 480 мг/Нм^3. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]						

Таблиця 7.22: Викиди з вентиляційного повітря будівлі на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 2113

Метод усунення забруднення довкілля	Потік ($Нм^3$/год)	Забруднювальна речовина	Отримані значення	Одиниця вимірювання ($мг/Нм^3$)	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Рукавний фільтр (вентиляція будівлі)	115 000	Пил	Середнє значення	0,05	Періодичний моніторинг	За період відбору проб
			$9^{0-й}$ процентиль	0,06		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]						

На Заводі 2426 метал Доре виробляється з домішок срібла, що видаляються зі свинцю в процесі рафінування свинцю. Вживаються заходи щодо запобігання викидам у повітря, такі як ізольовані печі та відповідні корпуси/ковпаки. Під час лиття блоків технологічний газ видаляється через витяжний ковпак, з'єднаний із рукавним фільтром потужністю 160 000 $м^3$/год, який обслуговує процеси срібного циклу. Пил з фільтра завантажується в обертову піч для виробництва срібла для вилучення металів. На Заводі 2426 метал Доре містить нечисте срібло, отримане внаслідок видалення цинку зі срібла під час афінажу срібла. Видалення цинку здійснюється випарюванням у вакуумі з використанням вакуумної реторти. Метал Доре у процесі відливається у форми під витяжним ковпаком, з'єднаним з описаним вище рукавним фільтром, який обслуговує процеси срібного циклу, для формування цільних прутків зі срібла з домішками свинцю та міді, з вмістом срібла, що може опускатися нижче 80 %.

На Заводі 2426 гази всіх процесів виробництва срібла видаляються у загальний рукавний фільтр. Типовий вміст срібла становить ~ 1 % від загальної маси та ~ 1,6 % від типового вмісту свинцю.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії для роботи витяжної системи, систем фільтрування, знепилення та скруберів.
- Використання флюсів для максимізації ефективності реакцій плавки для запобігання утворенню летких металовмісних сполук.
- Для видалення SO_2 необхідні реагенти (наприклад, H_2O_2 для скруберів або вдування вапна в рукавні фільтри).

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології застосовні до нових та наявних заводів.

Системи мокрого знепилення та вилучення селену застосовні для відхідних газів, що містять випарений селен.

Рукавні фільтри зазвичай застосовуються для сухих газів (що не містять випарений селен) та для вентиляційних газів.

Відновлення SO_2 на кислотних установках подвійного контактування/подвійної абсорбції переважно застосовується на заводах для афінажу дорогоцінних металів, встановлених на об'єктах виробництва первинної міді, оскільки вони оснащені установками з виробництва сірчаної кислоти. Як альтернатива застосовується скрубер для SO_2.

Стимул до впровадження
- Запобігання та зменшення викидів.
- Вимоги екологічних норм.
- Мінімізувати втрату цінних (дорогоцінних) металів, а також зберегти та відновити сировину, що містить дорогоцінні метали та інші цінні метали.

Приклади заводів
Заводи 27, 117, 121, 318, 2113, 2426 та інші.

Довідкова література
[404, EPMF 2012]

7.3.4 Технології запобігання та зменшення викидів від (електролітичного) афінажу срібла та золота

Опис
Технології, які слід розглянути:

- комплексні заходи щодо управління технологічним процесом;
- Закриті резервуари/ємності та закриті труби для передавання розчинів (див. Розділ 2.12.4);
- ковпаки та витяжні системи для електролітичних камер, де це необхідно (наприклад, електроліз золота) (див. Розділ 2.12.4);
- водяна завіса;
- рециркуляція розчинів для повторного використання;
- перероблення побічних продуктів для вилучення дорогоцінних металів;
- відновлення азотної кислоти з висококонцентрованих NO_X-газів;
- лужний скрубер з розчином каустичної соди для вихлопних газів електролізу золота (див. Розділ 2.12.5.2.2).

Технічний опис
Електролітичне рафінування срібла здійснюється в електролітичних камерах з використанням катодів із титану або неіржавкої сталі та срібних анодів, відлитих зі сплаву Доре. Вони занурені у підкислений електроліт нітрату срібла. Постійний струм, що подається між електродами, змушує іони срібла, розчинені з анода, мігрувати та осаджуватися у вигляді кристалів срібла на катодах. Кристали зіскрібають з катодів, збирають і видаляють з дна камер, промивають, фільтрують та висушують. Частина електроліту періодично видаляється із системи для очищення та вилучення срібла за допомогою цементації.

Шлами з електролітичних камер, зібрані в фільтрувальні мішки для анодів, промиваються, фільтруються та додатково обробляються на предмет вмісту в них золота та металів платинової групи. Золото отримують у процесі електролізу золота або за допомогою гідрометалургійних процесів після вилуговування анодного шламу азотною кислотою. Після вилуговування золотий пісок відливається в аноди. Використовуваний електроліт є розчином соляної кислоти та тетрахлорзолотої кислоти. Постійний струм, що подається між електродами, змушує іони золота, розчинені з анода, мігрувати та осаджуватися на катодах.

Золото також може бути вилучене шляхом вилуговування шламів/золотого піску соляною кислотою у присутності окиснювачів (HNO_3, Cl_2, H_2O_2 тощо) з подальшим вибірковим відновленням та осадженням з розчину.

Комплексні заходи щодо управління технологічним процесом
Процеси електролітичного рафінування оптимізовані з точки зору конструкції камери, відстані між анодом та катодом, густини струму, складу електроліту, температури та швидкості потоку, щоб забезпечити низьке споживання енергії та підтримувати високу продуктивність.

Закриті резервуари/ємності та закриті труби для передавання розчинів
Застосовуються закриті ємності/резервуари для зберігання електролітів та закриті ємності для додавання реагентів (мідний порошок, сода) для очищення відпрацьованого електроліту та цементації срібла. Резервуари/ємності для зберігання є резервуарами з подвійними стінками або поміщені у стійкі обвалування. Підлога водонепроникна та кислотостійка. Закриті трубопроводи використовуються для переміщення розчинів/електролітів.

Кристали срібла у закритих конвеєрах передаються у збірні ємності або підіймають за допомогою збірних лотків з дна камери.

Вилуговування анодного шламу азотною кислотою (перед електролізом золота) відбувається у закритих ємностях.

Закриті реакційні ємності з витяжною вентиляцією також використовуються для вилуговування анодного шламу соляною кислотою або іншими розчинниками або сумішами розчинників, а також на наступних етапах відновлення та осадження золота.

Для забезпечення герметичності та запобігання витоків проводяться регулярні перевірки технічне обслуговування камер, резервуарів, труб, насосів та систем очищення.

Ковпаки та витяжні системи для електролітичних камер, де це необхідно (наприклад, електроліз золота)
Промивання шламу відбувається всередині корпусу або покриття.

Електролітичні камери для електролізу золота обладнані ковпаками/вбудованими покриттями та витяжною вентиляцією для уловлювання хлору, що утворюється на аноді.

Водяна завіса
Ця технологія може бути використана для запобігання викидам газоподібного хлору під час вилуговування анодного шламу соляною кислотою або іншими розчинниками.

Рециркуляція розчинів для повторного використання
Дренажні системи герметизовані, а всі зібрані розчини рециркулюються.

Перероблення побічних продуктів для вилучення дорогоцінних металів
- Відпрацьований електроліт від електролізу срібла та відпрацьовані розчини промивання шламу очищаються для вилучення срібла. Відпрацьовані аноди переплавляються для вилучення металу. Залишки електролітного очищення (цементне срібло, залишок на основі карбонату міді) переробляються на об'єкті для вилучення металу.
- Електроліт від електролізу золота очищається для вилучення золота. Відпрацьовані аноди переплавляються для вилучення металу. Шлами, що містять золото та інші метали платинової групи, вилучаються та додатково очищаються.
- Розчини процесів вилуговування золота очищаються для вилучення золота і металів платинової групи.
- Розчини з високим вмістом металів платинової групи використовуються для вилучення металів платинової групи на об'єкті або за його межами.

Відновлення азотної кислоти з висококонцентрованих NO_X-газів
Гази, що містять NOX, від вилуговування анодного шламу азотною кислотою збираються через спеціальну систему повітропроводів і промиваються та/або обробляються в скруберах для вилучення азотної кислоти.

Лужний скрубер з розчином каустичної соди для вихлопних газів електролізу золота
Вихлопний газ з електролітичних камер для виробництва золота збирають і очищають у лужному скрубері, що містить водний розчин каустичної соди.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання дифузним викидам.
- Ефективне споживання енергії.
- Вилучення металів та економія сировини.
- У процесі не утворюються відходи.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На Заводі 117 приміщення електролітичного рафінування та цементації срібла обладнане системою припливно-витяжної вентиляції, з'єднаною з витяжною трубою на даху, при цьому викиди у повітря незначні.

Кристали срібла збирають з дна камер, промивають гарячою водою (без хлору), фільтрують та висушують шляхом обдування гарячим повітрям. Відпрацьовані аноди повертаються в анодну піч. Відпрацьований електроліт вилучається та цементується мідним порошком. Після фільтрування цементне срібло повертається в піч Kaldo, а розчин скидається на місцеву установку попереднього очищення відпрацьованих вод, де він нейтралізується вапняним молоком і фільтрується. Шлам від попередньої обробки води

повертається до мідного концентрату для брикетування та завантаження у шахтні печі для виплавки міді. Фільтрований розчин скидається в каналізацію для кислих стічних вод мідеплавильного заводу для остаточної нейтралізації та коагуляції.

Анодний шлам з процесу електролітичного рафінування срібла промивають водою, що не містить хлору, фільтрують і збирають для вилучення золота та інших дорогоцінних металів. Золото вилучається шляхом вилуговування шламів гарячою соляною кислотою та газоподібним хлором, а потім осаджується з розчину. Реакційні ємності для вилуговування золота закриті. Водяна завіса запобігає викидам газоподібного хлору. Після закінчення процесу вилуговування всі залишкові гази направляються на установку з виробництва сірчаної кислоти для обробки. Золотий пил осаджується за допомогою $NaHSO_3$ і NaOH, потім фільтрується і переплавляється в прутки. Розчини, що залишилися після процесу попереднього вилуговування та осадження, використовуються за межами об'єкта для вилучення платини. Осад від процесу вилуговування цементується залізним порошком і після фільтрування повертається до печі Kaldo. Фільтрат скидається на місцеву установку з очищення відпрацьованих вод.

У цих процесах не утворюються тверді відходи для утилізації.

На Заводі 121 електроліз срібла застосовується для отримання кристалів срібла високої чистоти та для розділення золота та металів платинової групи в анодному шламі. Шлам промивається водою всередині корпусу, а розчин рециркулюється. Відпрацьований електроліт разом з відпрацьованим промивним розчином обробляють мідним порошком для осадження срібла та додатково обробляють содою для видалення домішок. Цементне срібло переробляється в обертовій конвертерній печі з верхнім дуттям. Залишок, що містить карбонат міді, переробляється в на заводі з виплавки первинної міді. Ємності для додавання мідного порошку та соди закриті. Для електроліту використовується закрита ємність/резервуар для зберігання. Кристали срібла з дна камер перекачуються за допомогою закритого конвеєра до збірних ємностей, а потім додатково промиваються водою для видалення залишкового електроліту.

Анодний шлам вилуговують азотною кислотою перед відливанням в аноди для електролізу золота. Вилуговування відбувається в закритій, нагрітій ємності. Гази, що містять NO_X, промиваються, а розчин азотної кислоти відновлюється. Максимальний потік відхідного газу зі скрубера становить 20 000 $Нм^3$/год; вимірювання NO_X здійснюється один раз на рік (три 30-хвилинні вимірювання): виміряні рівні знаходяться в діапазоні 80–110 мг/$Нм^3$. Залишковий розчин, що містить метали платинової групи, використовується за межами об'єкта для вилучення металів платинової групи.

Золото може бути отримано у вигляді високоякісних золотих катодів у електролітичному процесі виробництва золота або шляхом вилуговування у вигляді осаду високоочищеного золота. Електролітичні камери для виробництва золота і реактори підключені до витяжних ковпаків, а відхідні гази очищаються в скрубері, що містить водний розчин каустичної соди. Потік відхідних газів становить до 5000 $Нм^3$/год; вимірювання Cl (HCl) здійснюються один раз на рік (три 30-хвилинні вимірювання): виміряні рівні знаходяться в діапазоні 2–12 мг/$Нм^3$. Відпрацьований електроліт очищається для вилучення золота, а розчин, що залишився, використовується за межами об'єкта для вилучення металів платинової групи. Шлам повторно використовується для вилучення золота/металів платинової групи.

На Заводі 27 приміщення електролітичного рафінування срібла обладнане системою припливно-витяжної вентиляції, з'єднаною з витяжною трубою на даху. Відпрацьовані аноди повертаються в нахильну обертову киснево-паливну піч. Відпрацьований електроліт та стічні води від промивання катодного срібла та відпрацьованих анодів піддаються цементації мідним порошком. Срібло цементується також порошковим залізом зі шламу AgCl, отриманого в результаті вилуговування золота з анодного шламу електролітичного рафінування срібла. Після цементації відфільтроване цементне срібло повертається в нахильну обертову киснево-паливну піч, а розчин повертається у процес виробництва дорогоцінних металів. У цьому процесі не утворюються тверді відходи для утилізації.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Широко застосовуються комплексні заходи щодо управління технологічним процесом, закриті резервуари/ємності та закриті труби для переміщення розчинів, а також рециркуляції розчинів для повторного використання.

Рециркуляція побічних продуктів/розчинів для вилучення дорогоцінних металів широко застосовується залежно від конкретного потоку та вмісту дорогоцінних металів (золота, срібла або металів платинової групи); якщо жодних дорогоцінних металів не міститься, перероблення не виконується.

Для електролітичних камер для виробництва золота застосовуються ковпаки та витяжні системи.

Водяна завіса застосовується для запобігання викиду газоподібного хлору в процесі вилуговування (наприклад, під час отримання золота).

Відновлення азотної кислоти застосовується для газів із високою концентрацією NO_X, наприклад, з процесів, пов'язаних із вилуговуванням анодного шламу азотною кислотою.

Лужний скрубер з розчином каустичної соди застосовується для вихлопних газів електролізу золота.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Запобігання та зменшення викидів.
- Вимоги екологічних норм.
- Мінімізувати втрату цінних (дорогоцінних) металів, а також зберегти та відновити сировину, що містить дорогоцінні метали та інші цінні метали.

Приклади заводів
Заводи 27, 112, 117, 121, 205, 318 та інші.

Довідкова література
[404, EPMF 2012]

7.3.5 Технології запобігання та зменшення викидів від операцій гідрометалургійних виробництв дорогоцінних металів

Опис
Технології, які необхідно враховувати:

- Заходи уловлювання, такі як герметизовані або закриті реакційні ємності, резервуари для зберігання, обладнання та фільтри для вилучення розчинником, ємності та резервуари, обладнані регулятором рівня, закриті труби, герметизовані дренажні системи та програми планового технічного обслуговування (див. Розділ 2.12.4).
- Реакційні ємності та резервуари, підключені до загальної системи повітропроводів з видаленням відпрацьованого газу (автоматична резервна/дублювальна установка, доступна у разі несправності) (див. Розділ 2.12.4).
- Система скрубера із сірчаною кислотою для очищення від аміаку (див. Розділ 2.12.5.2.2).
- Система мокрого лужного скрубера, що містить водний розчин каустичної соди, для очищення кислих відхідних газів, таких як соляна кислота, хлор і NO_X (див. Розділ 2.12.5.2.2).
- Скрубери NO_X, що містять водну суміш перекису водню та азотної кислоти (див. Розділ 2.12.5.2.2). Ці скрубери розташовані на конкретних ємностях, які можуть утворювати високі локалізовані концентрації NO_X. Метою міні-скруберів є зниження навантаження на основну систему.
- Системи управління, такі як підключення скруберів до пріоритетного електричного контура, що обслуговується резервним генератором, у разі відключення електроенергії, а також для управління запусками та зупинками; утилізація відпрацьованої кислоти та підживлення скруберів свіжою кислотою за допомогою автоматизованої системи управління, що забезпечує наявність резервного циркуляційного насоса для змочувальної рідини від кожного резервуару скрубера на випадок несправності насоса.

Технічний опис

Для розділення та очищення матеріалів, що містять дорогоцінні метали та срібло, використовуються різні гідрометалургійні технології, у тому числі розчинення/вилуговування соляною кислотою, соляною кислотою та хлором, азотною кислотою, аква реджиа (азотна кислота та соляна кислота), дистилювання, операції фільтрування та процеси вибіркового вилучення (в тому числі екстракція розчинником та іонний обмін).

Хімічні процеси, що використовується в цих операціях в рамках комплексної гідрометалургійної операції з виробництва дорогоцінних металів, призводить до ряду токсичних і потенційно шкідливих для довкілля відхідних газів, які потребують обробки для зниження їх концентрації до прийнятно низьких концентрацій перед викидом в атмосферу.

Переважна більшість реакцій призводить до утворення кислих відхідних газів, серед яких найбільш значними є соляна кислота, хлор і NO_X. Крім того, деякі реакції призводять до викиду невеликих кількостей парів SO_2, брому та сірчаної кислоти.

На заводі з афінажу дорогоцінних металів також існує ряд операцій, в яких аміак є основним відхідним газом, що утворюється в реакційних ємностях. Це може бути будь-яка операція з афінажу дорогоцінних металів, але зазвичай вона пов'язана з афінажем паладію з вилученням розчинником і супутніми операціями, де аміак використовується у якості реагенту, а також в обробці каустичною содою розчинів дорогоцінних металів, що містять хлорид амонію, який виділяє аміак.

Заходи уловлювання

Всі афінажні заводи, що використовують гідрометалургійні процеси для афінажу дорогоцінних металів, працюють зі складним комплексом водних розчинів і часто з органічних розчинників. Багато водних розчинів будуть або сильно кислими, або лужними, і у разі випадкового попадання в навколишнє середовище вони можуть завдати значної шкоди. Крім того, багато матеріалів обробляються за підвищених температур, тому також є можливість виділення токсичних газів. Тому необхідно вжити ряд заходів щодо уловлювання, щоб мінімізувати ризик як дифузних викидів, так і аварійних викидів.

Всі реакційні ємності під час роботи герметизують зазвичай закриваючи кришку завантажувального отвору. Зазвичай їх відкривають лише на початку процесу, під час завантаження або іноді для відбору проб. Використання закритих реакційних ємностей також значно знижує навантаження на установку з очищення відхідних газів у порівнянні з вентильованими реакторами, що знижує споживання хімічних речовин, електроенергії та води. Ємності завжди знаходяться під негативним тиском, і всі дими, що утворюються під час роботи, видаляються у спеціальну установку з очищення газу.

Резервуари для зберігання, як на об'єкті, так і за його межами, герметизовані та зазвичай обладнані оглядовим люком або вікном, що закривається. Вони відкриваються лише тоді, коли резервуари порожні для технічного обслуговування тощо. Резервуари для зберігання також підключені до системи місцевої витяжної вентиляції, а дим спрямовується на відповідну установку з очищення газу.

Обладнання для вилучення розчинником та фільтри зазвичай розташовуються у спеціально побудованому корпусі, обладнаному місцевою витяжною вентиляцією, або під витяжними ковпаками. Корпус зазвичай виготовляється з прозорого плексигласу або іншої пластмаси, щоб можна було спостерігати за операціями без впливу на робітників або потенційного викиду диму тощо у робоче місце або в довкілля. Пластмасові панелі можуть зніматися для технічного обслуговування.

Більшість реакційних ємностей та резервуарів для зберігання обладнані автоматичним регулятором рівня. Це означає, що у разі заповнення резервуара або ємності нагнітальний насос автоматично вимикається, коли досягається потрібний рівень. Крім того, встановлені сигналізатори аварійно високого рівня, які попередять операторів у разі перевищення цього рівня. Ці елементи управління мінімізують ризик переповнення резервуарів та ємностей та виникнення витоку.

Всі водні розчини та розчинники переміщуються між ємностями, резервуарами тощо закритими трубами для виключення будь-якого контакту з операторами. Будівельні матеріали повинні бути сумісні з типом рідини, що переміщується. У багатьох випадках зовнішні труби обладнані вторинним корпусом з прозорої пластмаси, що дозволяє швидко

виявляти витоки та запобігати будь-яким розливам.

Резервуари для реагентів і резервуари для проміжного зберігання виготовлені з матеріалів, сумісних з розчином, що в них міститься. Як правило, на багатьох афінажних заводах вони передбачають високоякісні армовані пластмасові матеріали, стійкі до корозії. Зовнішні резервуари для зберігання завжди розміщуються в зонах з обвалуванням, де будь-який випадковий розлив може бути затриманий та утилізований. Ці зони з обвалуванням зроблені з кислотостійких або подібних матеріалів, щоб виключити просочування в землю. Всі внутрішні підлоги зазвичай покриті плиткою, щоб запобігти просоченню у землю, і обладнані відстійниками для збирання випадкових розливів. Передовою практикою є також обвалування окремих будівель шляхом спорудження виступи на підлозі біля дверних отворів, щоб запобігти будь-яким стокам у разі виходу з ладу головної ємності або резервуара.

Стандартною практикою є герметизація всіх дренажних систем, щоб у малоймовірному випадку розливу розчин не потрапив у дренажну систему і не потрапив у каналізацію чи довкілля. Дренажні системи також зазвичай обладнанні резервуарами-вловлювачами, отже якщо будь-який розчин потрапить в систему, він буде затриманий. Резервуари-вловлювачі та точки відведення також можуть бути оснащені сигналізаторами pH, які попередять про будь-який викид та автоматично перекриють будь-яке скидання в каналізацію тощо.

На всіх заводах з афінажу дорогоцінних металів застосовуються суворі планові програми технічного обслуговування для огляду та ремонту всього обладнання, а також для мінімізації та запобігання будь-яким викидам, витокам або розливам.

Реакційні ємності та резервуари, підключені до загальної системи повітропроводів з видаленням відпрацьованого газу (автоматична резервна/дублювальна установка, доступна у разі несправності)
Всі реакційні ємності та резервуари тощо, які можуть виділяти газоподібний аміак або кислі гази, підключені до загальної системи повітропроводів (зазвичай через скляний конденсатор з водяним охолодженням), де вентилятор видаляє гази з ємності. Через повітропровід відхідні гази надходять у скруберну установку.

Система скрубера, що містить розчин сірчаної кислоти
Скруберна установка зазвичай складається з одного або декількох баштових газових скруберів з резервуаром розчину сірчаної кислоти (тобто, 15 % мас./об.), який циркулює навколо баштового скрубера. Якщо в системі очищення газу працює більше одного баштового скрубера, переважна більшість відхідних газів аміаку поглинається в першому блоці очищення, а інший служить як другий етап і/або резервний блок на випадок виходу з ладу першого.

З точки зору практики експлуатації ключовим параметром є моніторинг та контроль кислотності в резервуарі(-ах) змочувальної рідини. Ph резервуару(-ів) змочувальної рідини постійно контролюється та регулюється.

Відхідні гази зі скруберних установок викидаються в атмосферу через спеціальну димову трубу.

Система мокрого лужного скрубера, що містить водну каустичну соду
Скруберні установки зазвичай складаються з одного або декількох баштових скруберів з резервуаром водного розчину каустичної соди, який циркулює навколо баштового скрубера. Якщо в системі очищення газу працює більше одного баштового скрубера, переважна більшість кислих відхідних газів поглинається в першому блоці очищення, а інший служить як другий етап і/або резервний блок на випадок виходу з ладу першого.

З точки зору практики експлуатації ключовим параметром є моніторинг та контроль лужності в резервуарах змочувальної рідини. Іншим ключовим параметром є температура змочувальної рідини, яку необхідно підтримувати нижче заданого значення, щоб забезпечити належне видалення NO_X та інших кислих газів.

Відхідні гази, що виходять зі скруберних установок, викидаються в атмосферу через димову трубу, яка зазвичай є однією з основних контрольованих точок викиду газів на заводі з афінажу дорогоцінних металів. Через потенційну значущість викидів NO_X як атмосферного забруднювача димові труби можуть бути обладнані пробовідбірним зондом і лінією передачі газу, підключеної до спеціального монітора значень NO_X, що працює безперервно. Крім того, рівні NO_X в режимі реального часу безперервно передаються через автоматизовану систему управління на місцеву панель або в центральну диспетчерську

кімнату, активуючи сигнали тривоги на рівнях «попередження» та «дія», щоб попередити осіб, відповідальних за роботу з відомими реакціями, що утворюють NO_X, щоб можна було вжити заходів для обмеження/контролю його утворення у джерелі.

Скрубери NO_X, що містять водну суміш перекису водню та азотної кислоти
Через потенційну значущість як забруднювача атмосфери особлива увага приділяється моніторингу та контролю викидів NO_X на заводах з афінажу дорогоцінних металів. Моніторинг може здійснюватися шляхом безперервних вимірювань або вибіркового регулярного відбору проб та аналізу вихідних потоків з димової труби.

Очищення виконується для досягнення граничних значень викидів NO_X та запобігання утворенню коричневого диму у димовій трубі заводу. Скрубери NO_X використовуються (на додаток до основної системи очищення) для конкретних ємностей, які можуть утворювати високі локальні концентрації NO_X. Метою міні-скруберів є зниження навантаження на основну систему. Відхідні гази оксидів азоту (NO і NO_2) можна вловлювати, використовуючи кисень або перекис водню у якості окиснювачів, з одного боку, і азотну кислоту або сечовину (у якості відновників), з іншого боку. Час перебування та охолодження змочувальної рідини, що циркулює, мають важливе значення для оптимального поглинання газу та досягнення граничних значень викидів NO_X. Відхідні гази зі скрубера NO_X направляються в лужні скрубери (як описано вище) перед викидом в атмосферу.

Змочувальна рідина, що циркулює, буває або кислою (розведена азотна кислота і перекис водню), або лужною (каустична сода з перекисом водню). У концентрованих потоках NO_X із закритих операцій з афінажу перевага надається кислотному очищенню, оскільки поглинені NO_X можуть бути перетворені та сконцентровані до 50 % мас. азотної кислоти, що дозволяє рециркулювати кислоту в операції з афінажу.

Системи управління
Передовою практикою є підключення скруберної установки до пріоритетного електричного контура, що обслуговується резервним генератором у разі відключення електроенергії.

Крім того, циркуляційний насос змочувальної рідини з кожного резервуару скрубера повинен мати резерв, який включається автоматично у разі несправності насоса. А вентилятор для відведення відхідних газів через систему також повинен мати резервний блок.

Щоб мінімізувати розведення і максимально збільшити час перебування в скруберах, системи подання та управління скруберами пов'язані з автоматизованою системою управління, такою як програмований логічний контролер або розподілена система керування.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання та зменшення викидів у повітря та воду.
- Перероблення/використання відпрацьованих/відновлених змочувальних рідин та інших гідрометалургійних реагентів у вилуговуванні та інших операціях з афінажу дорогоцінних металів. Відпрацьована змочувальна рідина, що використовується для зменшення викидів газоподібного аміаку (водний розчин сульфату амонію), може бути відправлена на установку з очищення відпрацьованих вод, використана на об'єкті як реагент або видалена підрядником (який може використовувати її як побічний продукт для кристалізації в сульфат амонію для використання у якості добрива). Відпрацьована змочувальна рідина зі скруберів NO_X (азотна кислота) може бути перероблятися на об'єкті в операціях з очищення. Відпрацьована змочувальна рідина, що використовується для зменшення кислотних газоподібних викидів, переважно хлориду натрію від нейтралізації соляної кислоти каустичною содою, але містить залишковий луг, деяку кількість гіпохлориту та інші продукти абсорбції відхідних газів, є значним джерелом стічних вод, що спрямовуються на установку з очищення відпрацьованих вод або видаляються з об'єкта ліцензованим підрядником, що виконує роботи з відходами. Підрядник може використовувати рідину як луг/окиснювач у своїх процесах осадження в обробці неблагородних металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На Заводі 221 здійснюється моніторинг викидів аміачних та кислотних скруберів перед викидом в атмосферу через відповідні димові труби.

Таблиця 7.23: Викиди від процесів очищення у скрубері на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 221

Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Отримані значення	Одиниці вимірювання	Метод отримання даних	Тип середнього значення
			мг/нм^3		
Аміачний скрубер (сірчана кислота у якості очисного матеріалу)	NH_3	Максимум	< 1	Періодичний моніторинг (12 разів на рік)	Середнє значення за період відбору проб
Лужний скрубер	NO_X у перерахунку на NO_2	Середнє значення	3,07	Безперервний моніторинг	середнє значення за годину
		95-й процентиль	22,54		
		Максимум	70,71		
	Хлор	Максимум	< 3	Періодичний моніторинг (52 рази на рік)	
	Газоподібні хлориди (у вигляді HCl)	Максимум	< 1,5		
Лужний скрубер	NO_X у перерахунку на NO_2	Середнє значення	0,76	Безперервний моніторинг	
		95-й процентиль	3,69		
		Максимум	25,82		
	Хлор	Максимум	< 3	Періодичний моніторинг (52 рази на рік)	
	Газоподібні хлориди (у вигляді HCl)	Максимум	< 1,5		

Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Завод 1019 повідомив про використання протитечійних кислотних скруберів і середнє значення викидів NH_3 2,72 мг/Нм^3 (повідомлений максимум вище, ніж заявлене гранично допустиме значення). Цей завод також повідомив про середні значення 16,4 мг/Нм^3 для HCl (максимальні значення 50 мг/Нм^3) та середні значення 1,8 мг/Нм^3 для Cl_2 (максимальні значення 5,9 мг/Нм^3) [378, Industrial NGOs 2012].

Завод 1315 спеціалізується на вилученні міді та інших цінних металів з мідного брухту та інших вторинних матеріалів із вмістом міді. Розроблена на цьому заводі технологія виробництва високосортного золота, срібла та платини/паладію з мідного анодного шламу є чисто гідрометалургійним процесом. Викидів у повітря не відбувається.

Будь-який анодний шлам, що виникає, переважно очищається від міді та нікелю шляхом вилуговування в сірчаній кислоті. Цей осад обробляється в реакторах розчину на лініях для срібла та золота. Вибіркова цементація призводить до отримання чистого срібла, чистого золота та на двох інших етапах — цементату паладію/платини та цементату сирого селену. Будь-який срібний і золотий порошок, що виникає, відливається в срібні та золоті гранули в тигельних печах і продається. Цементат паладію/платини та сирий селен продаються як сировина.

Будь-які технологічні стічні води, що виникають на виробничих лініях заводу з виробництва сульфату нікелю, заводу з виробництва дорогоцінних металів та заводу з виробництва оксихлориду, а також лабораторні стічні води очищаються таким чином, щоб безпечно дотримуватися встановлених владою обмежень щодо стічних вод.

Для цього стічні води піддаються процесу двоетапного осадження, у процесі якого сульфіди осаджуються та відокремлюються. Вибір сульфідного осадження обумовлений тим, що сульфіди металів, що утворюються, набагато менш розчинні, ніж, наприклад, відповідні гідроксиди. Стічні води потім нейтралізуються перед скиданням. Установка з очищення стічних вод розрахована на 150 м^3/день стічних вод і працює безперервно 24 години на добу.

Більшість операцій на Заводі 2113 виконуються в закритих ємностях, що призводить до зниження потоку відпрацьованого повітря, яке обробляється в спеціальних скруберах. Відхідні гази реакторів афінажу та пірометалургійних операцій обробляють шляхом лужного очищення. З частини потоку діоксини видаляються шляхом фільтрування з активованим вугіллям.

Таблиця 7.24: Викиди на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 2113

Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Отримані значення	Одиниці вимірювання	Метод отримання даних	Тип середнього значення
			мг/нм^3		
Лужний скрубер (для загального потоку вихлопних газів заводу з афінажу металів платинової групи	NO_X у перерахунку на NO_2	Мінімум	109	Періодичний моніторинг (4 рази на рік)	Середнє значення за період відбору проб
		Середнє значення	193		
		Максимум	254		
	HCl	Мінімум	< 0,04	Періодичний моніторинг (3 рази на рік)	
		Середнє значення	0,52		
		Максимум	1,12		
	Cl_2	Мінімум	< 0,04	Періодичний моніторинг (4 рази на рік)	
		Середнє значення	0,25		
		Максимум	0,45		
Фільтр з активованим вугіллям (для частини потоку)	ПХДД/Ф	Мінімум	0,0046 нг МТЕ/Нм^3	Періодичний моніторинг (3 рази на рік)	
		Середнє значення	0,0056 нг МТЕ/Нм^3		
		Максимум	0,0074 нг МТЕ/Нм^3		
Рукавний фільтр та скрубер (для точки комбінованих викидів заводу з афінажу срібла)	Пил	Мінімум	0,14	Періодичний моніторинг (3 рази на рік)	
		Середнє значення	0,30		
		Максимум	0,45		
	NO_X у перерахунку на NO_2	Мінімум	8	Періодичний моніторинг (4 рази на рік)	
		Середнє значення	35		
		Максимум	60		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

Всі операції та очищення відхідних газів на цьому заводі повністю автоматизовані. Загальний обсяг відхідних газів заводу з афінажу металів платинової групи становить 12 100 Нм^3/год з 90-им процентилем концентрацій 0,98 мг/Нм^3 для соляної кислоти (HCl), 251 мг/Нм^3 для NO_X, 0,43 мг/Нм^3 для хлору (Cl_2) та 0,0069 нг МТЕ/Нм^3 для діоксинів.

Загальний потік відхідних газів заводу з афінажу срібла становить 22 600 Нм^3/год з 90-им процентилем концентрацій 0,42 мг/Нм^3 для пилу і 59 мг/Нм^3 для NO_X.

Завод 113 переважно займається виробництвом солей срібла. Це передбачає розчинення виливків срібла високої чистоти, а також відходів з високим вмістом срібла з дуже специфічних галузей промисловості. Результати моніторингу викидів наведено у Таблиці 7.25.

Таблиця 7.25: Викиди від процесів очищення у скрубері на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 113

Метод усунення забруднення довкілля	Отримані значення	NO_X	Метод отримання даних	Тип середнього значення
		ppm		
Мокрий скрубер та вдування кисню	Мінімум	0,4	Безперервний моніторинг	Щогодинно
	Середнє значення	17		
	Максимум	78		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]				

У Таблиці 7.26 Завод 112 повідомляє про викиди для комбінованого афінажу золота та металів платинової групи та комбінованого афінажу срібла та металів платинової групи.

Таблиця 7.26: Викиди від процесів очищення у скрубері на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 112

Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Отримані значення	Одиниці вимірювання	Метод отримання даних	Тип середнього значення
			мг/нм^3		
Лужний скрубер (6 колон з лужним розчином та перекисом водню) для точки комбінованих викидів з заводу афінажу золота та металів платинової групи	NO_X у перерахунку на NO_2	Середнє значення	138	Періодичний моніторинг (11 разів на рік)	Середнє значення за період відбору проб
	HCl	Середнє значення	0,1		
		Максимум	2,0		
	Cl_2	Середнє значення	0,1		
		Максимум	2,0		
	SO_X	Середнє значення	0,1		
		Максимум	2,0		
Лужний скрубер (чотири камери, три з азотною кислотою й одна з лужним розчином) для точки комбінованих викидів з заводу афінажу срібла та металів платинової групи	NO_X у перерахунку на NO_2	Середнє значення	60	Періодичний моніторинг (10 разів на рік)	
	HCl	Середнє значення	6,0		
		Максимум	11,8		
	Cl_2	Середнє значення	0,9		
		Максимум	2,4		
	SO_X	Середнє значення	0,6		
		Максимум	0,9		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

Вплив на різні компоненти довкілля
- Необхідні реагенти та інша сировина (наприклад, каустична сода) як очисний матеріал; проте, деякі з цих сировинних матеріалів можуть бути вилучені з процесів на об'єкті, що призводить до виробництва певних кислотних та лужних розчинів і, отже, скорочення або мінімізації використання замість них свіжих реагентів.
- Збільшення споживання енергії для роботи скруберів та систем витяжки/вентиляції та управління.
- Збільшення використання води для миття ємностей, резервуарів та іншого реакційного обладнання після використання.
- Утворення стічних вод, що містять технологічні стоки, розливи та відпрацьовані змочувальні рідини.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Описані технології застосовуються для нових установок, але вимагають капітальної модернізації наявних установок.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Основним стимулом до впровадження є запобігання та зменшення викидів відповідно до вимог законодавства, а також мінімізація втрат цінних (дорогоцінних) металів, а також збереження та відновлення сировини, що містить дорогоцінні та інші цінні метали.

Приклади заводів
- Заходи уловлювання: Заводи 113, 205, 221, 2113 та інші.
- Скрубер із сірчаною кислотою: Заводи 221, 318, 13515, 2113 та інші.
- Лужний скрубер: Заводи 112, 113, 205, 221, 318, 2113 та інші.

- Скрубер NO_X: Заводи 113, 205, 221, 318, 2113 та інші.

Довідкова література
[404, EPMF 2012]

7.3.6 Технології запобігання та скорочення викидів від операцій спалювання, обпалювання та сушіння дорогоцінних металів

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Підключення всіх печей для обпалювання, установок для спалювання та сушильних печей до системи повітропроводів, що відводять технологічні вихлопні гази.
- Водне очищення з подальшим каустичним (лужним) очищенням (див. Розділ 2.12.5.2.2). Водне очищення може використовуватися для поглинання таких газів, як пари соляної кислоти, хлорид амонію і хлор. Каустичне (лужне) очищення може бути додане для обробки газового потоку, недостатньо очищеного шляхом водного очищення.
- Системи управління, такі як підключення всієї скруберної установки до пріоритетного електричного контура, що обслуговується резервним генератором у разі відключення електроенергії, управління запусками та зупинками, утилізація відпрацьованої кислоти та підживлення скруберів свіжою кислотою за допомогою автоматизованої системи управління.
- Допалювач (див. Розділ 2.12.5.2.1), циклон (див. Розділ 2.12.5.1.3), газоохолоджувач, рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4) та адсорбер з активованим вугіллям (див. Розділ 2.12.5.5).

Технічний опис
Однією з найбільш екологічно значущих операцій в обробці дорогоцінних металів щодо газоподібних викидів є обпалювання чистих солей і нечистих до металів, і особливо солей (платини, рутенію та іридію), продуктами розкладання яких є пари соляної кислоти, хлорид амонію та хлор. Крім того, ці гази утворюються за високих температур (близько 350–900 ºC), що створює додаткові труднощі у поводженні з ними та їх очищенні. Таким чином, печі для обпалювання «чистих солей» зазвичай підключені до спеціального скрубера «чистих солей», а гази з цього скрубера прямують у спеціальний каустичний (лужний) скрубер. Скрубер «чистих солей» передбачає два етапи очищення водою для швидкого охолодження газів та поглинання хлориду амонію та соляної кислоти; тоді як хлор та будь-яка залишкова кислота, не очищена водою, ефективно очищається в наступному лужному скрубері.

Аналогічна скруберна установка призначена для обробки вихлопних газів з печей для обпалювання, установок для спалювання та сушильних печей для «забруднених солей», де передбачені подібні температури. Газоподібні продукти цих операцій зазвичай значно менш значущі, ніж продукти згорання солі платини, але передбачають низькі концентрації соляної кислоти та, можливо, сліди інших кислих газів, таких як сірчистий, діоксид селену та NO_X. Як і у роботі з «чистими солями», відхідні гази зі скрубера «забруднених солей», проводяться через лужний скрубер перед викидом в атмосферу через димову трубу.

Ефективність скрубера для цих установок із «чистими солями» та «забрудненими солями» може становити > 99 % до лужного скрубера. Звичайною практикою є підключення всієї скруберної установки до пріоритетного електричного контура, що обслуговується резервним генератором у разі відключення електроенергії.

Нормальний режим експлуатації, що передбачає запуск та зупинку, утилізацію відпрацьованої кислоти та підживлення свіжою кислотою, підтримується за допомогою автоматизованої системи управління (програмований логічний контролер або розподілена система керування). Всі параметри технологічного процесу передаються на місцеву панель управління та в центральну диспетчерську кімнату, де це можливо.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів у повітря.

- Рециркуляція відновленої кислоти; відпрацьована змочувальна рідина зі скруберних установок «чистих солей» і «забруднених солей» (розведена соляна кислота) рециркулюється і використовується як підживлювальна кислота в інших операціях з очищення, у тому числі на установці з очищення відпрацьованого лугу та стічних вод.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Гази зі скруберних установок «чистих солей» і «забруднених солей» на Заводі 221 подаються в лужний скрубер перед викидом в атмосферу. Дані про типові викиди наведено у Розділі 7.3.5.

Завод 112 повідомив дані про спалювання сміття від підмітання. Для зменшення вмісту ПАВ та особливо ПХДД/Ф використовувався допалювач. Перед надходженням у рукавний фільтр вихлопні гази необхідно було охолодити, щоб не перевищити граничну температуру тканини. Останнім етапом очищення є адсорбер з активованим вугіллям для видалення ртуті та останніх слідів ПХДД/Ф.

Таблиця 7.27: Викиди від спалювання сміття від підмітання на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 112

	Метод усунення забруднення довкілля	Потік	Забруднювальна речовина	Значення	Одиниці вимірювання	Метод отримання даних	Тип середнього значення
		$Нм^3$/год			мг/$нм^3$		
Завод 112	Допалювач, циклон, газоохолоджувач, рукавний фільтр, адсорбер з активованим вугіллям	3983	Пил	Мінімум	0,10	Періодичний моніторинг (18 разів на рік)	За період відбору проб
				Середнє значення	0,60		
				Максимум	1,95		
			SO_2	Мінімум	0,462		
				Середнє значення	2,3		
				Максимум	7,1		
			HCl	Мінімум	0,46		
				Середнє значення	1,29		
				Максимум	3,60		
			HF	Мінімум	< 0,5		
				Середнє значення	0,53		
				Максимум	< 0,6		
			ПАВ	Мінімум	< 0,00002		
				Середнє значення	< 0,00002		
				Максимум	< 0,00002		
			ПХДД/Ф	Мінімум	0,028 нг МТЕ/$Нм^3$	Періодичний моніторинг (3 рази на рік)	
				Середнє значення	0,059 нг МТЕ/$Нм^3$		
				Максимум	0,083 нг МТЕ/$Нм^3$		
			NO_X	Мінімум	104	Безперервний моніторинг	За пів години
				Середнє значення	202		
				Максимум	435		
			CO	Мінімум	6		
				Середнє значення	15		
				Максимум	15		
			Загальний C	Мінімум	< 2		
				Середнє значення	< 5		
				Максимум	< 5		
			Cd	Мінімум	0,0001	Періодичний моніторинг (18 разів на рік)	За період відбору проб
				Середнє значення	0,0004		
				Максимум	0,0017		
			Tl	Мінімум	0,0005		
				Середнє значення	0,0009		
				Максимум	0,0012		
			Hg	Мінімум	0,0016		
				Середнє значення	0,0028		
				Максимум	0,0037		
			Sb	Мінімум	0,0016		
				Середнє значення	0,0028		
				Максимум	0,0037		
			As	Мінімум	0,0005		
				Середнє значення	0,0009		

				Максимум	0,0012		
			Pb	Мінімум	0,0011		
				Середнє значення	0,0023		
				Максимум	0,0048		
			Cr	Мінімум	0,0022		
				Середнє значення	0,0041		
				Максимум	0,0069		
			Co	Мінімум	0,0002		
				Середнє значення	0,0004		
				Максимум	0,0005		
			Cu	Мінімум	0,0033		
				Середнє значення	0,0116		
				Максимум	0,0273		
			Mn	Мінімум	0,0022		
				Середнє значення	0,0067		
				Максимум	0,0202		
			Ni	Мінімум	0,0022		
				Середнє значення	0,0038		
				Максимум	0,0049		
			V	Мінімум	0,0005		
				Середнє значення	0,0009		
				Максимум	0,0012		
			Sn	Мінімум	0,0044		
				Середнє значення	0,0074		
				Максимум	0,0098		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Завод 102 повідомив дані щодо своєї установки для спалювання відпрацьованого каталізатора, як показано в Таблиці 7.28.

Таблиця 7.28: Викиди від спалювання відпрацьованого каталізатора на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 102

	Метод усунення забруднення довкілля	Потік $Нм^3$/год	Забруднювальна речовина	Отримані значення	Одиниці вимірювання мг/$нм^3$	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Завод 102	Рукавний фільтр		Пил	Середнє значення	9,2	Безперервний моніторинг	Середньодобове значення
	Лужний скрубер		NO_X	Максимум	88,1	Безперервний моніторинг	
			Ag	Середнє значення	0,14	Періодичний моніторинг	Середнє значення за період відбору проб
	Допалювач		ЗЛОС	Максимум	11,4	Безперервний моніторинг	Середньодобове значення
			CO	Максимум	67,5		
			ПХДД/Ф	Середнє значення	0,0008 нг Нг МТЕ/$Нм^3$	Періодичний моніторинг (двічі на рік)	Середнє значення за період відбору проб

Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля

- Необхідні реагенти та інша сировина (наприклад, каустична сода) як очисний матеріал; проте, деякі з цих сировинних матеріалів можуть бути вилучені з процесів на об'єкті, що призводить до виробництва певних кислотних та лужних розчинів і, отже, скорочення або мінімізації використання замість них свіжих реагентів.
- Збільшення споживання енергії для роботи витяжної системи, системи скрубера та системи управління.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Цей тип мокрого скрубера застосовується для нових установок та для капітально модернізованих наявних установок.

Економічні аспекти

Інформацію не надано.

Стимул до впровадження

- Зменшення викидів.
- Вимоги екологічних норм.
- Мінімізувати втрату цінних (дорогоцінних) металів, а також зберегти та відновити сировину, що містить дорогоцінні метали та інші цінні метали.

Приклади заводів

Заводи 102, 112, 121, 205, 221, 318 та інші.

Довідкова література

[378, Industrial NGOs 2012]

7.3.7 Технології запобігання, обробки та випускання або відновлення відпрацьованих розчинів операцій з афінажу дорогоцінних металів

Опис

Технології запобігання та обробки відпрацьованих розчинів перед випусканням або відновленням передбачають:

- спеціальні обваловані резервуари для зберігання кінцевих розчинів;
- хімічне відновлення або відновлення металів, осадження або гідроліз для обробки кінцевих лугів;
- система скруберу, що містить сірчану або соляну кислоту (можна рецеркулювати хлорид амонію в процес очищення для більш стійкого функціонування) (див. Розділ 2.12.5.2.2);
- іонообмінна колона, що містить очисну хелатну смолу для вилучення слідів розчинних (дорогоцінних) металів в отриманому розчині;
- для реакцій, що утворюють водень, розведення великими обсягами повітря, щоб уникнути утворення вибухонебезпечних сумішей;
- використання екстратонких фільтрів-свічок для (повторного) фільтрування реакційних фільтратів перед їх переміщенням у резервуар для зберігання.

Технічний опис

Заводи з афінажу дорогоцінних металів прагнуть мінімізувати будь-які викиди металів у каналізаційну систему та інші водотоки. Тому система управління стічними водами збирає стоки від технологічних процесів, технологічних розливів, технічного обслуговування тощо. Технологічні кінцеві розчини перед очищенням зберігаються у спеціальних резервуарах для зберігання. Всі ці резервуари обваловані, тому будь-який витік або розлив можуть бути усунені без ризику потрапляння у довкілля. Кінцеві розчини процесу зазвичай обробляються комбінацією хімічного відновлення/відновлення металів, хімічного осадження та/або гідролізу або іонного обміну. Деякі розчини, наприклад потоки стічних вод, що містять аміак, розділяються для видалення аміаку перед відновлювальною цементацією та обробкою хімічним осадженням для видалення насичених аміаком комплексних речовин з розчину. У деяких випадках ці розчини можуть бути скинуті безпосередньо в каналізацію, якщо результати аналізу розчину знаходиться в межах, встановлених місцевим регулювальним органом. У деяких випадках розчин, що скидається в каналізацію, також пропускають через іонообмінну колону, що містить очисну хелатну смолу, яка вилучає останні сліди розчинного срібла та інших дорогоцінних металів. Після виснаження іонообмінна смола переробляється для вилучення срібла та дорогоцінних металів.

На заводах з афінажу дорогоцінних металів повинні бути передбачені процедури, що дозволяють керівному складу перевіряти та підписувати аналітичні дані перед скиданням будь-якого розчину в каналізацію або інший водостік (наприклад, морський естуарій). Якщо результати аналізу відпрацьованого розчину перевищують обмеження щодо скидання, він піддається повторній обробці. Остаточна перевірка стічних вод, що скидаються в каналізацію, які зазвичай являють собою суміш технологічних розчинів, котлової води, охолоджувальної води та дощової води, здійснюється безпосередньо перед їх надходженням в каналізацію загального користування або інший водостік. Крім постійного моніторингу pH рідини, постійно відбираються проби стічних вод з використанням спеціального обладнання, що дозволяє отримати складену пробу. Ця складена проба зазвичай щодня аналізується на вміст металів, щоб переконатися у дотриманні умов щодо скидання.

Для тих розчинів, що обробляються шляхом хімічного відновлення/відновлення металів, електрохімічного відновлення, хімічного осадження або гідролізу та іонного обміну (або комбінацією цих процесів), відповідна партія передається в змішувальний резервуар, де відбирається та аналізується її проба, а її кислотність регулюється в залежності від ситуації (з використанням соляної кислоти або розчину каустичної соди). У деяких випадках вихідний лужний розчин переганяють з водяною парою для видалення аміаку перед процесом очищення, а газоподібний аміак збирають у спеціальному аміачному скрубері (див. Розділ 7.3.5). Змішаний розчин потім передається у резервуар-змішувач та обробляють відповідним методом. Коли розчин обробляється металевим залізом (часто використовується перероблений залізний брухт, коли він доступний), цинком або хімічним

відновником, він відновлює дорогоцінні метали та неблагородний метал з розчину у вигляді «залишку відновлення». В результаті відновлення залізом і цинком утворюється водень, і щоб виключити ризик утворення вибухонебезпечних сумішей водню з повітрям, великі обсяги повітря проходять через поверхню цих реакцій і неочищеними викидаються через димові труби. Ретельний контроль кислотності та температури не тільки контролює утворення водню, а й забезпечує мінімальне виділення хлороводню в повітря.

Після закінчення процесу очищення (відсутність дорогоцінних металів у розчині) отриману суміш фільтрують. Залишок рециркулюють в операцію з афінажу або шляхом прямої гідрометалургійної обробки, або, у випадку нижчого вмісту, в шляхом обпалювання та плавки. Фільтрат без вмісту дорогоцінних металів, який є найбільш значним джерелом стічних вод, що утворюються на афінажному заводі, повторно фільтрується через серію екстратонких фільтрів-свічок і передається в резервуар для зберігання. Потім розчин перемішують, відбирають проби та аналізують на вміст дорогоцінних металів, неблагородних металів та аміаку/амонію. Якщо розчини не відповідають критеріям скидання, вони зазвичай збираються ліцензованим підрядником з використанням автоцистерн і доставляються на об'єкт для обробки. Підрядник змішує розчини афінажу з розчинами з інших промислових джерел і осаджує їх для отримання інертного осаду у фільтрі, який утилізується на майданчик для захоронення. У деяких державах-членах ЄС захоронення не є загальноприйнятою практикою і залишки необхідно повторно обробляти для вилучення будь-яких неблагородних металів.

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення викидів у воду.
- Максимальне перероблення залишків дорогоцінних металів та неблагородних металів, що повертаються в операції з очищення, і одночасне забезпечення відсутності неконтрольованих викидів технологічних розчинів у дренажні системи, ґрунт або інші водостоки.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Скидання в каналізацію із Заводу 221 (див. опис Заводу 221 у Розділах 7.3.1, 7.3.2, 7.3.5 та 7.3.6) показано в Таблиці 7.29. pH розчину повинен бути в діапазоні від 6 до 11, зазвичай становить близько 9. Обсяги скидання зазвичай становлять 40 $м^3$/добу. Установка очищення стічних вод, що приймає цей розчин, має максимальний добовий об'єм скидання 1 344 000 $м^3$/добу.

Таблиця 7.29: Викиди у воду на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 221

Метод усунення забруднення довкілля	Метал	Концентрація	Метод отримання даних	Тип середнього значення
		мкг/л		
Гідроліз з подальшим осадженням, фільтруванням та іонним обміном, потім змішування з котловою водою, охолоджувальною водою та дощовою водою тощо перед скиданням у дренажну систему/каналізацію	Миш'як	4,0	Одноразовий комплексний відбір проб	Середньодобове значення
	Кадмій	< 10		
	Хром	< 100		
	Мідь	175		
	Свинець	< 1000		
	Ртуть	0,050		
	Нікель	< 1000		
	Срібло	500		
	Цинк	325		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]				

Кінцевий фільтрат обробляється ліцензованим підрядником (на захоронення), і типова концентрація металів в ньому буде такою, як зазначено в Таблиці 7.30.

Таблиця 7.30: Концентрація кінцевого фільтрату, отриманого на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 221

Метал	Концентрація
	мкг/л
Миш'як	25
Мідь	475
Свинець	200
Нікель	140
Залізо	2000
Цинк	600
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]	

Обсяги знаходяться у межах 15–40 м^3 на добу.

Завод 113 переважно займається виробництвом солей срібла. Це передбачає розчинення виливків срібла високої чистоти, а також відходів з високим вмістом срібла з дуже специфічних галузей промисловості. Викиди у воду продемонстровані у Таблиці 7.31.

Таблиця 7.31: Викиди у воду на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 113

Метод усунення забруднення довкілля	Метал	Концентрація мг/л		Метод отримання даних	Тип середнього значення
		У середньому	Макс.		
Відстійники, реакції осадження та відновлення, регулювання рівня pH	Срібло	0,363	2	Одноразовий комплексний відбір проб	Середньодобове значення
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

На Заводі 117 відпрацьований електроліт від електролізу срібла спочатку цементується мідним порошком. Залишкове срібло у виробництві золота осаджується у вигляді хлориду срібла, а потім цементується залізним пилом. Після фільтрування обидва розчини збираються в резервуари, куди також спрямовується фільтрат від фільтрування селену. Потім змішані стічні води нейтралізуються вапняним молоком на місцевій установці з очищення відпрацьованих вод. Після фільтрування шлам повертається на об'єкт на мідеплавильний завод, а відфільтрований розчин скидається в каналізацію для кислих стічних вод мідеплавильного заводу для остаточної нейтралізації та коагуляції, а потім скидається в річку.

Таблиця 7.32: Викиди у воду на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 117

Метод усунення забруднення довкілля	Метал	Концентрація після місцевої попередньої обробки мг/л			Концентрація після остаточної обробки перед скиданням мг/л		
		Мінімум	Середнє значення	Максимум	Мінімум	Середнє значення	Максимум
Попередня обробка вапняним молоком	Cu	< 1	< 1	6	0,024	0,031	0,357
	Ag	< 5	< 5	< 5	< 0,02	< 0,02	< 0,02
	As	1	21,35	88	0,003	0,022	0,098
	Pb	< 1	< 1	6	0,071	0,148	0,22
	Se	1	22,25	202	НД	НД	НД
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 7.33: Викиди у воду на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 1019

Метод усунення забруднення довкілля	Метал	Концентрація мг/л			Метод отримання даних	Тип середнього значення
		Мінімум	Середнє значення	Максимум		
Цементація залізом або відновлення гідразином та фільтрування розчинів металів платинової групи, регулювання pH за допомогою вапна та фільтрування (прес)	Миш'як	0	0	0,11	Одноразовий комплексний відбір проб	Середньодобове значення
	Кадмій	0	0	0		
	Хром	0	0	0,06		
	Мідь	0	0,04	0,31		
	Свинець	0	0	0,05		
	Ртуть	0,0002	0,0003	0,0008		У середньому за тиждень
	Нікель	0	0,08	0,46		Середньодобове значення
	Срібло	0	0,01	0,09		
	Цинк	0	0,01	0,28		
	Талій	0,0001	0,0001	0,00015		
	Кобальт	0	0	0,01		
	Олово	0	0	0,17		
	Ванадій	0	0	0,12		
	Вісмут	0	0,01	0,18		
	Платина	0	0	0,19		
	Рутеній	0	0	0,07		
	Іридій	0	0,01	0,18		
	Золото	0	0	0,09		
	Селен	0	0	0,17		
	Залізо	0	0,27	3,54		
	Cl^-	0	5850	НЗ		
	NH_3	0	4	48		
	ХСК	190	595	1300		У середньому за тиждень
	SO_4	30	140	700		
	Завислі тверді речовини	20	82	270		
	Сульфіди	< 1	< 1	< 1		

Примітка: НХ = Не характерно
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Попередньо оброблені стічні води заводу з виробництва дорогоцінних металів скидаються у каналізацію для кислих стічних вод мідеплавильного заводу. Об'єднаний потік стічних вод заводу з виробництва дорогоцінних металів та мідеплавильного заводу у каналізації прямує на центральну установку з очищення відпрацьованих вод мідеплавильного заводу, де після нейтралізації та коагуляції скидається у річку. Попередньо оброблені стічні води від заводів з виробництва дорогоцінних металів становлять близько 2 % потоку кислих стічних вод, що спрямовуються на установку з очищення відпрацьованих вод.

Таблиця 7.34: Викиди у воду на Заводі з виробництва дорогоцінних металів 205

Метод усунення забруднення довкілля	Метал	Концентрація мг/л			Метод отримання даних	Тип середнього значення
		Мінімум	Середнє значення	Максимум		
Додавання порошку Zn та фільтрація зі смолами (для стічних вод від афінажу Au) Додавання вапняного молока, фільтрування у фільтрпресі та нейтралізація HCl (для всіх стічних вод, що підлягають очищенню)	Миш'як	< 0,005	< 0,005	< 0,005	Одноразовий комплексний відбір проб	Середньодобове значення
	Кадмій	0,05	0,05	0,05		
	Хром	< 0,3	< 0,3	< 0,3		
	Мідь	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
	Свинець	< 0,25	< 0,25	0,25		
	Нікель	< 0,2	< 0,2	< 0,2		
	Цинк	< 0,3	< 0,3	< 0,3		
	Олово	< 1	< 1	< 1		
	Залізо	< 0,2	< 0,2	< 0,2		
	Адсорбовані органічні галогени	0,1	0,12	0,15		
Джерело: [404, EPMF 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля
- Необхідні реагенти та інша сировина (наприклад, каустична сода, смола) для вилучення металів; проте, деякі з цих сировинних матеріалів можуть бути вилучені з процесів на об'єкті, що призводить до виробництва певних кислотних та лужних розчинів і, отже, скорочення або мінімізації використання замість них свіжих реагентів.
- Збільшення споживання енергії для роботи систем скрубера, контролю та управління.
- Утворення потоків відходів, які потрапляють у каналізацію або піддаються захороненню.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Описані технології застосовні для нових установок, але вимагають капітальної модернізації наявних установок за умови наявності місця в зонах обробки стічних вод.

Проблеми з надійністю можуть вплинути на іонний обмін та екстратонку фільтрацію (наприклад, мембрани) зі стічними водами деяких об'єктів. Випробування показують, що смоли можуть бути отруєні розчиненими речовинами, які є побічним продуктом процесу, і будь-яка обробка після осадження вапном/лугом страждатиме від утворення накипу, що робить ці технології непридатними в кінці процесу.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Запобігання та зменшення викидів пилу.
- Мінімізувати втрату цінних (дорогоцінних) металів, а також зберегти та відновити сировину, що містить дорогоцінні метали та інші цінні метали.

Приклади заводів
Заводи 112, 113, 117, 205, 221, 1019, 318 та інші.

Довідкова література
[404, EPMF 2012]

7.3.8 Технології запобігання та скорочення викидів від плавлення кінцевих металевих продуктів у процесі афінажу дорогоцінних металів

Опис
Технології, які слід розглянути:

- закрита піч із негативним тиском (див. Розділ 2.12.4);
- відповідні корпуси, покриття, ковпаки-уловлювачі з ефективною витяжкою/вентиляцією (див. Розділ 2.12.4);
- рукавні фільтри (див. Розділ 2.12.5.1.4).

На деяких об'єктах, залежно від розміру та загальної організації (наприклад, окремі або поєднані з іншими операціями з рафінування металів), вилучення та обробка пилу, що утворюється в результаті операцій попередньої обробки та поводження, виконуються таким чином, що пил (та дим), що утворюється у процесі виплавки та інших операцій, що утворюють пил, централізовано уловлюються, обробляються та контролюються. Це пояснює схожість між технологіями, описаними у Розділах 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3 та 7.3.8.

Технічний опис
Плавлення кінцевих продуктів, таких як кристали срібла, золоті катоди та осади золота, відбувається у невеликих плавильних печах періодичної дії. Можна використовувати електричні індукційні печі або печі, що працюють на газі/рідкому паливі. Розплавлений метал відливається у різні форми (прутки, виливки) або гранулюється. Індукційні печі мінімізують утворення газоподібних продуктів згорання та зменшують пов'язані з цим розміри установок з очищення.

Вихлопні гази плавильної печі та вентиляційні гази охолоджуються та очищуються від пилу у рукавних/касетних мікрофільтрах.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання та зменшення викидів пилу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На Заводі 121 для плавки кристалів срібла використовується піч, що нагрівається природним газом. Срібло гранулюють або відливають у срібні виливки. Індукційна піч використовується для плавлення золотого катода або осаду золота. Золото відливається у виливки різної ваги. Також відбувається лиття анодів для електролізу золота. Печі закриті. Зона лиття знаходиться під ковпаком-уловлювачем. Відхідні та вторинні гази очищаються у рукавних/касетних мікрофільтрах. Швидкість потоку відхідних газів складає до 4000 $Нм^3$/год; вимірювання проводяться один раз на рік (три 30-хвилинні вимірювання), а виміряні рівні вмісту пилу нижче 1 $мг/Нм^3$.

На Заводі 2426 процес Small Pan, який використовується для остаточного очищення, може також використовуватися для переплавлення продукту, що не відповідає специфікації (наприклад, продукту, який був відхилений через фізичні властивості, що не відповідають специфікації). Переплавлений матеріал зазвичай складається зі срібних прутків. Ефективність рукавного фільтра складає > 99,99 %, а потужність — 160 000 $м^3$/год, що обслуговує усі процеси срібного циклу.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії для роботи витяжної системи, вентиляції та системи знепилення.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти

Стимул до впровадження
- Запобігання та зменшення викидів пилу.

- Мінімізувати втрату цінних (дорогоцінних) металів, а також зберегти та відновити сировину, що містить дорогоцінні метали та інші цінні метали.

Приклади заводів
Заводи 112, 117, 121, 221, 318, 2113, 2426 та інші.

Довідкова література
[404, EPMF 2012]

7.4 Перспективні технології

Процес J не використовується в Європі, але може працювати з меншими запасами золота, ніж інші процеси афінажу золота. Він використовує розчин йоду, що регенерується, для розчинення нечистого золота (< 99,5 %). Золото відновлюють гідроксидом калію, відокремлюють, промивають і висушують до порошку, що містить 99,995 % золота. Розчин з етапу відновлення подається в електролітичну камеру, де розчинні домішки та будь-який невідновлений йодид золота осідають на катоді та видаляються для відновлення в циклі дорогоцінних металів. Потім розчин передається в електролітичну камеру з діафрагмою, оснащену інертними електродами. Розчин йоду, отриманий в анодному відділенні, та розчин КОН, отриманий в катодному відділенні, піддаються переробці[5, B R Lerwill et al. 1993].

Було розроблено процес обробки піритного концентрату, що містить мікроскопічні частки золота (< 1 мкм), для отримання золота Доре, свинцево-срібного концентрату та цинкового концентрату [210, Greek State 1999]. Схема металургійного процесу показана на Рисунку 7.4.

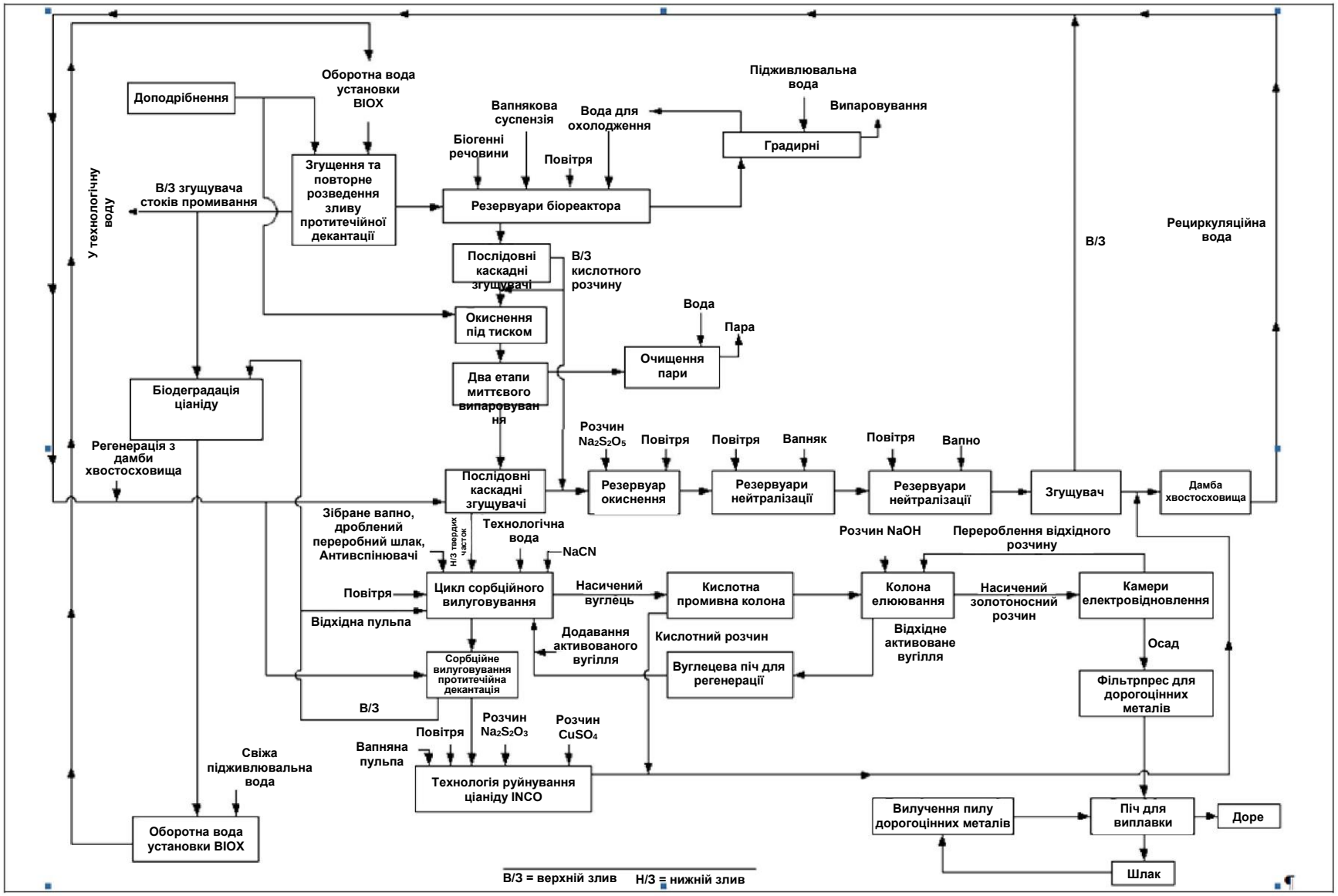


Рисунок 7.4: Схема металургійного процесу

8 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСПЛАВІВ

Феросплави переважно використовуються як лігатури у чорній металургії, ливарній та сталеливарній промисловості, оскільки це найбільш економічний спосіб введення легувального елемента в розплав сталі. Крім того, спеціальні феросплави також необхідні для виробництва алюмінієвих сплавів і як вихідний матеріал у певних хімічних реакціях.

Як добавка у виробництві сталі феросплави покращують властивості, особливо границю міцності, зносостійкість та корозійну стійкість. Ефект покращення властивостей сталі внаслідок використання феросплавів як легувального елемента більшою чи меншою мірою залежить від наступних факторів впливу [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]:

- зміна хімічного складу сталі;
- видалення або обмежування шкідливих домішок, таких як кисень, азот, сірка або водень;
- зміна характеру затвердіння, наприклад, у разі інокуляції.

Залежно від використовуваної сировини (первинна або вторинна сировина) виробництво феросплавів може здійснюватися як первинний чи вторинний процес. Основну хімічну схему обох процесів можна показати наступним чином:

Первинні процеси:
Оксидна металева руда + залізна руда/брухт + відновник -> феросплав + відновник оксид + шлак

Вторинні процеси:
Металобрухт + залізний брухт → феросплав

Первинні феросплави в основному виробляють або карботермічним, або металотермічним способом відновлення окиснених руд або концентратів. Найбільш важливим процесом є карботермічне відновлення, у якому у якості відновника зазвичай використовується вуглець у формі коксу (металургійний кокс), вугілля або деревного вугілля. У разі використання доменної печі кокс також необхідний як джерело енергії. [255, VDI 2010].

Металотермічне відновлення переважно здійснюють з кремнієм або алюмінієм у якості відновника. Наступні хімічні рівняння показують основні принципи карботермічного та металотермічного способів виробництва.

Карботермічне відновлення: оксид металу + вуглець → метал + чадний газ

Силікотермічне відновлення: оксид металу + кремній → метал + оксид кремнію

Алюмінотермічне відновлення: оксид металу + алюміній → метал + оксид алюмінію

8.1 Прикладні процеси та технології

Залежно від рівня виробництва феросплави можна розділити на дві основні категорії: сплави масового застосування та спеціальні сплави. Феросплави масового застосування (ферохром, феросиліцій, феромарганець, силікомарганець та феронікель) становлять близько 90 % від загального обсягу виробництва феросплавів у Європейському Союзі.

Порівняно з феросплавами масового застосування, рівень виробництва спеціальних феросплавів невисокий. Спеціальні феросплави (феровanадій, феромолібден, феровольфрам, феротитан, феробор і фероніобій) переважно використовуються в чорній металургії. Крім того, деякі спеціальні феросплави все частіше використовуються і в інших галузях промисловості, наприклад, алюмінієвій та хімічній промисловості.

8.1.1 Ферохром

Ферохром, поряд з нікелем (феронікелем), є основним легувальним елементом у виробництві неіржавкої сталі. Неіржавка сталь використовується у різних галузях, від столових приборів до лопаток турбін авіаційних двигунів.

Вміст хрому у ферохромі зазвичай коливається від 45 до 75 %, і він також містить різні кількості заліза, вуглецю та інших легувальних елементів. Застосування ферохрому переважно залежить від вмісту вуглецю. Отже, ферохром можна класифікувати таким чином:

- високовуглецевий ферохром (HC FeCr) із вмістом 2–12 % (ферохром карбюре);
- середньовуглецевий ферохром (MC FeCr) із вмістом 0,5–4 % (ферохром Affiné);
- низьковуглецевий ферохром (LC FeCr) із вмістом 0,01–0,5 % (ферохром сурафин).

8.1.1.1 Сировина

Основною сировиною для виробництва ферохрому є хромітова руда, що є мінералом, що містить оксиди заліза і хрому. Співвідношення між Cr і Fe у хромітовій руді визначає вміст хрому в отриманому сплаві, наприклад, високе співвідношення Cr до Fe є сприятливим для виробництва феросплаву з високим вмістом хрому. Хромітова руда використовується у вигляді твердих або збагачених шматків, крихких шматків або дрібнозернистого концентрату.

Відновлюваність різних руд дуже відрізняється. Взагалі кажучи, для виробництва FeCr руди лінзоподібного типу мають вищу якість, що призводить до отримання сплаву з високим вмістом Cr, тоді як руди стратиформного типу мають нижчий вміст хроміту і низьке відношення Cr до Fe, що призводить до отримання передільного ферохромного сплаву. Тому руди лінзоподібного типу найчастіше дають вилучення хрому понад 90 %, тоді як для дрібнозернистих руд стратиформного типу вилучення становить менше ніж 70 % за звичайних способів виробництва. Це стосується руд з Південної Африки. Повідомляється, що при плазмовому процесі постійного струму вилучення перевищує 90 %. Це компенсує вище споживання електроенергії, необхідне для підвищення температури технологічного процесу для досягнення швидшого відновлення. У широко застосовуваній технології спечених котунів (подрібнення, гранулювання та спікання) підвищений ступінь подрібнення дрібнозернистих руд стратиформного типу заснований на збільшенні поверхні реакції, при цьому ступінь вилучення для котунів близький до 87 %. Для руд подіформного типу переваги вилучення цих альтернативних технологічних маршрутів не будуть такими ж.

Залежно від різних виробничих маршрутів та необхідного вмісту вуглецю у ферохромі, у якості відновника використовується вуглець або кремній [255, VDI 2010]. Для виробництва HC FeCr у процес у якості відновника додають вуглець у вигляді металургійного коксу, вугілля або деревного вугілля. Металургійний кокс є найпоширенішим відновником. Важливо використовувати кокс із низьким вмістом фосфору та сірки, оскільки в метал передається 60–90 % фосфору та 15–35 % сірки. Для виробництва LC FeCr феросилікохром

і феросиліцій використовуються у силікотермічному відновленні як відновник та сировина. Для досягнення достатньої чистоти відновника (переважно вугілля) може бути забезпечений етап промивання вугілля. Це може бути зроблено шляхом розділення у важкому середовищі і відбувається у вугільних шахтах або пунктах утилізації вугілля, але не на заводі з виробництва феросплавів.

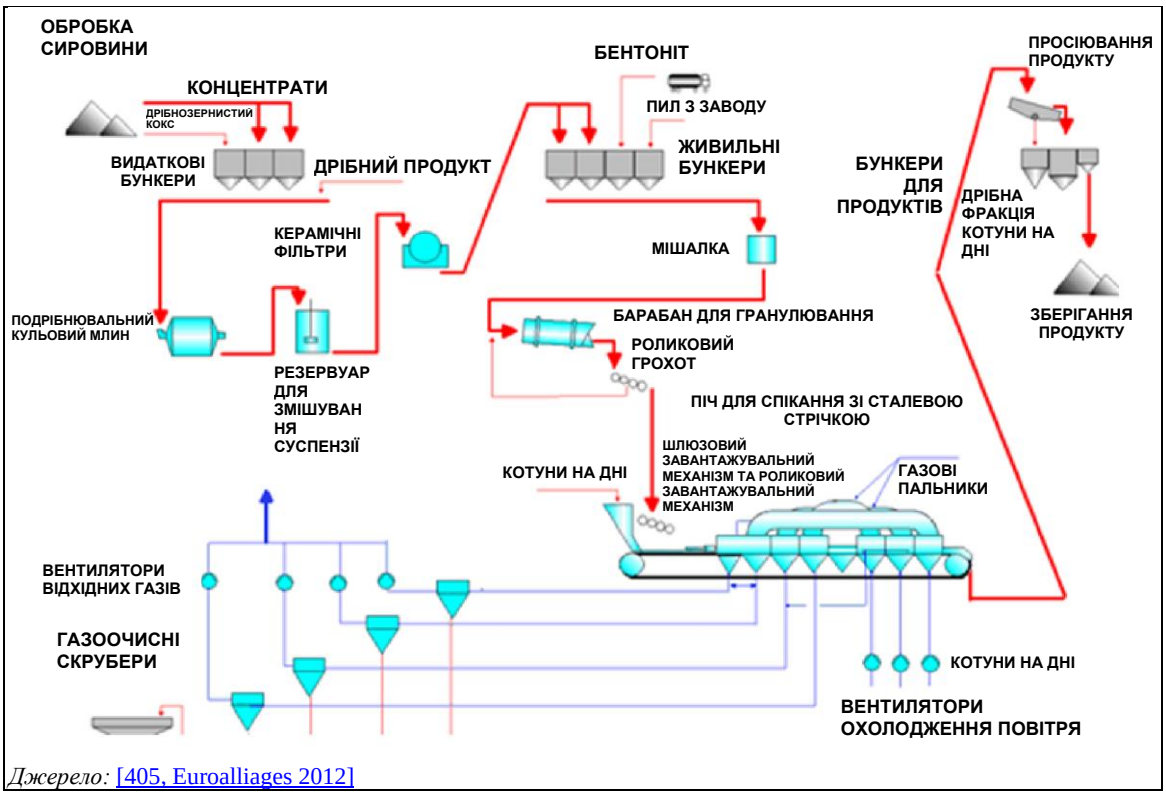
Для деяких процесів первинну сировину, таку як кокс, або вторинну сировину необхідно висушити перед використанням у процесі. У деяких випадках сушіння коксу важливе для видалення вологи, залежно від клімату, снігу та льоду.

Для досягнення правильного хімічного складу металу, належного вилучення металу та задовільної роботи печі в шихту як флюс можуть бути додані допоміжні матеріали, такі як кварцит, боксит, корунд, вапно та олівін.

8.1.1.2 Технології попередньої обробки

Хроміт використовується як сировина для виробництва ферохрому у вигляді шматкової руди, дрібнодисперсної фракції та концентратів, хоча переважно у вигляді дрібного концентрату (< 1 мм). Щоб перетворити рудну дрібницю і концентрати на придатний для печі матеріал, їх спочатку необхідно агломерувати шляхом брикетування, гранулювання та спікання або лише спікання. Агломерація необхідна для досягнення належного вилучення, а також для отримання проникної шихти, що дозволяє виходити зони з реакційного газу [255, VDI 2010].

Сирі котуни виготовляють шляхом прокатки тонкодисперсної, подрібненої, вологої руди з додаванням в'язкої речовини та дрібнозернистого коксового дріб'язку в кулі в обертовому барабані або на диску. Пізніше вони спікаються у печі зі сталевою стрічкою у тверді пористі котуни з постійними фізичними та хімічними властивостями. Процес спікання на стальній стрічці складається з багатосекційної печі, через яку сирі котуни проходять перфорованою сталевою конвеєрною стрічкою. Зелені котуни сушать у сушильній секції газом, що циркулює, з останньої секції охолодження. У секції підігріву температура котунів підвищується, щоб вони обпалювалися, а вугілля у шарі займалося. Газ для нагрівання відбирається з другої секції охолодження. У секції спікання досягається температура спікання 1350–1450 °C. Газ для нагрівання, крім енергії від спалювання вуглецю та окиснення заліза, відбирається з першої секції охолодження. Передні секції мають конфігурацію з низхідним потоком, і охолоджувальне повітря вдувається в три секції охолодження знизу. Для регулювання температурного профілю у секціях газ CO від плавки або природний газ спалюють у пальниках, розташованих у повітропроводі з рециркуляційним газом зон підігрівання та спікання. Котуни продукту та котуни, що циркулюють, використовуються як нижній шар на сталевій стрічці для захисту від надмірно високих температур. Печі для спікання зі сталевою стрічкою закриті. Процес показаний на Рисунку 8.1.



Джерело: [405, Euroalliages 2012]

Рисунок 8.1: Процес спікання на сталевій стрічці

Під час термічної обробки (спікання) відхідні гази необхідно очищати в каскадних скруберах або тканинних фільтрах. Для всіх процесів агломерації уловлений пил від сировини від цих процесів або інших процесів обробки сировини може бути перероблений. Зовнішнє споживання енергії в печі для спікання зі сталевою стрічкою нижчі, ніж у шахтній печі та колосниковій печі: споживання енергії в печі для спікання зі сталевою стрічкою становить 700–1400 МДж/т котунів. На фінському заводі, що застосовує цей процес, CO з плавильного заводу використовується як паливо разом з коксовим дріб'язком.

8.1.1.3 Виробництво ферохрому та силікохрому

8.1.1.3.1 Високовуглецевий ферохром

Високовуглецевий ферохром (HC FeCr) виробляється майже виключно шляхом прямого карботермічного відновлення хромітової руди в трифазних дугових печах з зануреною дугою у безперервному режимі роботи. Шихта може бути підігріта в шахтній або обертовій печі з використанням газу CO з процесу плавки. Також можливе попереднє відновлення в обертовій печі. В обох випадках питоме споживання електричної енергії буде знижено. Використовуються закриті, напівзакриті або відкриті дугові електропечі з зануреною дугою, у тому числі такі, що працюють на трифазному ЗС (змінного струму) та однофазні плазмово-дугові печі ПС (постійного струму). Піч ПС має один порожнистий графітовий електрод. Будівництво відкритих печей для виробництва ферохрому заборонено у багатьох країнах з екологічних причин. Рівень утворення хрому (VI) у пилу занадто високий.

У дугових печах із зануреною дугою використовуються електроди Сьодерберга. Електрод може бути виготовлений із гарячої пасти, брикетів, блоків або циліндрів із пасти. Електродна паста завантажується поверх електрода відповідно до його витрати. Матеріал піддається підвищеному нагріву у міру того, як він рухається вниз в електродній колоні. Він плавиться за температури близько 80 ºC і випікається за 500 ºC. Для управління процесом плавки робота печі може бути заснована на контролі опору або струму, щоб електроди підіймалися та опускалися, коли це необхідно для підтримки постійного опору або струму. Система герметизації електродів необхідна для запобігання витоку повітря в піч. У якості альтернативи зазвичай використовується інша практика, коли електрод

переміщається тільки під час перепуску і в іншому випадку залишається на місці.

У процесі виплавки оксиди металів відновлюються коксом, а кінцевим продуктом є карбіди металів. Внаслідок відновлення утворюються великі обсяги газу CO з реакційної зони під наконечниками електродів. У відкритій печі газ CO спалюється на поверхні печі. Таким чином, теплотворна здатність газу з високим вмістом CO втрачається. У порівнянні з відкритою піччю обсяг відхідних газів може бути зменшений у закритій герметизованій печі в 50–75 разів, а в напівзакритій — в 10–20 разів. Інвестиційні витрати на системи очищення відхідних газів для закритих печей значно нижчі, ніж для відкритих печей. Очищений газ CO можна використовувати як паливо для підігрівання сировини, сушіння коксу та аналогічних процесів, замінюючи нафту або інші види палива. Теплотворна здатність відхідних газів напівзакритих печей може бути відновлена у вигляді пари або гарячої води.

Ферохром і шлак через рівні проміжки часу випускаються з льоток у нижній частині печі. Випускання шлаку і металу здійснюється через одні й ті самі льотки шляхом каскадного випускання в одну і ту саму металеву ємність. Шлак з нижчою густиною спливатиме наверх і, зрештою, перетікатиме через носок ковша у шлакову чашу або через вторинний жолоб у шлакову траншею, грануляційний басейн або іншу ємність для шлаку. Лиття шарами є найчастіше використовуваним методом лиття ферохрому через простоту та низьку вартість цього методу. Охолоджені відливки дробляться та просіюються на лінії обробки продукту для отримання партії товарного продукту, зазначеної замовником. Якщо можливо, розплавлений ферохром можна передати безпосередньо на суміжний завод з виробництва неіржавкої сталі.

Шлак можна або гранулювати струменем води під високим тиском, або відливати на відкритому повітрі шарами, охолоджувати, дробити та просіювати.

Нижче наводиться опис того, як відбувається безпосереднє гранулювання шлаку, коли ферохром випускається в ковші. Злив із ковшів тече по шлаковому жолобу в грануляційний басейн, де вода під високим тиском дробить шлак на дрібні фракції та ефективно охолоджує його. Гранульований шлак є дуже однорідним продуктом. Розмір зерна складає < 6 мм. Кожна гранула щільна та частково кристалічна. Зазвичай гранульований шлак включає три різні фази: аморфну склофазу, кристалічну та зональну шпинель Fe-Mg-Cr-Al та краплі металу. Процес гранулювання показано на Рисунку 8.2.

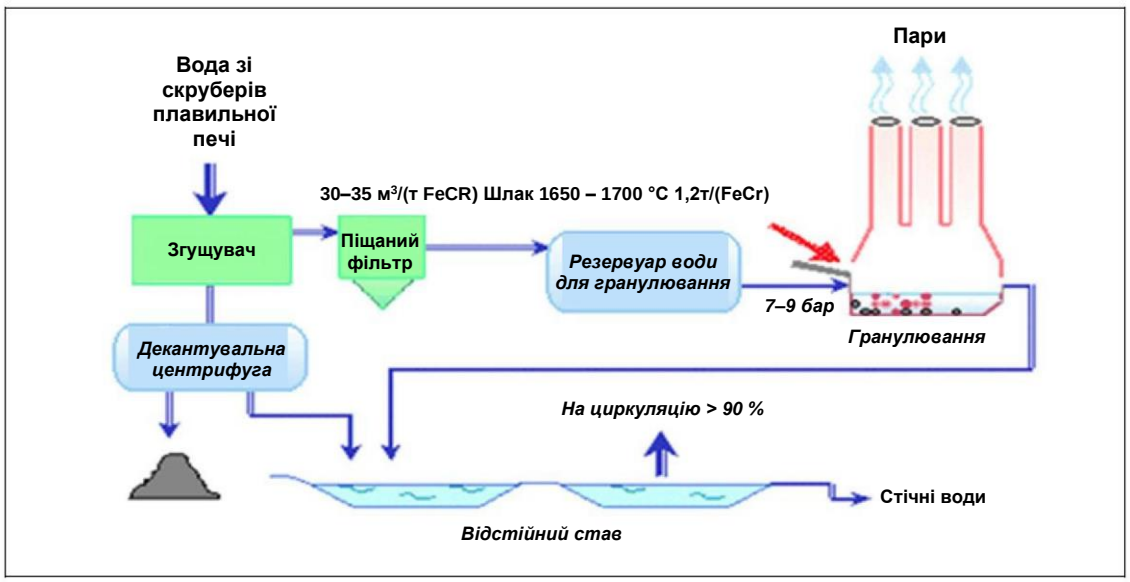


Рисунок 8.2: Процес гранулювання шлаку

Литий шлак, що містить метал, також дробиться, а метал, що міститься в ньому, вилучається за допомогою розділення шлаку і металу [255, VDI 2010]. Вилучений вільний від шлаку шматковий метал може бути проданий, а забруднений шлаком метал і дрібнодисперсна фракція можуть бути продані або перероблені в процесі виплавки. Шлак також можна обробляти за допомогою розділення у важкому середовищі, магнітного розділення або відсадження. І гранульований, і шматковий шлак повторно використовуються як будівельний матеріал і матеріал для будівництва доріг.

Приклад процесу виробництва високовуглецевого ферохрому з використанням закритої дугової електропечі з зануреною дугою показано на Рисунку 8.3.

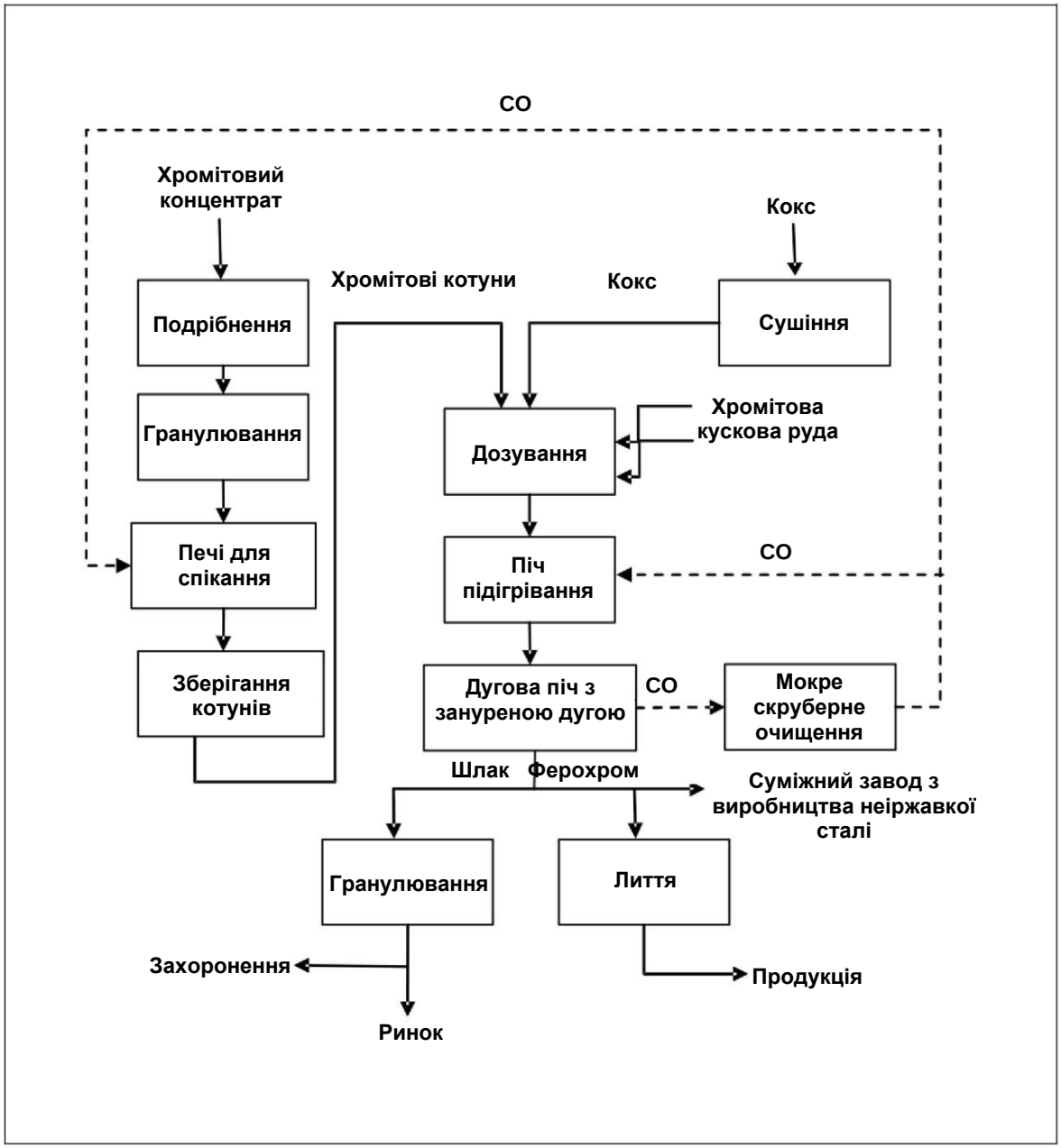


Рисунок 8.3: Виробництво високовуглецевого ферохрому з використанням закритої дугової електропечі з зануреною дугою

Приклад процесу виробництва ферохрому з використанням напівзакритої дугової електропечі з зануреною дугою показано на Рисунку 8.4.

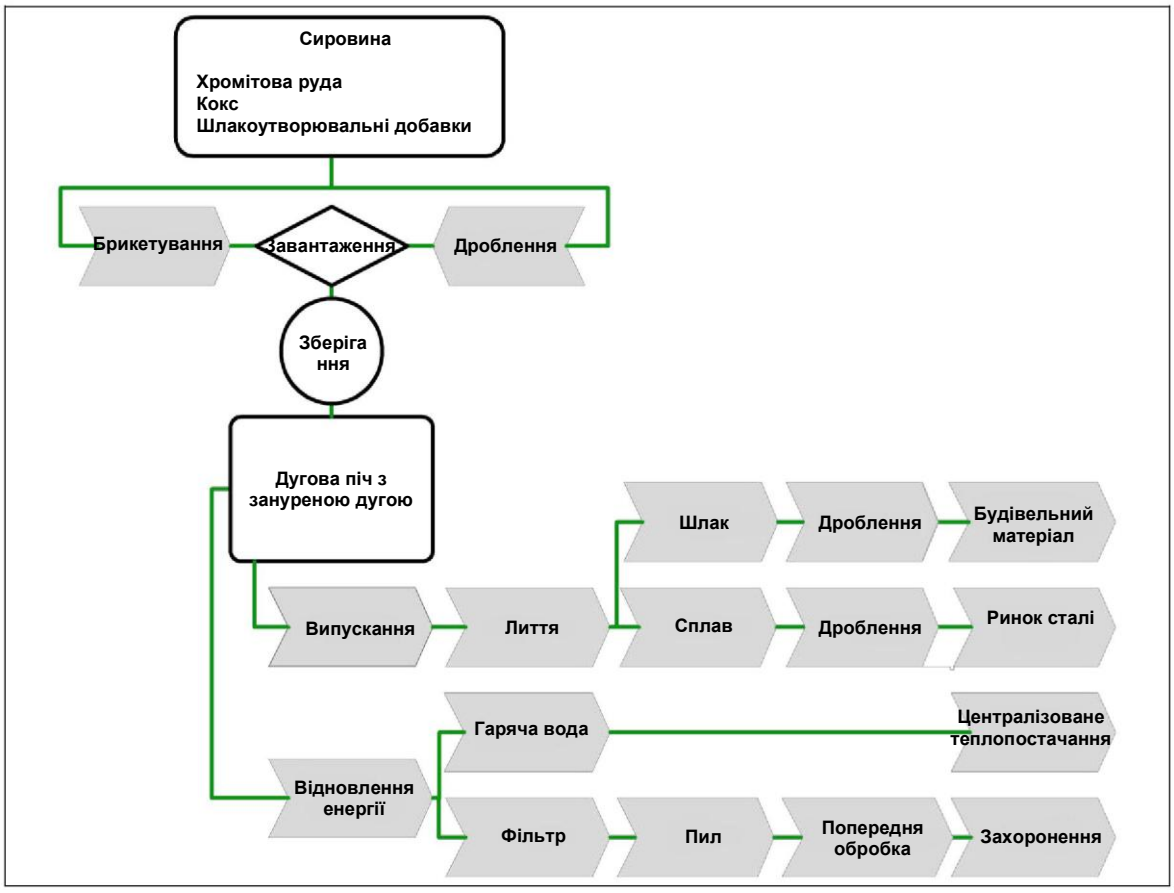


Рисунок 8.4: Виробництво ферохрому з використанням напівзакритої дугової електропечі з зануреною дугою

8.1.1.3.2 Середньовуглецевий ферохром

Середньовуглецевий ферохром (MC FeCr) може бути отриманий шляхом силікотермічного відновлення хромітової руди та концентратів або зневуглецювання HC FeCr у кисневому конвертері. Кисень можна вводити в розплавлений метал зверху розплаву за допомогою водоохолоджуваних фурм або шляхом вдування в нижню частину конвертера. Перевага процесу нижнього дуття полягає в тому, що можна досягти високого ступеня зневуглецювання разом з високим рівнем вилученням хрому. Висока температура ванни в конвертері з нижнім дуттям впливає на високі швидкості зневуглецювання та вилучення хрому.

Силікотермічний спосіб є більш економічним і, отже, більш придатним для виробництва MC FeCr. Причиною може бути невеликий попит на MC FeCr у порівнянні з високим попитом на HC FeCr, а також той факт, що низьковуглецевий ферохром може бути вироблений тим самим способом.

8.1.1.3.3 Низьковуглецевий ферохром

Щоб отримати бажаний низький вміст вуглецю в низьковуглецевому ферохромі (LC FeCr), не можна використовувати карботермічний процес. Тому процесами, що найчастіше використовуються, є металотермічні процеси відновлення, відомі як процеси Дуплекс, Перрена або Simplex.

Єдиним процесом, який використовується в ЄС-28 для виробництва LC FeCr, є дуплекс-процес. У цьому процесі LC FeCr виробляється шляхом силікотермічного відновлення вапняно-хромітового шлаку. Процес плавки шлаку відбувається в нахильній дуговій печі змінного струму з електродами Сьодерберга. Піч працює за температури близько 1750 ºC. Рідкий розплав випускають через рівні проміжки часу в перший реакційний ківш. Коли у

ківш додають SiCr, руду і вапно, реакційна суміш перетворюється на LC FeCr і проміжний шлак. Протягом цього процесу ківш накритий протидимним ковпаком. Близько 70 % проміжного шлаку передається до другого реакційного ковша, який також накритий ковпаком для збору диму. Додавання Si, FeSi, піску та борної кислоти в суміш призводить до утворення кінцевого шлаку та металу. Метал повертається у перший ківш. Тканинний фільтр очищає відхідні гази печі з обох реакційних ковшів. Пил із рукавного фільтра повертається в плавильну піч. Процес Перрена аналогічний, але використовує дві дугові печі.

LC FeCr також можна виробляти у процесі Simplex. У процесі Simplex HC FeCr дроблять у кульовому млині, щоб отримати порошок феросплаву. Після брикетування порошку HC FeCr разом з Cr_2O_3 та Fe_2O_3 суміш можна зневуглецювати шляхом відпалювання за температури близько 1350 ºC у вакуумній печі.

8.1.1.3.4 Силікохром

Силікохром також використовується як легувальний елемент у сталеливарній промисловості Його можна виробляти в трифазних дугових електропечах з зануреною дугою того ж типу, що і для виробництва HC FeCr. Відновлення SiO_2 до Si супроводжується утворенням дуже великої кількості газу CO. Висока швидкість утворення CO робить важливим використання пористої шихти (наприклад, газового коксу) та напівзакритої або закритої печі з відповідною системою регенерації енергії.

8.1.2 Феросиліцій та кременисті сплави

Феросиліцій, металевий кремній та силікокальцій (CaSi) використовуються як добавки у різних промислових продуктах. Як легувальний елемент феросиліцій підвищує міцність сталі та тому використовується в сталі, необхідній для виробництва дротяного корду для покришок або кулькових вальниць. Феросиліцій також використовується для видалення розчиненого кисню із розплавленої сталі. Високочистий FeSi використовується для виробництва сталі з високою магнітною проникністю для електричних трансформаторів. Металевий кремній відіграє важливу роль як легувальний елемент в алюмінії, а також для утворення хімічних сполук та електронних продуктів. Основним споживачем силікокальцію є сталеливарна промисловість. Вищезгадані метали можна класифікувати за вмістом кремнію наступним чином:

- феросиліцій: вміст кремнію менше ніж 96 %;
- металевий кремній: вміст кремнію понад 96 %;
- силікокальцій: вміст кремнію близько 60–65 % та вміст кальцію 30–35 %.

8.1.2.1 Сировина

Сировина, що зазвичай використовується для виробництва феросиліцію, металевого кремнію і силікокальцію, перелічена в Таблиці 8.1.

Таблиця 8.1: Сировина для виробництва феросиліцію, металевого кремнію та силікокальцію

Сировина	Феросиліцій	Металевий кремній	Силікокальцій
Кварц	X	X	X
Кокс	X	НД	X
Нафтовий кокс	НД	X	НД
Вугілля	X	X	X
Деревне вугілля	X	X	НД
Тріска	X	X	НД
Вапняк	НД	X	X
Залізна руда/сталевий брухт	X	НД	НД
Аморфний вуглець	НД	X	НД
Графітові електроди	НД	Якщо використовується комбінований електрод графітовий/ Сьодерберга	НД
Електродна паста Сьодерберга	X	НД	X
Примітка: НД = немає даних.			

Для досягнення хороших результатів процесу відбір сировини здійснюється на основі суворих вимог до якості. Термічна міцність кварциту, наприклад, має особливе значення, оскільки вона пов'язана з газопроникністю шихти, де дуже багато дрібнодисперсного матеріалу може перешкоджати потоку газу. Якість вуглецю важлива для екологічної ефективності процесу, оскільки вугілля та кокс містять сірку та мікроелементи, які можуть викидатися у довкілля [226, Nordic Report 2008]. Якщо вуглець містить ртуть або інші пароподібні елементи, вони випаровуватимуться в процесі та будуть викидатися як частина відхідних газів у довкілля.

Утворення дрібних часток через вільне падіння різних сировинних матеріалів було вивчено і продемонстроване в Таблиці 8.2 (повторювані падіння можуть призвести до більшого утворення дрібних часток за кожне падіння). Щоб уникнути утворення дрібних часток, слід уникати надмірного падіння та поводження з сировиною. Ширше літературне дослідження того, як обробка кварцу призводить до утворення дрібних часток, було проведено Aasly тощо [337, K. Aasly 2008].

Таблиця 8.2: Утворення дрібних часток через вільне падіння

Утворення дрібних часток	Вугілля	Кокс	Кварц	Залізні котуни
2 м падіння	0,6 %	0,2 %	0,2 %	0,1 %
16 м падіння	2,7 %	0,5 %	0,8 %	0,4 %

8.1.2.2 Виробництво феросиліцію, металевого кремнію та силікокальцію

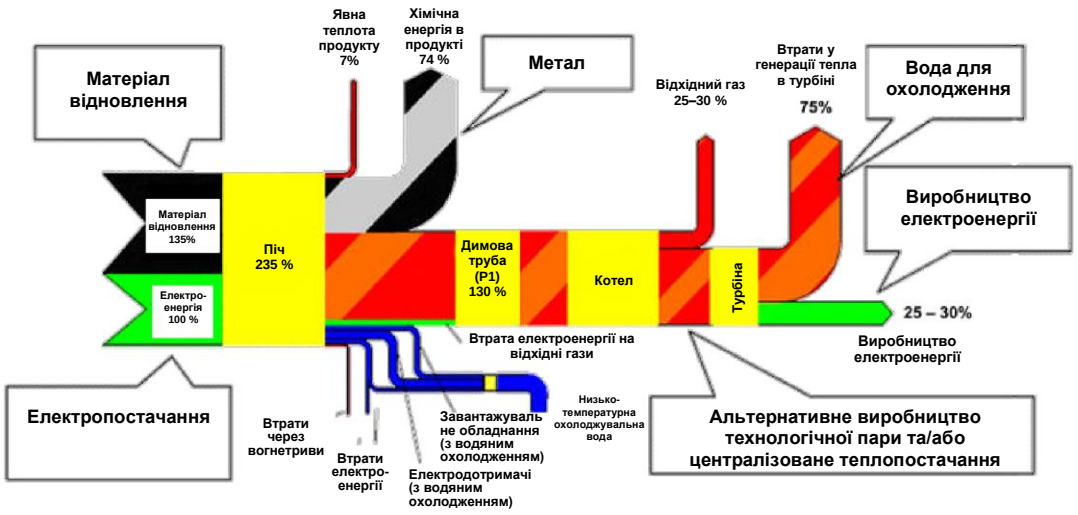
Різну сировину, що використовується для виробництва Si, FeSi та CaSi, бажано зберігати на твердих поверхнях, щоб запобігти забрудненню. Відновники зберігають на відкритому повітрі або у приміщенні, останнє — для захисту матеріалу від вологості, спричиненої дощем. Деякі відновники можуть самозайматися. У цьому разі повинні бути реалізовані відповідні методи, щоб уникнути самозаймання, наприклад, у деревному вугіллі або вугіллі з високим вмістом летких речовин та деревної тріски.

Феросиліцій, металевий кремній та силікокальцій зазвичай виробляються в трифазних низькошахтних дугових електропечах із зануреною дугою [255, VDI 2010]. Піч може бути відкритого або напівзакритого типу. Піч зазвичай обертається, щоб з'єднати зони реакції навколо наконечника кожного електрода для руйнування кірки між електродами. Обертання створює деякі труднощі у досягненні належної ефективності уловлювання дифузних викидів біля льотки, оскільки положення льотки буде обертатися разом із піччю. Сировина подається з бункерів для зберігання над піччю через завантажувальні труби. У невеликих печах сировину можна подавати за допомогою завантажувальних візків.

Плавка металевого кремнію та кременистих сплавів зазвичай відбувається у відкритих або напівзакритих печах. Відкриті печі зазвичай будуються з рухомими панелями або заслінками навколо ковпака печі, щоб забезпечити доступ для обслуговування та можливого ручного завантаження. Пічний/протидимний ковпак є верхньою частиною топки та виконує кілька завдань. По-перше, він уловлює технологічні відхідні гази і захищає обладнання від технологічного тепла. По-друге, ковпак — це місце, де розміщуються електроди та завантажується сировина. Ковпаки часто мають систему охолодження. Для виробництва FeSi та CaSi використовується технологія електродів Сьодерберга. Для виробництва кремнію електрод часто попередньо обпалюють і прикручують поверх попереднього електрода залежно від витрати електрода. В останні роки був розроблений електрод з використанням комбінації технології Сьодерберга та графітової серцевини зі стабільним залізним корпусом електрода. Цей комбінований електрод дозволяє реалізувати технологію Сьодерберга у виробництві металевого кремнію. Ціль полягає в тому, щоб зменшити домішки заліза, викликані корпусом електрода, і знизити високу вартість попередньо обпалених графітових електродів [233, COM 2008], [226, Nordic Report 2008].

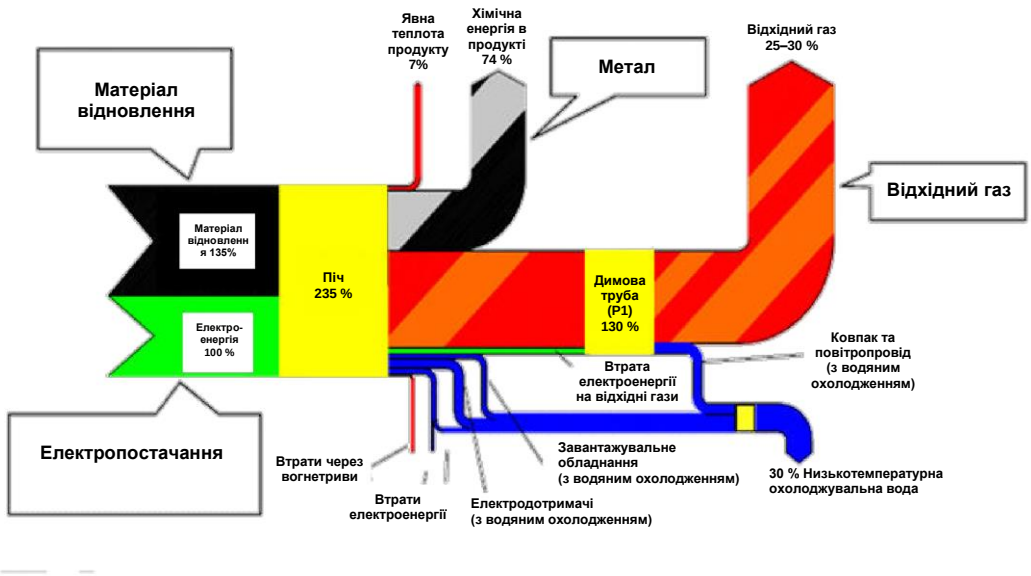
Напівзакрита піч була введена для контролю всмоктування повітря у верхню частину печі, тим самим зменшуючи загальний газовий потік печі. Це підвищує температуру газу і вимагає покращеного контролю температури на стороні відхідного газу, але водночас дозволяє досягти ще більшої регенерації енергії. Технологічні відхідні гази, що містять кремнеземний пил, очищаються в рукавному фільтрі. Рідкий метал випускають безперервно або через рівні проміжки часу. Метал відливається із ковша після закінчення процесу випускання. Пересувні ємності для випускання можуть бути доставлені на місце випускання за допомогою відповідних транспортних засобів або кранів. Метал може бути випущений безпосередньо в зону лиття без використання ємностей для транспортування. Потім кременистий сплав відливається у форми та дробиться щоковими, обертовими або валковими дробарками або гранулюється у воді.

У напівзакритих печах може бути впроваджена система регенерації енергії, хоча це залежить від місцевих параметрів/обставин (застосовності). На Рисунках 8.5 та 8.6 показані енергетичні баланси для процесу виробництва кремнію у напівзакритій печі з регенерацією енергії та без неї.



Джерело: [405, Euroalliages 2012]

Рисунок 8.5: Енергетичний баланс процесу виробництва кремнію з регенерацією енергії



Джерело: [405, Euroalliages 2012]

Рисунок 8.6: Енергетичний баланс процесу виробництва кремнію без регенерації енергії

Слід зазначити, що виробництво металевого кремнію та феросиліція є практично безшлаковим процесом, оскільки майже всі домішки, що присутні у сировині, переходять у продукти, метал або мікрокремнезем. Для отримання металу вищої чистоти потрібен додатковий етап рафінування. Рафінування відбувається шляхом окиснення домішок у ковші. Вдування газоподібного кисню або повітря здійснюється через занурювальні фурми, пористі вставки на дні ковша або інжектори. Також можна додати коригувальний шлак для покращення процесу рафінування. Етап рафінування передбачає покриття системою уловлювання диму, наприклад, витяжним ковпаком для уловлювання диму, з'єднаним з рукавним фільтром.

8.1.3 Феромарганець та марганцеві сплави

Феромарганець — ще один феросплав масового застосування, що має велике значення, переважно в сталеливарній промисловості та виробництві неіржавкої сталі. Феромарганець, що спочатку використовувався як розкислювач і десульфуризатор, переважно використовується для підвищення твердості та зносостійкості сталі. Феромарганець та інші важливі марганцеві сплави в основному можна класифікувати як [226, Nordic Report 2008]:

- високовуглецевий феромарганець (HC FeMn): Макс. Вміст C 7,5 %;
- Середньовуглецевий феромарганець (MC FeMn): Макс. Вміст C 2,5 %;
- низьковуглецевий феромарганець (LC FeMn): Макс. Вміст C 0,75 %;
- силікомарганець (SiMn): Макс. Вміст C 2,0 %;
- низьковуглецевий силікомарганець (LC SiMn): Макс. Вміст C 0,10 %;

8.1.3.1 Сировина

Виробництво феромарганцю та силікомарганцю засноване на суміші руд, що містять марганець у якості основної сировини. Для отримання належної ефективності процесу марганцева руда та концентрати (з низьким вмістом заліза) мають бути шматковими або у вигляді спеченого матеріалу. Іншою сировиною, необхідною для процесу виплавки, є залізна руда та флюсувальні матеріали, такі як вапняк та доломіт. Кокс і коксівне вугілля з низьким вмістом летких речовин використовуються у якості відновника, а у разі виробництва HC FeMn у доменній печі — також як джерело енергії. Для виробництва силікомарганцю необхідні шлаки з високим вмістом феромарганцю, брухт феросиліція,

кремнієва охолодь та кварц.

8.1.3.2 Технології попередньої обробки

Для використання дрібних руд у виробництві феромарганцю використовується етап агломерації, гранулювання та спікання. Крім дрібної руди, шихта для спікання включає паливо (коксовий дріб'язок, вугільний дріб'язок, газ для спалювання) та флюси, такі як вапняк та доломіт, а також переробні дрібнодисперсні частки та пил. Спікання використовується для отримання більш відповідного розміру та перетворення природної руди на проміжну металургійну сировину. Основними перевагами процесу агломерації та спікання є [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]:

- дрібна руда, яка має обмежене застосування та цінність у традиційній виплавці, агломерується та перетворюється на продукт вищої якості;
- зменшені обсяги газу і, отже, менше викидів з печі під час плавки спеку;
- збільшується коефіцієнт використання печі та експлуатаційні навантаження;
- краща пористість шихти з легшим проникненням та видаленням газу, що утворюється внаслідок реакцій відновлення.

Для виробництва HC FeMn та SiMn зазвичай застосовується процес спікання з рухомим колосником. У технології спікання з колосником спікання шихти здійснюється статичним способом у періодичному режимі. Для кожного циклу пальники розташовуються над шихтою, і паливо витрачається, поки шар не буде належним чином спечений. В кінці циклу спікання пальники видаляються, а шар збирається у процесі обертання.

Відхідні гази, що утворюються під час спікання, можна очистити від пилу за допомогою електростатичного фільтра і тканинного фільтра. Додаткове фільтрування відхідного газу, що утворюється під час спікання та охолодження спеку, може бути досягнуте за допомогою циклонів або тканинних фільтрів.

8.1.3.3 Виробництво феромарганцю та силікомарганцю

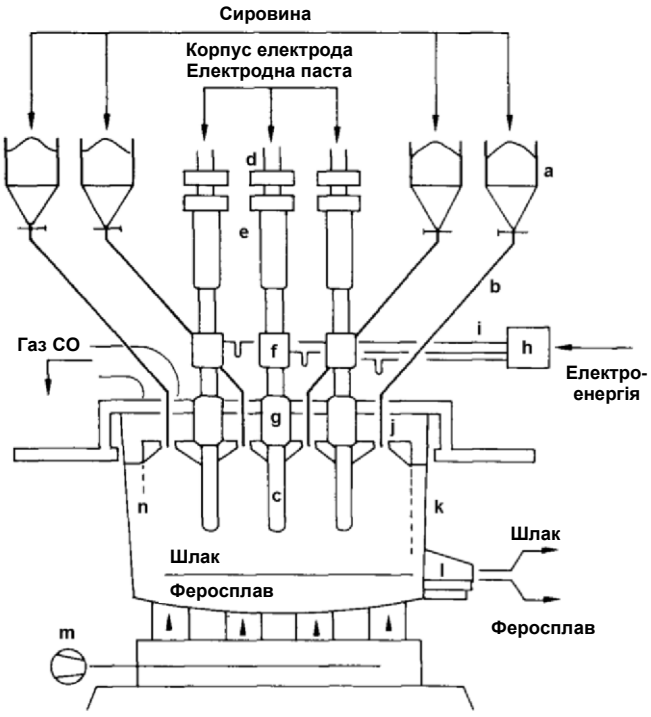
8.1.3.3.1 Високовуглецевий феромарганець

Високовуглецевий феромарганець (HC FeMn) отримують шляхом карботермічного відновлення шматкової або спеченої марганцевої руди в трифазній дуговій електропечі з зануреною дугою.

Зазвичай використовуються дугові електропечі закритого, напівзакритого та відкритого типів, які не несуть наслідків або несуть лише обмежені наслідки для самої печі, але впливають на склад газу, швидкість потоку, використовувану систему відновлення та знепилення. Діаметр печі варіюється від 2 до 20 метрів. Перевага менших печей у тому, що вони гнучкіші, тому що вони можуть легше перемикатися між різними продуктами.

Сировина подається в процес виплавки самопливом із бункерів для зберігання над піччю. Завантажувальні труби розташовані навколо електродів, щоб забезпечити рівномірний розподіл сировини в печі.

Дугова електропіч для виробництва HC FeMn має бути адаптована у порівнянні з печами, які зазвичай використовуються для виробництва феросплавів. Через високий тиск пари феромарганця процес виплавки вимагає ретельного контролю температури, щоб шихта не перегрівалася. Тиск пари разом із відносно низьким питомим опором феромарганцевої шихти призводить до того, що електроди мають низьку густину струму. Як наслідок, піч повинна працювати за низької напруги, що вимагає електродів більшого діаметра для великого струму, необхідного для процесу. Типова закрита дугова електропіч для виробництва феромарганцю, що працює з електродами Сьодерберга, показана на Рисунку 8.7.



Джерело: [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]

Рисунок 8.7: Закрита дугова електропіч для феромарганцю, що працює з електродами Сьодерберга

Дугові електропечі для виробництва феромарганцю працюють тільки зі самоспікливими електродами Сьодерберга. Через великий діаметр використання попередньо обпалених електродів неекономічне в порівнянні з електродами Сьодерберга. (Див. Рисунок 8.7).

Електроди Сьодерберга складаються з корпусу з низьковуглецевої сталі або неіржавкої сталі, посиленого внутрішньою дрібною фракцією і заповненого вуглецевою пастою, що складається із твердої маси, зазвичай обпаленого антрациту, і в'язкого кам'яновугільного пеку. Смола у гарячому стані стає пластичною та заповнює весь обсяг корпусу. В результаті подальшого нагрівання електрода струмом та теплом печі паста спікається та стає твердою [104, Ullmann's Encyclopedia 1996].

Випускання розплавленого металу та шлаку може здійснюватися безперервно або через рівні проміжки часу. Метал відливається у форми, футеровані дробленим феромарганцем. Ливарна машина може бути використана для лиття рідкого металу. Потім затверділий метал дробиться і просіюється відповідно до конкретних потреб клієнтів. Шлак зазвичай отримують у вигляді багатого шлаку (що містить близько 30 % марганцю) і надалі використовують для виробництва силікомарганцю.

На деяких підприємствах відхідні гази з високим вмістом CO використовуються для виробництва електроенергії. Газ з високим вмістом CO також можна використовувати для інших промислових цілей, наприклад, як сировину для хімічного синтезу.

8.1.3.3.2 Середньовуглецевий феромарганець

Для виробництва середньовуглецевого феромарганцю (MC FeMn) можна використовувати два різні способи:

- силікотермічне відновлення марганцевої руди;
- зневуглецювання HC FeMn у кисневому конвертері.

Найбільш важливим процесом у ЄС є зневуглецювання НС FeMn, яке також відоме як процес рафінування НС FeMn.

Для зневуглецювання НС FeMn кисень вдувається в розплавлений метал, який випускається з печі в ківш. Кисень, що вдувається в розплав, окиснює частину марганцю і підвищує температуру ванни приблизно з 1350 ºC до 1550 ºC. З підвищенням температури вуглець, присутній у НС FeMn, також має тенденцію до окиснення, що знову підвищує температуру з 1550 ºC до 1750 ºC. Отже, окиснення вуглецю знижує вміст вуглецю у феромарганці. Для виробництва МС FeMn процес зневуглецювання закінчується, коли досягається відповідний вміст вуглецю близько 1,3 %. Висока температура також призводить до випаровування феромарганцю, який залишає процес у вигляді диму. Дими можна уловлювати за допомогою ковпаків і додатково очищати за допомогою рукавного фільтра або електростатичних фільтрів перед спрямуванням назад на завод з виплавки НС FeMn або продаж.

На відміну від процесу рафінування, в якому у якості сировини використовується НС FeMn, для силікотермічного процесу потрібні марганцева руда і вапно або високоякісний шлак і силікомарганець. Саме відновлення здійснюється у трифазній дуговій електропечі з електродами з графіту. В кінці циклу розплавлений сплав та шлак відливаються та розділяються. Шлак після охолодження та дроблення рециркулюється як сировина на завод з виробництва силікомарганцю. Дими з печей будуть очищатися від пилу в тканинному фільтрі. В процесі силікотермічного відновлення можливе отримання МС FeMn, що містить <1 % вуглецю.

Основними перевагами процесу рафінування є нижчі експлуатаційні та капітальні витрати. Основною перевагою силікотермічного процесу є виробництво низьковуглецевого феромарганцю в тому ж процесі.

8.1.3.3.3 Низьковуглецевий феромарганець

Низьковуглецевий феромарганець (LC FeMn), який зазвичай містить менше ніж 0,75 % вуглецю, традиційно виробляється силікотермічним способом. Багатий шлак підходить як сировина через низький рівень домішок. Також сприятливою для процесу є наявність вже відновлених оксидів марганцю в багатому шлаку. Виробництво LC FeMn відбувається в дуговій електропечі, дуже схожій на ту, що використовується для МС FeMn, що виробляється у силікотермічному процесі. Отриманий шлак використовується для виробництва силікомарганцю як сировина або продається для інших цілей у металургійній промисловості.

Нещодавні розробки виробничих процесів зробили зневуглецювання НС FeMn економічним та екологічно сприятливим способом обробки для виробництва LC FeMn. Може бути досягнутий вміст вуглецю менше ніж 0,5 %, але зазвичай досягається рівень 0,75 % [226, Nordic Report 2008].

8.1.3.3.4 Силікомарганець

Силікомарганець необхідний як легувальний елемент у сталеливарній промисловості, а також як сировина для виробництва МС і LC FeMn. Виробництво силікомарганцю засноване на використанні марганцевої руди або спеку та кварцу у якості сировини. Замість марганцевої руди у якості джерела марганцю можна використовувати шлак з високим вмістом феромарганцю, аналогічний багатому шлаку, що утворюється у виробництві НС, МС і LC FeMn. Силікомарганець виробляється тільки в дугових електропечах із зануреною дугою, які можуть бути закритого, напівзакритого або відкритого типу. Печі такі ж або дуже схожі на ті, які використовуються для виробництва НС FeMn, і часто піч працює попеременно з операціями для кожного сплаву. Залежно від складу сировинної суміші може бути отриманий силікомарганець із вмістом кремнію від 15 до 35 %. Для правильної роботи печі та ефективного відновлення кремнію необхідно вводити електроди глибше у шихту, щоб досягти високої температури, необхідної для процесу.

8.1.4 Феронікель

8.1.4.1 Сировина

Феронікель (FeNi), як і ферохром, є основним легувальним агентом у виробництві неіржавкої сталі. Латеритна руда є основною сировиною. Латеритна руда характеризується відносно низьким вмістом нікелю (1,2–3 %) та високою вологістю (до 45 %) разом із хімічно зв'язаною водою у вигляді гідроксиду [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]. Типові європейські руди містять 1–3 % нікелю та мають вологість 5–10 %.

Крім латеритної руди, кокс та/або вугілля також є сировиною, необхідною для виробництва феронікелю. Кокс або вугілля необхідні як відновник, оскільки виробництво феронікелю відбувається за допомогою карботермічного процесу. FeNi також можна виробляти з вторинної сировини, такої як відпрацьовані каталізатори та осад від гальванічного виробництва.

8.1.4.2 Виробництво феронікелю з первинної сировини

Виробництво феронікелю з первинної сировини здійснюється виключно в обертовій електричній печі. Як було зазначено, сировина може містити значну кількість води. Отже, за високого вмісту вологи першим етапом процесу є операція сушіння. Сушіння зазвичай відбувається в обертовій сушарці прямого нагріву, де вміст вологи може бути знижений приблизно з 45 % до 20 %. Отримані викиди обробляються в системі боротьби з викидами, наприклад в електростатичному фільтрі. Проте, слід уникати подальшого сушіння нижче 20 %, щоб обмежити утворення пилу в подальшому процесі обпалювання та виплавки.

Наступним етапом процесу є гомогенізація, на якому різні руди змішуються з вугіллям, коксом та гранульованим пилом, які рециркулюються з основного процесу. Потім сировину подають в обертову піч. Обертова піч використовується для зневоднення руди шляхом обпалювання і попереднього відновлення оксидів нікелю і заліза. Процес протікає за температури близько 800–1000 ºC. Процес обпалювання та попереднього відновлення призводить до отримання сировини для печі, яка містить нікель як метал металу та попередньо відновлене залізо, переважно у формі оксидів заліза (II).

Гарячий попередньо відновлений обпалений матеріал можна подавати безпосередньо в плавильну піч або у ковшах. Їх можна використати для двох цілей; по-перше, для збереження тепла, а по-друге, для додавання також коксу або вугілля, необхідних для повного відновлення, перед їх вивантаженням в дугову електропіч, де відбувається плавлення та остаточне відновлення [110, Anthony, T. 1997].

Виплавка феронікелю відбувається у напівзакритих дугових електропечах з відкритою ванною із зануреними електродами. У дуговій електропечі печі операція відновлювальної виплавки відбувається внаслідок комбінованої дії вугільних електродів і доданого твердого вуглецевмісного відновника. Вибір відповідного режиму роботи (відкрита або закрита ванна) залежить головним чином від вмісту оксидів у шлаку (насамперед FeO, SiO_2, MgO, CaO), а також від масового співвідношення шлаку і металевого нікелю.

Для відновлення високого вмісту оксидів нікелю шихта зазвичай містить надлишок вуглецю. Це також збільшує кількість заліза, що буде відновлено, і кінцевий вміст вуглецю в чорновому феронікелі. Для відновлення вмісту заліза та вуглецю необхідний додатковий етап рафінування. Щоб уникнути подальшого рафінування, було вжито кілька заходів з покращення процесу. Наприклад, у процесі виробництва феронікелю в Южині відновник не додається. Дугова електропіч виробляє розплавлену руду, яка відновлюється до феронікелю з використанням феросиліцію в іншій ковші-печі. У процесі виробництва феронікелю Falcondo замість обертової печі використовується шахтна піч. У шахтній печі брикетована руда відновлюється за допомогою відновлювального газу (низькосірчистий лігроїн). Подальша дугова електропіч потім використовується лише для плавлення металу та його відокремлення від шлаку.

Феронікель, отриманий традиційним способом, потребує подальшого рафінування. Крім відновлення вмісту заліза та вуглецю, необхідно видалити такі домішки, як сірка, кремній та фосфор. Для рафінування феронікелю доступне різне обладнання, наприклад, струшувальний реакційний ківш, індукційна піч, дугова електропіч та кисневі конвертери. Очищений феронікель відливають у виливки або гранулюють під водою.

Відхідні гази обертової печі для обпалювання, дуговій електричній плавильній печі й етапу рафінування обробляються відповідною системою боротьби з викидами, такою як сухий електростатичний фільтр. Відфільтрований пил може бути гранульований та перероблений на станції усереднення сировини.

8.1.4.3 Виробництво феронікелю з вторинної сировини

Феронікель може бути отриманий з залишків, що містять нікель. Ці залишки, переважно відпрацьовані каталізатори виробництва мастила, спалюють в обертовій печі, щоб сконцентрувати вміст нікелю у вигляді оксиду нікелю в димовому пилу. Відхідний газ очищається в тканинному мембранному фільтрі, де уловлений пил використовується як сировина для процесу виплавки. Потім виробництво FeNi відбувається в дуговій електропечі із зануреною дугою. Розплавлений сплав випускають, гранулюють у воді та упаковують у бочки або біг-беги для постачання.

8.1.5 Ферованадій

Додавання ферованадія до розплаву сталі збільшує границю міцності та жароміцність вуглецевої сталі навіть у разі додавання невеликих кількостей. Тому сталь, легована ванадієм, використовується для швидкорізальних інструментів.

Ферованадій (FeV) може бути отриманий за допомогою карботермічного або металотермічного відновлення оксидів ванадію у присутності заліза. Оскільки у карботермічному відновленні використовується вуглець, кінцевий вміст вуглецю в отриманому сплаві високий. Отже, виробництво ферованадія з використанням вуглецю у якості відновника можливе тільки в тому випадку, якщо немає вимог до низького вмісту вуглецю.

8.1.5.1 Сировина

Основною сировиною для ферованадія є оксиди ванадію різних ступенів окиснення, що виробляються на заводі з виробництва оксидів ванадію, з додаванням вапна, алюмінію та залізного брухту у якості добавок.

Покупна сировина, що використовується у виробництві FeV, доставляється вантажним або залізничним транспортом. Сировина V_2O_3 та V_2O_4 тимчасово зберігається в контейнерах для рафінованої сталі. На наступному етапі ця сировина зберігається у бункері для ванадію. V_2O_5 тимчасово зберігається в закритому складі для отруйних речовин. Перед використанням V_2O_5 зберігається у бункері для сировини.

Допоміжні речовини, що використовуються у виробництві FeV, доставляються вантажним або залізничним транспортом та тимчасово зберігаються у відповідних складських приміщеннях. Перед використанням ці допоміжні речовини зберігаються в бункері, звідки братимуться дозовані шляхом зважування кількості для використання у виробничому процесі.

Зазначений склад ванадієвої сировини та допоміжних речовин вилучається з бункерів та передається транспортувальними трубами у ваговий дозатор. Звідти дозовані шляхом зважування кількості транспортується в печі.

8.1.5.2 Виробництво феровanадію

Феровanадій зазвичай отримують шляхом алюмінотермічного відновлення.

За необхідності перед поданням суміші в процес виплавки можна здійснити подрібнення, сортування за розміром та сушіння. Алюмінотермічне відновлення оксиду ванадію є самопідтримним процесом, який можна здійснювати в тиглі з вогнетривкою футерівкою. Реакційні ємності, що використовуються для цього процесу, можуть бути наступних типів:

- Тигель з вогнетривкою футерівкою і футерівкою одноразового використання.
- Кільце з вогнетривкою футерівкою, поміщене в заглиблення з піском.
- Електрична піч, в яку можна подавати додаткову енергію або для збільшення теплоти реакції, або для здійснення операцій з рафінування шлаку. Також використовується дугова електропіч, тому що дрібнодисперсна фракція FeV, що утворюється в результаті дроблення FeV, може бути переплавлена.

Операція виплавки відбувається в періодичному процесі, коли вся шихта передається в реакційну ємність і запалюється. Після запалювання час згорання звичайної партії феровanадія вагою близько 1 тонни становить лише кілька хвилин. Через короткий час реакції вміст оксидів ванадію в шлаку і вміст алюмінію в металі може не досягти рівноваги. Таким чином, перевага виробництва в електричній печі полягає в тому, що шихта залишається в розплавленому стані до повного завершення реакції. Дими від процесу видаляються та очищаються за допомогою тканинних фільтрів або мокрих скруберів.

Залежно від типу процесу шлаку і металу можна дати охолонути в тиглі, або шлак і метал можна відлити разом в ковші або шари, щоб забезпечити розділення шлаку та металу та викликати швидке охолодження. Для випускання з тигля потрібні витяжні ковпаки та швидкість екстракції, достатня для видалення диму та пилу, що виділяються під час випускання. Шлак алюмінотермічного процесу може бути використаний для подальшого футерування тиглів або подроблений і відсортований за розміром для використання в інших галузях промисловості (як заповнювач у сталеливарній промисловості та як основний матеріал у промисловості вогнетривів). Металевий блок може охолоджуватись повітрям або водою, що полегшує подальше дроблення. Для всіх операцій дроблення та просіювання використовуються спеціальні установки для видалення пилу, звідки пил повертається у виробничий процес у найбільш придатній точці, щоб забезпечити безперервне перероблення відновлених продуктів.

На наступному рисунку показаний процес виробництва феровanадія

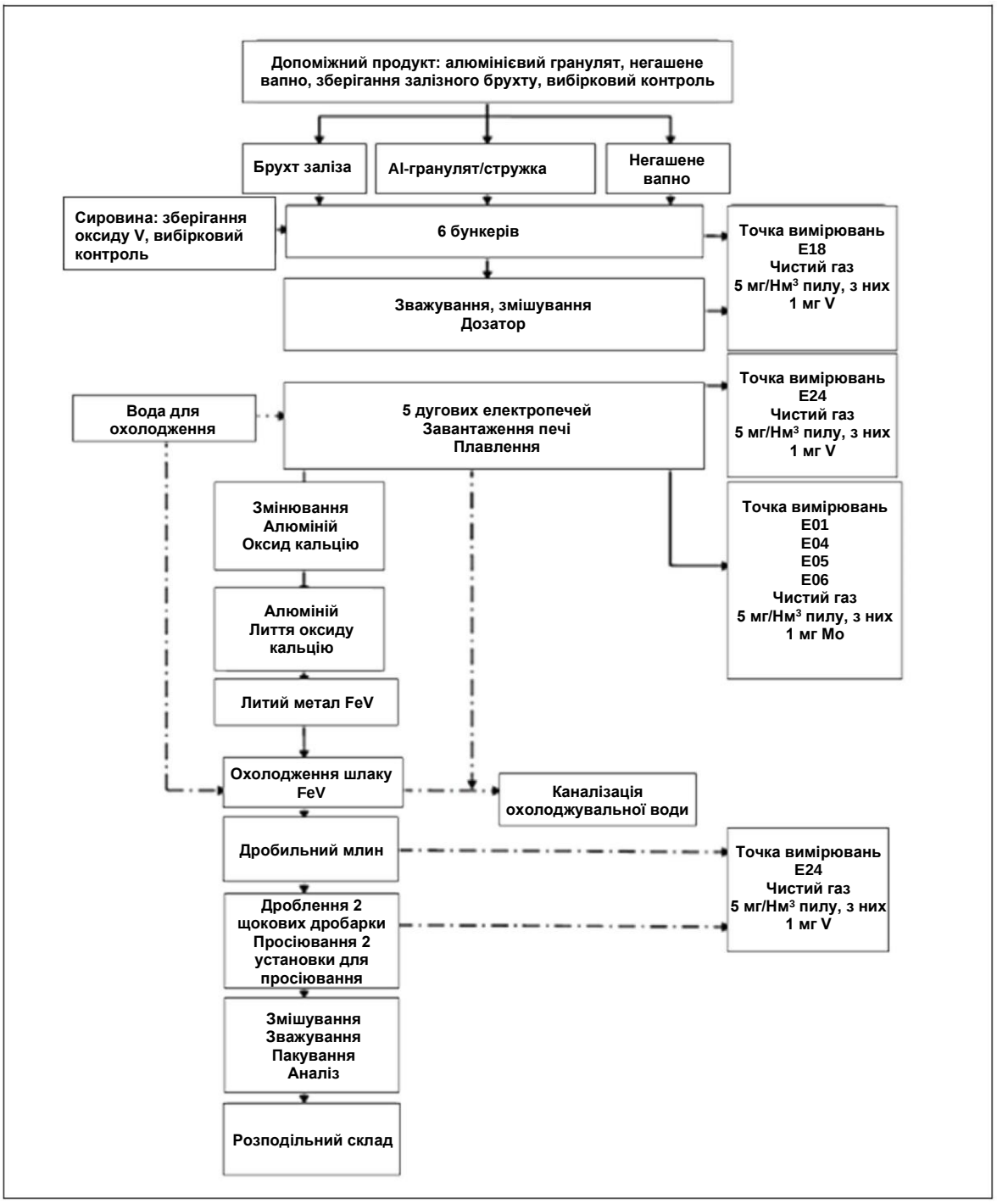


Рисунок 8.8: Схема виробництва феровanадія

На заводі попереднього плавлення оксиди нікелю, ванадію та молібдену використовуються для виробництва феромолібден-нікелевих та феровanадієвих сплавів. Сировину розплавляють разом із вапном в дуговій електропечі для отримання шлаку. З використанням алюмінію, феросиліцію або коксу оксиди металів відновлюються до металу. Шлак, що утворюється в результаті виробництва, видаляється і продається у сталеливарну промисловість як кондиціонувальний шлак. Метал виливається у вигляді гранульованого металу або у вигляді блоків.

8.1.5.3 Операції поствиробництва

Пакування готового подрібненого феровanадієвого сплаву відбувається на станції пакування. Вміст бункера готової продукції FeV вивантажується через вібраційних жолоб в кілька пакувальних бочок і зважується з використанням каліброваної шкали. Готові сплави FeV завантажуються в бочки з листової сталі, біг-беги, поліетиленові мішки, бочки або жерстяні коробки і укладаються на піддони відповідно до вимог замовника. Після цього бочки та біг-беги обв'язуються стальними стрічками.

На установці порошкування дрібнозернисті матеріали FeV подрібнюються на порошкоподібні сплави, які переважно використовуються у виробництві зварювальних електродів. Дрібні частки окремих сплавів попередньо подрібнюються до розміру зерен < 3 мм на установці порошкування. Матеріал переноситься у конічні транспортні контейнери. Усі проміжні фракції підіймаються краном складального цеху у відповідний завантажувальний бункер. Наступний етап подрібнення відбувається у млині Palla (стрижневому). Контрольоване просіювання отриманих порошкоподібних сплавів відбувається через двоярусне сито. Після відбору проб та аналізу ці сплави зберігаються у металевих контейнерах. Цей процес порошкування також застосовується для феромолібдену (Австрія).

8.1.6 Випалювання молібденіту та виробництво феромолібдену

8.1.6.1 Випалювання молібденіту

Технічний сорт триоксиду молібдену (MoO_3), також іменований REACH концентратом випаленого молібдену, є основною сировиною у виробництві феромолібдену та сплавів, що містять молібден, а також вихідною сполукою для низки інших продуктів на молібдену, таких як димолібдат амонію, молібдат натрію та металевий молібден [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]. Випалювання, як схематично показане на Рисунку 8.9, перетворює концентрований молібденіт (руда сульфіду молібдену) на триоксид молібдену технічного сорту для металургійної або хімічної промисловості.

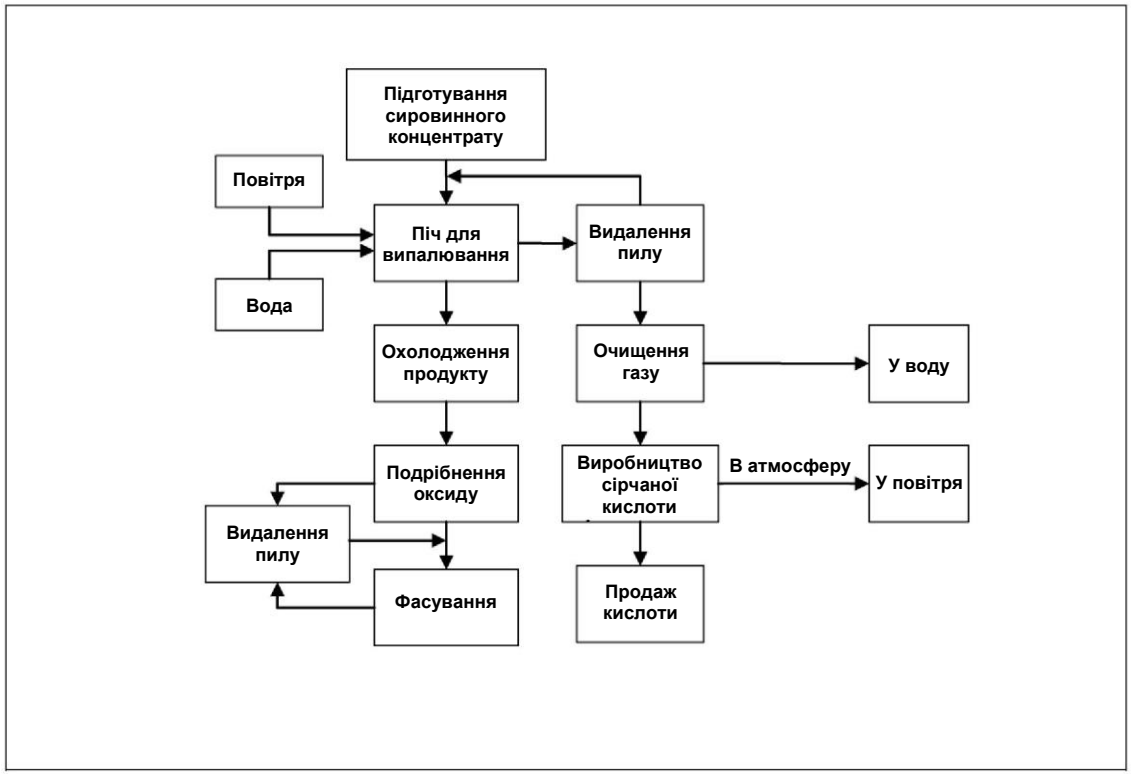
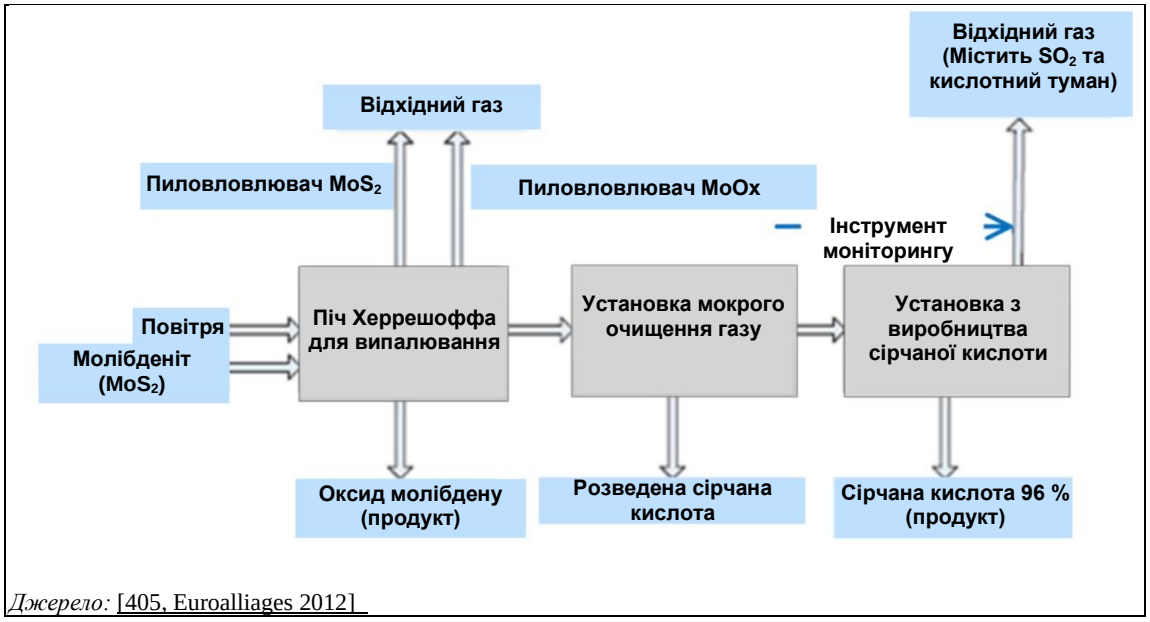


Рисунок 8.9: Схема випалювання молібденіту

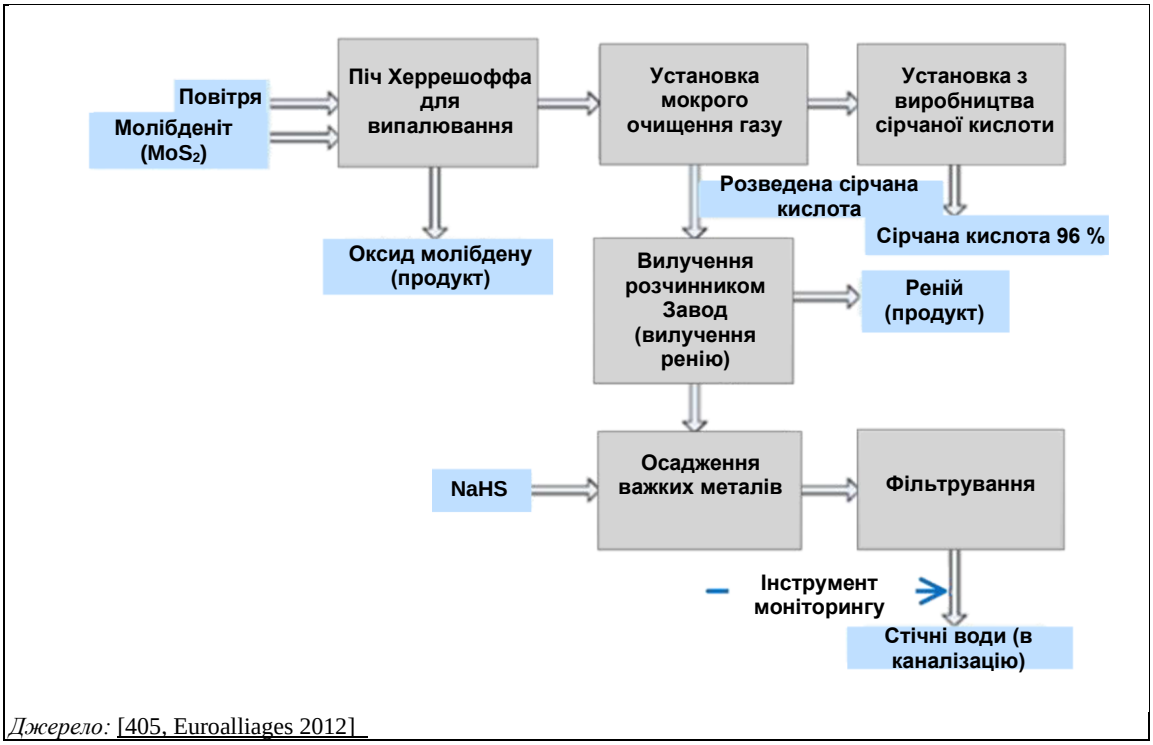
Процес випалювання молібденітового концентрату відбувається у багатоподовій печі (див. опис у Розділі 13.1.1.3). Багатоподові печі складаються з ряду вертикально розташованих подів. У верхню частину печі подається додаткова енергія у вигляді природного газу (або рідкого палива, такого як дизель), щоб випаровувати воду і довести сировину до температури випалювання.
Сам процес випалювання є екзотермічним і не вимагає додаткової енергії, за винятком випадків, коли втрати тепла, пов'язані з охолоджувальним повітрям колони центральної вісі, випромінюванням з корпусу печі для випалювання або викидом гарячого оксиду з печі для випалювання, є значними. За допомогою витяжних вентиляторів піч для випалювання працює з негативним тиском відносно атмосферного тиску. Це служить для контролю припливу навколишнього повітря для окиснення та охолодження та запобігає будь-яким викидам діоксиду сірки в довкілля. Повітряний потік, швидкість транспортування, а іноді розпилення води контролюють швидкість реакції та температуру. Отриманий оксид молібдену вивантажують з печі для випалювання, потім охолоджують, подрібнюють до дрібнодисперсного порошку, відбирають проби та аналізують перед зважуванням та пакуванням.

Відхідні гази процесу містять велику кількість діоксиду сірки та пилу (до 15 % вихідного концентрату). Пил, що міститься в газовому потоці, може бути видалений за допомогою (мульти-) циклонів і високотемпературних електростатичних фільтрів і повернений у вихідний концентрат, що надходить у піч для випалювання. Діоксид сірки зазвичай перетворюється на сірчану кислоту на суміжній установці з виробництва сірчаної кислоти. Перетворення діоксиду сірки на сірчану кислоту докладно описано в Розділі 2.7.1. Крім утворення пилу та діоксиду сірки, випаровуються та виділяються такі елементи, як реній та селен. Ці елементи можуть бути видалені з газового потоку шляхом мокрого очищення з подальшою обробкою на установці для очищення змочувальної рідини. Селен переважно вилучають шляхом флокуляції, декантації та фільтрації, а реній зазвичай вилучають за допомогою технологій вилучення розчинником або іонного обміну. Інші метали видаляють за допомогою технологій осадження.



Джерело: [405, Euroalliages 2012]

Рисунок 8.10: Випалювання молібденіту та очищення газу (Нідерланди)



Джерело: [405, Euroalliages 2012]

Рисунок 8.11: Випалювання молібденіту та очищення відпрацьованих вод (Нідерланди)

У толінговій конверсії молібденових концентратів партії сировини можуть мати великі відмінності за вмістом молібдену (46–59 %) та інших компонентів. Випалювання партій з різними сортами впливає на обробку відхідних газів.

8.1.6.2 Виробництво феромолібдену

Феромолібден може бути отриманий шляхом або карботермічного або металотермічного відновлення оксидів молібдену. З практичних причин, таких як плавильне обладнання, що використовується для процесу, і зниження виробничих витрат, металотермічне виробництво феромолібдену набагато більш поширене, ніж карботермічне відновлення. Отже, останній спосіб не описується.

На наступному рисунку показаний процес виробництва феромолібдену

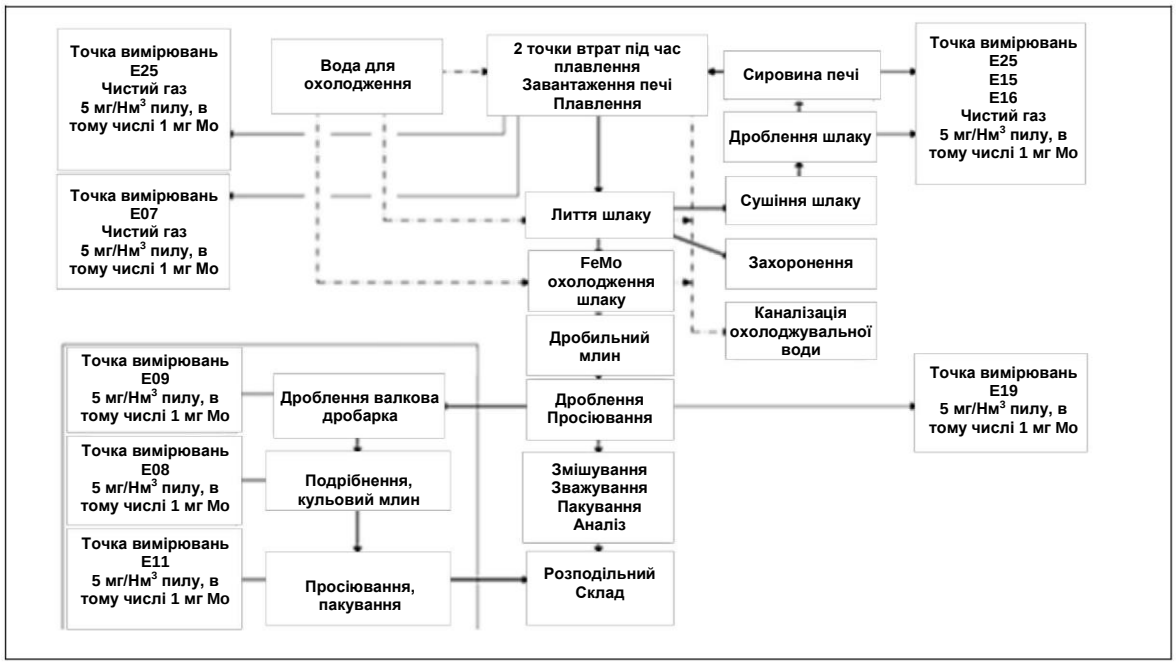


Рисунок 8.12: Схема виробництва феромолібдену

8.1.6.2.1 Сировина

Виробництво феромолібдену засноване на використанні у якості сировини оксидів молібдену. Крім основної сировини, триоксиду молібдену, оксиду заліза або залізного брухту прокатної окалини, для виробництва феромолібдену необхідні сталеві висічення або стружка. Вапно і флюорит зазвичай використовуються як флюси, а деревне вугілля, кремній (феросиліцій) і деяка кількість алюмінію необхідні як відновники.

8.1.6.2.2 Металотермічне виробництво феромолібдену

Металотермічне відновлення є найпоширенішим процесом, що використовується для виробництва феромолібдену. Через вищу вільну енергію Гіббса алюмінію в порівнянні з кремнієм феросиліцій є кращим відновником для забезпечення безпечних умов процесу. Проте, для отримання необхідного теплового балансу для реакції необхідно використовувати невелику кількість алюмінію.

Для металотермічного процесу потрібна суха сировина. Прокатна окалина, що надходить у вологому вигляді, зберігається в критому бункері перед просіюванням і сушінням, щоб запобігти дифузним втратам. Сталевий брухт, який також надходить навалом, вивантажується та зберігається у критому бункері. Плавні та ефективні реакції виплавки вимагають суміші сировини відповідного розміру, що особливо важливо щодо оксидів та відновників. Іноді додається флюорит для сприяння розділенню шлаку та металу. Щоб отримати вихідний матеріал потрібного розміру, часто необхідно подрібнювати та просіювати феросиліцій. Усі операції попередньої обробки, такі як подрібнення, просіювання, переміщення та усереднення, повинні виконуватись із застосуванням заходів пиловловлювання.

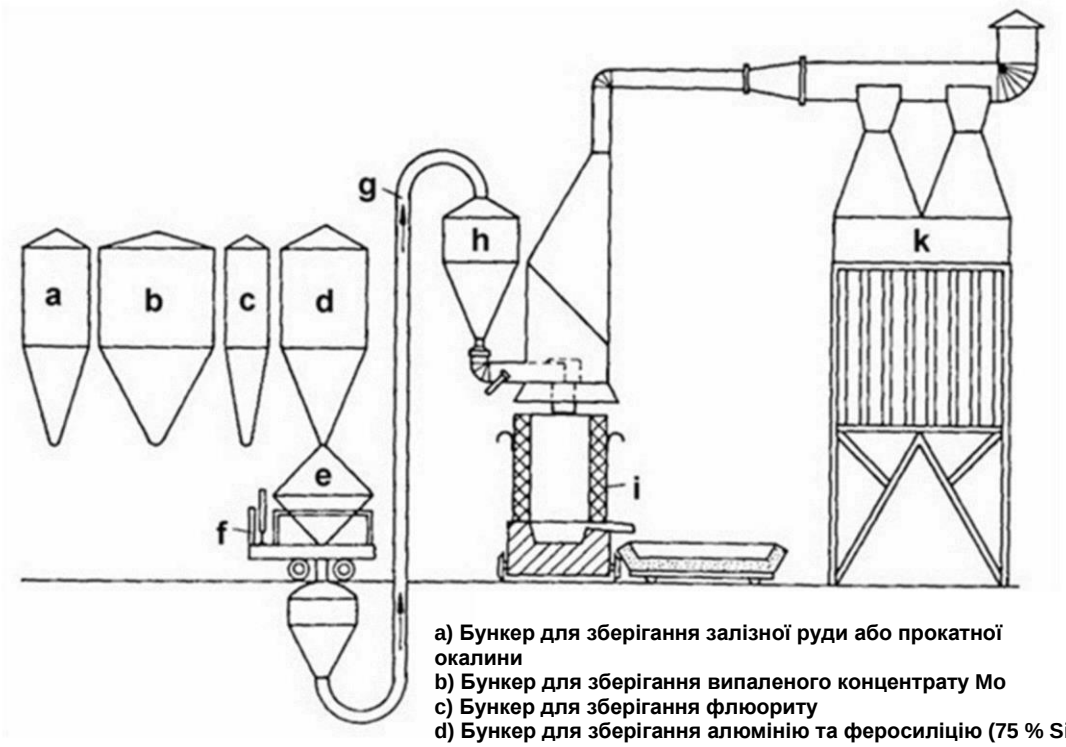
Операція виплавки може бути виконана декількома способами, найбільш поширеними з яких є [125, Euroalliages (B) 1998]:

- Використання довгих заглиблень з піском, в які поміщають сталеві циліндри з вогнетривким футеруванням для формування тиглів, в яких відбувається металотермічна реакція. Сама реакція може здійснюватись різними способами. «Реакція з верхнім запалюванням» відбувається, коли вся шихта поміщається в тигель, а потім запалюється зверху. Як альтернатива, тільки частина шихти може бути поміщена в тигель і запалена, а решта шихти може додаватись у міру протікання реакції (реакція з поданням).

- Використання тиглів з вогнетривким футеруванням, які поміщені всередину камери, яку можна закривати. Як і в попередньому описі, реакцію потім можна провести, помістивши всю шихту в тигель і запаливши її, або додавши лише частину шихти, ініціювавши реакцію, а потім поступово додавати решту шихти у міру протікання реакції.

Оскільки реакція викликана металами, а не вуглецем, екзотермічна реакція не призводить до утворення CO або CO_2. Теоретично газ не утворюється взагалі. Проте, інтенсивне утворення тепла створює значний висхідний потік включеного та навколишнього повітря та будь-якої присутньої водяної пари. Ці пари несуть значну кількість часток пилу.

Пил і дим, що утворюються в процесі, мають бути вилучені, відновлені та перероблені для захисту довкілля. Обробка диму складається з класичних установок для знепилення, таких як відстійна камера, циклони та рукавні фільтри. Рукавні фільтри можуть бути виготовлені зі спеціальних тканин, іноді з додатковим покриттям, що витримує високі температури. Пил з рукавного фільтра потім може бути повернутий безпосередньо в основний процес виплавки. Належна організація виробництва також необхідна для повторного використання всіх бризок, сміття від підмітання підлоги тощо, щоб отримати ефективний загальний вихід молібдену.



a) Бункер для зберігання залізної руди або прокатної окалини
b) Бункер для зберігання випаленого концентрату Mo
c) Бункер для зберігання флюориту
d) Бункер для зберігання алюмінію та феросиліцію (75 % Si)
e) Змішувальний бункер
f) Баланс
g) Ерліфтна система
h) Бункер випалювання
i) Реакційна ємність
k) Електростатичний фільтр або рукавний фільтр

Джерело: [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]

Рисунок 8.13: Схема металотермічного випалювання

У процесі виплавки утворюється блок зі сплаву вагою від 2,5 до 4 тонн. Після відокремлення шлаку гарячий металевий блок необхідно охолодити. Це може бути зроблено або шляхом природного повітряного охолодження, або швидкого охолодження у воді. Охолоджений металевий блок потім розбивається на шматки, які можна подавати на інтегровану дробильно-сортувальну установку для виробництва продуктів широкого

діапазону розмірів, що використовуються у всьому світі.

Схема, що демонструє основні етапи металотермічного процесу виробництва феромолібдену, продемонстрована на Рисунку 8.14.

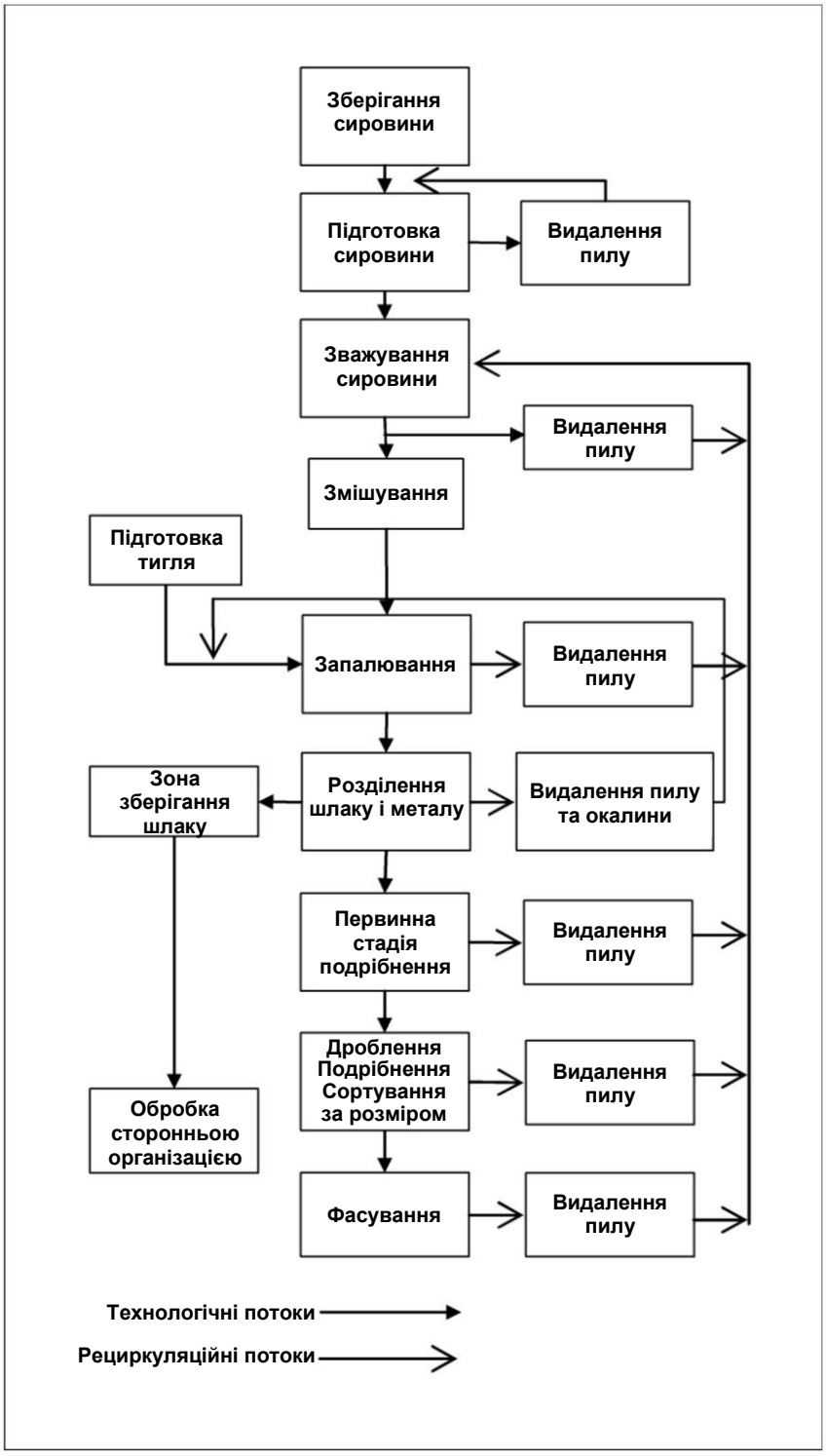


Рисунок 8.14: Виробництво феромолібдену шляхом металотермічного відновлення

8.1.7 Феровольфрам

Для покращення властивостей сталі переважно використовують феровольфрам, а також вольфрамову плавильну основу, яку виробляють з вторинної сировини. Вольфрам як легувальний елемент утворює стійкі карбіди й, отже, підвищує жароміцність та зносостійкість сталі. Така сталь (швидкорізальна) необхідна для виготовлення швидкорізальних інструментів, які можна використовувати до температури близько 600 ºС. Вольфрам також покращує ряд інших властивостей сталі, таких як твердість, границя плинності та границя міцності [104, Ullmann's Encyclopedia 1996].

8.1.7.1 Виробництво феровольфраму та вольфрамової плавильної основи

Феровольфрам можна виробляти з різної сировини, що містить оксиди вольфраму, наприклад, вольфраміту, шеєліту і гюбнериту. Відновлення цих мінералів може здійснюватися шляхом або карботермічного або металотермічного відновлення, або їх комбінації.

Карботермічний процес, відомий як процес плавлення твердих блоків, відбувається в дуговій електропечі. Через високу температуру плавлення феровольфраму отриманий сплав не може бути випущений з печі. Після початку виплавки метал накопичується на дні печі. Коли кількість металу досягає потрібної ваги, піч вимикається. Потім металевий виливок можна витягти з печі після видалення вогнетривкої футерівки. Потім метал дроблять та просіюють. Якщо кілька печей використовуються паралельно, то може відбуватися квазібезперервний процес виробництва. Відхідні гази з печі обробляються системою газоочищення, щоб мінімізувати вплив на довкілля і відновити триоксид вольфраму в димовому пилу.

Комбінація карботермічного та металотермічного процесів з використанням як вуглецю, так і феросиліцію у якості відновників використовується для отримання фероспла ву з високим вмістом вольфраму. Процес відбувається у три послідовних етапи в дуговій електропечі. На першому етапі отримують шлак з вмістом триоксиду вольфраму, який на наступному етапі відновлюють феросиліцієм. Третій і останній етап необхідні збільшення вмісту вольфраму шляхом рафінування металу з низьким вмістом вольфраму з другого етапу шляхом додавання вольфрамових концентратів.

Металотермічний процес менш економічний, оскільки для цього процесу потрібна дуже чиста і, отже, дорога сировина. Для забезпечення самопідтримного процесу у якості відновника зазвичай використовується суміш кремнію й алюмінію. Метал може бути витягнутий з корпусу печі після охолодження та видалення футерівки печі. Металотермічне виробництво феровольфраму сьогодні є економічно обґрунтованим лише за наявності особливих вимог замовника.

Вольфрамова плавильна основа — це вольфрамовий сплав, який виробляється з вторинної сировини. Основними джерелами є різні види вольфрамового брухту. Виробництво вольфрамової плавильної основи — це лише процес переплавлення та легування, який може відбуватися в дуговій електропечі. Той факт, що на ринку з'являється все більше і більше вольфрамового брухту, збільшує використання процесу переплавлення, що вимагає менше енергії, ніж первинна виплавка.

8.1.8 Феротитан

Феротитан може вироблятися як з первинної, так і з вторинної сировини та використовується для різних цілей. Як легувальний елемент він підвищує границю плинності та знижує схильність до розтріскування. У виробництві неіржавкої сталі з високим вмістом хрому та нікелю для зв'язування сірки використовується феротитан [104, Ullmann's Encyclopedia 1996].

Основною сировиною для виробництва феротитану є мінерали, що містять оксид титану, такі як ільменіт. Відновлення зазвичай здійснюється за допомогою металотермічного процесу, оскільки в результаті карботермічного відновлення утворюється сплав, який містить занадто багато вуглецю і тому не становить інтересу як легувальний елемент в сталеливарній промисловості. Виробництво відбувається у вигляді періодичного процесу в тиглі з вогнетривкою футерівкою або в електричній печі, залежно від варіанта процесу.

В останні роки доступність титанового брухту на ринку збільшилася, тому виробництво феротитану з вторинної сировини стало більш поширеним. Виробництво феротитану здійснюється шляхом плавлення брухту чорних металів та титану в електричній індукційній плавильній печі. Процес легування є безшлаковим процесом.

Продукти з чорних металів купуються відповідно до специфікації у вигляді твердих часток низьковуглецевої сталі. Титановий брухт доставляється на об'єкт у вантажівках-контейнеровозах. Сировина включає шматки відливок металобрухту, продукти, отримані у результаті обробки тиском, та стружку від процесів механічної обробки. Після отримання матеріали перевіряються на відсутність забруднення радіоактивними матеріалами. Великі шматки брухту подрібнюються шляхом киснево-полум'яної різки. Стружка подрібнюється за допомогою подрібнювача стружки, а потім пропускається через центрифугу для видалення мастила та вологи.

Титанова стружка знежирюється в обертовій сушарці, де нафтовмісні гази проходять через циклон для видалення пилу та крапельної вологи. Потім ці гази проходять через допалювач, який нагрівається газовим пальником. Газоподібні продукти згорання/дим або рециркулюють через сушарку, або направляються до другого циклону. Після проходження через циклон вводиться сорбент (бікарбонат натрію) для нейтралізації газового потоку та запобігання корозійному пошкодженню фільтрувальної установки. Нарешті газ проходить через керамічний фільтр, після чого викидається в атмосферу через димову трубу.

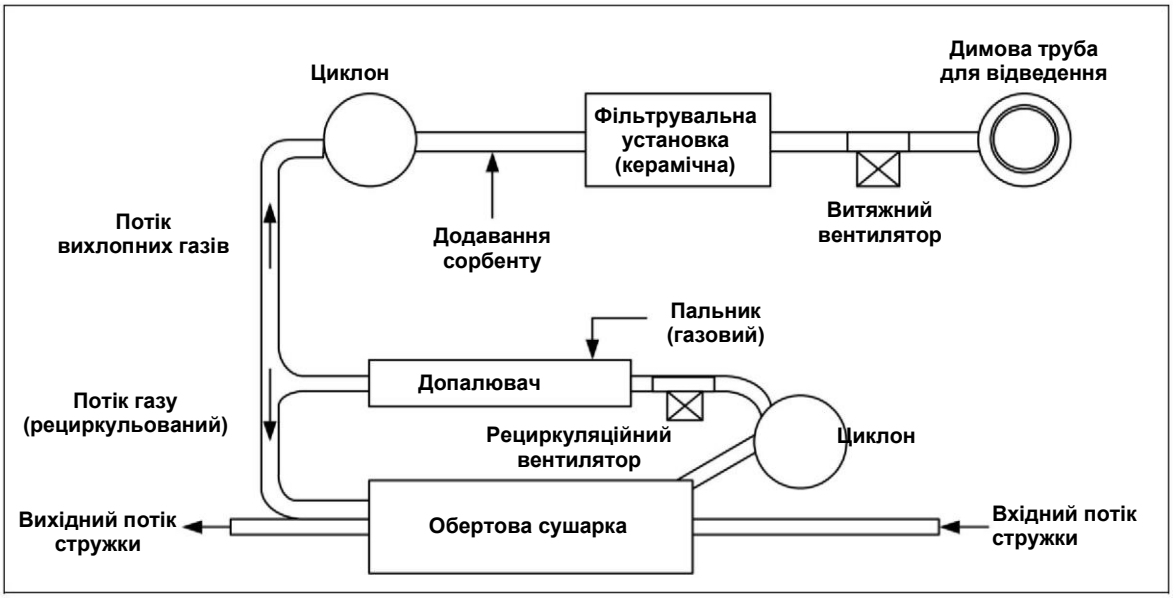


Рисунок 8.15: Система газоочищення установки знежирення

Шихту для печі розраховують на основі аналізу сировини. Матеріали дозуються у чаші та подають в електричну індукційну плавильну піч. Система лотків використовується для подання матеріалів під час операції плавлення. Коли плавлення завершено, розплавлений метал випускають у виливницю і відбирають пробу з потоку для аналізу. Після охолодження виливок передається на інші операції, такі як розбивання, дроблення і подрібнення для досягнення необхідного розміру продукту.На Рисунку 8.16 показана схема виробництва феротитану.

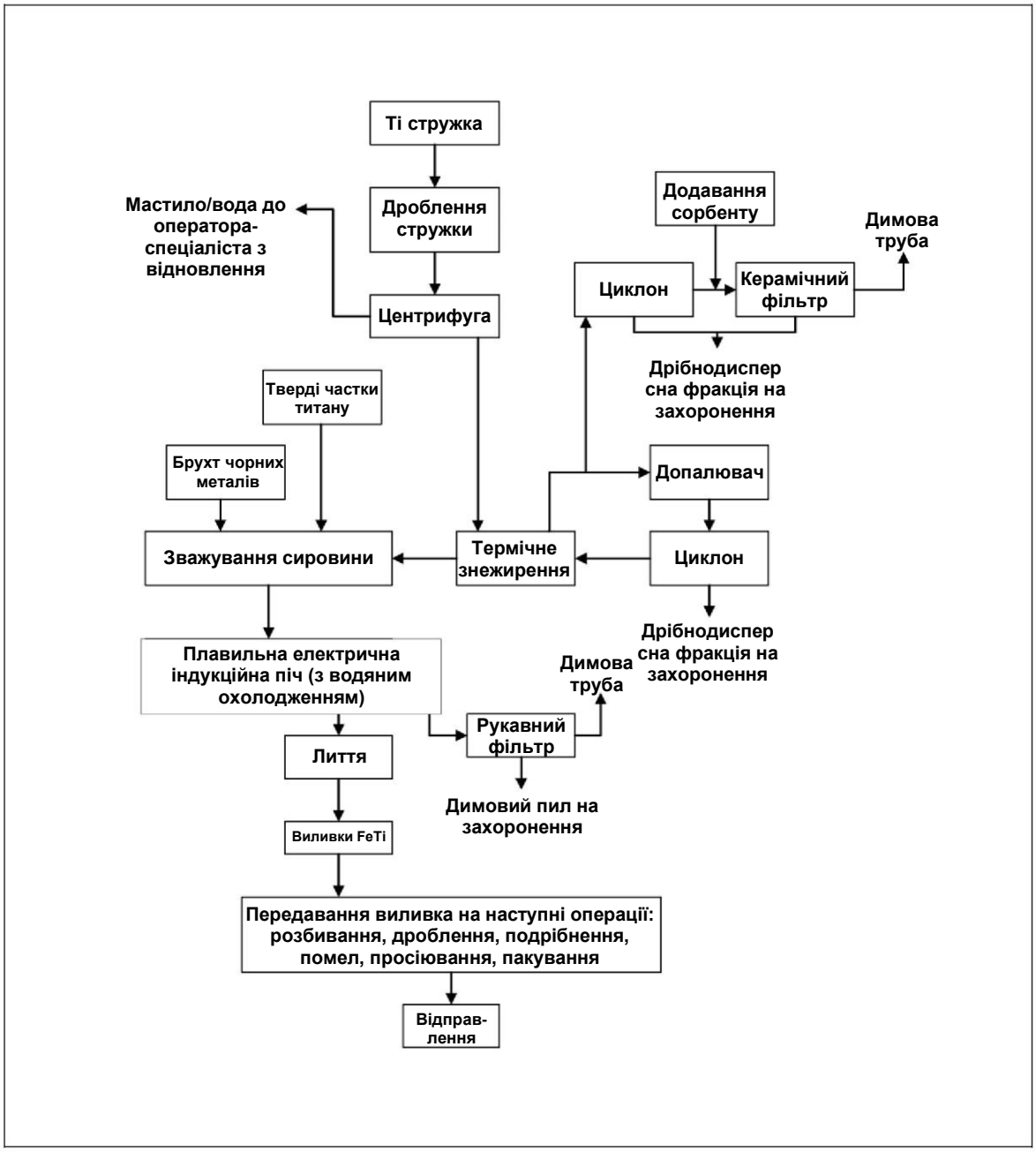


Рисунок 8.16: Схема виробництва феротитану

8.1.9 Феробор

Феробор переважно використовується як добавка в сталеливарному виробництві для підвищення загартовуваності, повзучостійкості та оброблюваності у гарячому стані, оскільки легована бором сталь стійка до окиснення до 900 ºС. Сировиною, необхідною для виробництва феробору, є оксиди бору та борна кислота. У якості відновника використовується вуглець (деревне вугілля), алюміній або магній. Сплави можуть бути отримані за допомогою карботермічного або металотермічного процесу відновлення.

Сировина надходить у різних ємностях, наприклад, бочках, гнучких контейнерах середньої вантажопідйомності для масових вантажів, піддонах, стелажах і тюках, обгорнутих поліетиленом. Матеріали зважуються у закритих бункерах на спеціально розробленій станції зважування. Біг-беги вивантажуються всередині конструкції з герметизувальною мембраною, що запобігає дифузним викидам. Місцева система витяжної вентиляції з виходом у фільтрувальну установку сприяє видаленню будь-якого пилу.

Карботермічне відновлення відбувається в однофазних або трифазних дугових електропечах із зануреною дугою, залежно від вимог до технологічного процесу. Існують деякі варіанти карботермічного процесу. В одному оксиди бору та оксиди заліза відновлюються одночасно деревним вугіллям у дуговій електропечі із зануреною дугою. В іншому процесі борна кислота, залізний порошок та деревне вугілля вступають в реакцію в дуговій електропечі типу Epy.На Рисунку 8.17 показаний процес виробництва феробору та сплаву бору.

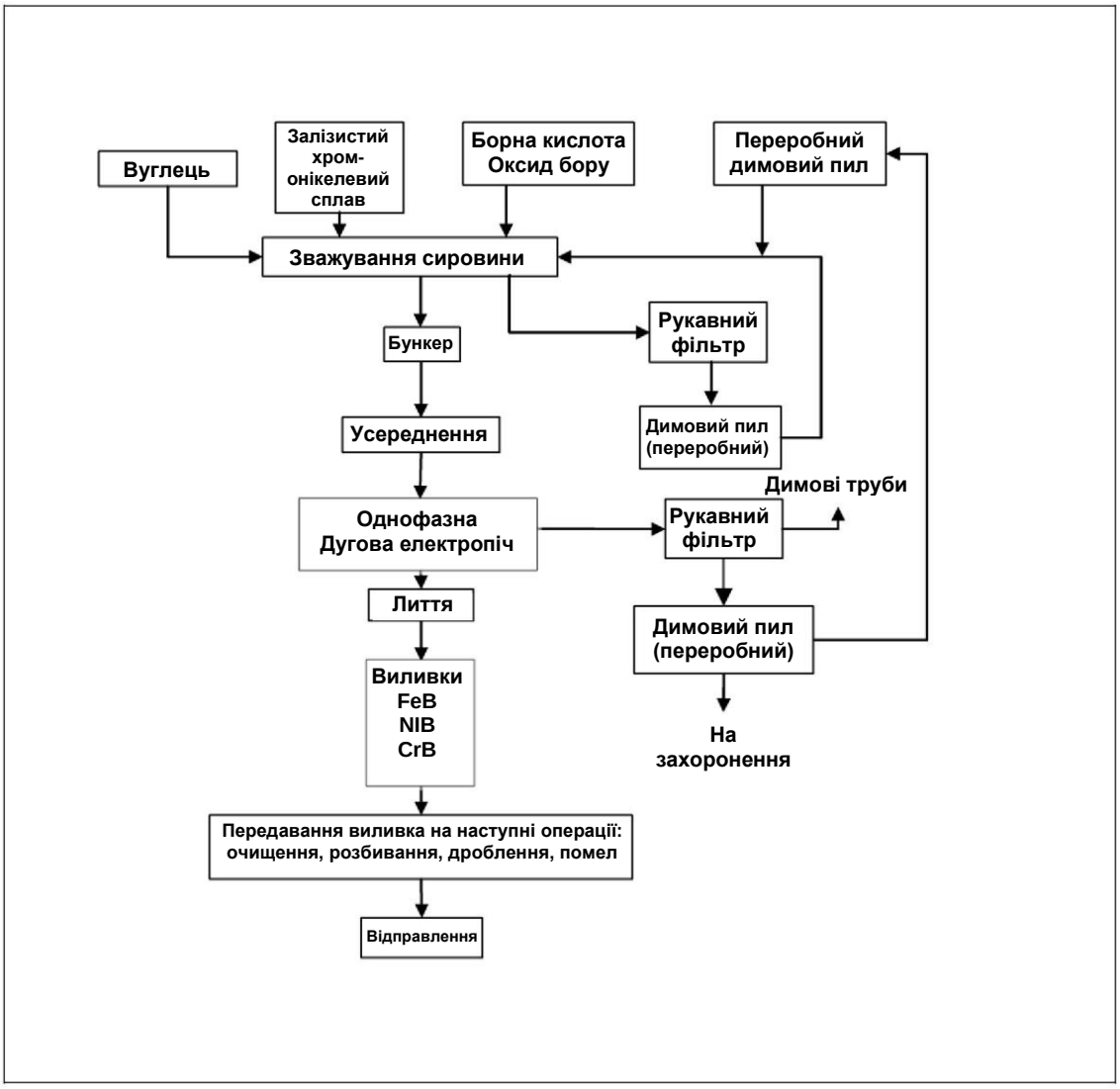


Рисунок 8.17: Процес виробництва феробору та сплаву бору

Металотермічний процес використовує алюміній разом з невеликою кількістю магнію у якості відновника. Ця реакція дуже екзотермічна, і для її протікання в тиглі з вогнетривкою футерівкою потрібно всього кілька хвилин. У реакції може бути запалена як вся шихта, так і вихідна суміш. Після закінчення реакції металевий сплав, що накопичився на дні печі, можна видалити механічно. Потім його можна подрібнити та просіяти, щоб отримати необхідний розмір часток.

8.1.10 Фероніобій

Фероніобій як легувальний агент підвищує корозійну стійкість і зварюваність сталі та особливо запобігає міжкристалітній корозії неіржавкої хромонікелевої сталі. Сировиною, необхідною для виробництва фероніобію, є руди та концентрати, що містять ніобій та оксид заліза. Відновлення відбувається у вигляді алюмінотермічного процесу. Реакція зазвичай відбувається в тиглі з вогнетривкою футерівкою, де може запалюватися вся шихта або тільки її частина, яка потім служить вихідною сумішшю.

Ніобій можна отримати з пірохлорної руди, яка також містить сліди полонію, який є летким радіоактивним металом. Тому плавка пірохлору вимагає підвищеної безпеки та заходів із захисту довкілля.

8.1.11 Виробництво феросплавів з вторинної сировини

Через велику кількість доступної вторинної сировини, особливо оксидів металів від виробництва неіржавкої сталі, відновлення феросплавів, переважно ферохрому, стало важливою частиною феросплавної промисловості. Розвиток різних процесів відбувся вслід за дедалі більшою потребою виробників неіржавкої сталі в обробці своїх відходів для відновлення вмісту цінного металу та обмеження або запобігання скиданню відходів.

Основним компонентом відновлюваних матеріалів є пил з печі, який містить високу частку цинку та інших летких металів (до 30 %), крім основних компонентів неіржавкої сталі, Fe, Cr, Ni та Mo.

Загальний обсяг ринку перероблення таких залишків виробництва неіржавкої сталі в Європі становить приблизно 200 000 т/рік, що відповідає приблизно 100 000 т сплавів. Дві третини цього ринку переробляються та перетворюються на метал та збагачений оксид цинку. Ринок тісно пов'язаний із розвитком промисловості неіржавкої сталі.

8.1.11.1 Сировина та її підготовка

Типовою сировиною для вторинних феросплавів є такі залишки, що утворюються переважно у виробництві неіржавкої сталі:

- пил з фільтра дугової електропечі печі;
- пил з фільтра конвертера;
- усі види дрібнодисперсних часток окалини;
- пил від дробоструминної обробки;
- пил від шліфування.

Хімічні та фізичні характеристики цієї сировини значно відрізняються, але типовий вміст показано у Таблиці 8.3.

Таблиця 8.3: Типові кількості оксидів металів у вторинній сировині

Елемент	Вміст (%)
Cr_2O_3	10–25
NiO	2–15
MoO_3	0–5
Fe_2O_3	30–65
CaO	1–30
Al_2O_3	0,5–4
SiO_2	1–15
MgO	1–5
ZnO	1–20
PbO	0,2–1
CdO	0,001–0,05
CuO	0,1–3
B	0,2–0,5
Cl	0,1–1
F	0–3
Hg	0–15 часток на млн

Залишки переважно є окисненими матеріалами з меншою змінною часткою металів. Металева фракція утворюється переважно в результаті операцій з обробки поверхні, таких як шліфування, дробоструминна обробка тощо. Розмір зерен сировини зазвичай становить від 1,0 до 30 мкм, а деякі матеріали агломеруються та ущільнюються.

Вміст вологи в сировині може варіюватися від 0 % до 35 % через різні етапи газоочищення або інші етапи розділення, передбачені на сталеливарних заводах. Це вимагає певною мірою гнучкої транспортно-завантажувальної системи та використання конвеєрного обладнання, а також сушильного обладнання.

Через різні джерела та якість залишків економічна життєздатність діяльності вимагає мінімального вмісту легувальних елементів: нікелю, хрому і, якщо можливо, молібдену. Залишки від виробництва аустенітної (18–8 або вище) неіржавкої сталі мають відповідний вміст, як правило, > 3 % нікелю і > 12 % хрому, тоді як велика частка залишків від виробництва феритної неіржавкої сталі (17 % хрому), як і раніше, скидається з міркувань вартості обробки.

Асортимент продукції окремого сталеливарного заводу переважно впливає на склад відходів залежно від застосовуваної технології та сировини, що подається. Двома основними проблемами у цьому відношенні є кількість вапна у пилу з фільтра та вміст у ньому цинку. На вміст вапна переважно впливають різні операції на сталеливарному заводі і якість самого вапна. Якість вапна, тобто частка дрібних часток, впливає на загальну кількість вапна, присутню в пилу з фільтра. Вміст цинку в пилу з фільтра та інших металів, наприклад, свинцю, кадмію та ртуті, переважно залежить від якості брухту, що подається в дугову електропіч. Якщо є висока частка брухту, що містить гальванізований брухт, весь вміст цинку збирається в пилу з фільтра сталеливарного заводу.

ПХДД/Ф можуть бути присутніми в пилу з фільтра печі. Присутність та кількість ПХДД/Ф залежать від якості брухту, що подається в цехи плавки неіржавкої сталі, та способу обробки відхідних газів. Домішки пластмаси (сполуки хлору) сприяють утворенню ПХДД/Ф у пилу з фільтра.

Інша окиснена вторинна сировина утворюється в інших галузях. Залежно від того, наскільки її склад відповідає вимогам до металу, її можна додавати у суміш. До цієї категорії відноситься пил з ливарних цехів, відпрацьовані каталізатори на основі Mo та Ni тощо.

Кількість сировини, необхідної для виробництва феросплавів, значно варіюється через різний вміст металів у сировині. Зазвичай в результаті відновлення виробляється 400–600 кг металу на тонну сухої сировини.

8.1.11.2 Попередня обробка

Через наявність у сировині різних небажаних грубодисперсних елементів, наприклад, захисних масок, шматків брухту та вогнетривів, необхідно просіювати сировину. Сировина може поставлятися у біг-бегах або навалом. Біг-беги спорожняються в корпусі, обладнаному окремим обладнанням для знепилення. Потім суха сировина транспортується на вібраційне сито, де видаляються сторонні елементи. Після цього етапу матеріал транспортується в групу силосів, яка використовується як буферний силос перед етапом змішування.

У разі використання дугової печі із зануреною дугою вільне вапно, що міститься в сировині, нейтралізується водою у спеціальному змішувачі перед агломерацією шляхом брикетування. Після витримки під покриттям брикети змішують з іншими інгредієнтами шихти та подають у піч.

8.1.11.2.1 Змішування та сушіння (тільки процес плазмової обробки пилу)

Після просіювання шлакоутворювальні агенти у сировині аналізуються для визначення кількості добавок (пісок, вапно), необхідної для балансування складу шлаку. Необхідну кількість шлакоутворювальних агентів, переважно кварцового піску разом з приблизно 1–10 % води, додають у високотурбулентний змішувач порційної дії для отримання достатньої кількості сипких мікрогранул. Споживання кварцового піску залежить від основності сировини. Проте, зазвичай воно знаходиться в діапазоні 0–100 кг/т сухої сировини.

Метою сушіння матеріалу є отримання однорідної сухої сировини, яку можна пневматичним способом подавати до приміщення печі. Обертова сушарка з непрямим нагрівом, що використовується для цієї мети, нагрівається технологічним газом, з високим вмістом CO. Сушарка обладнана комбінованим газовим та нафтовим пальником. Після сушіння матеріал виходить із сушарки за температури менше ніж 100 ºC. Матеріал знову просіюється перед транспортуванням у проміжний силос.

Фільтрувальна установка використовується там, де здійснюється безперервний моніторинг викидів ртуті в режимі реального часу. Перед поданням в сушарку до матеріалу додається невелика кількість Na_2S для утворення стійких сполук ртуті, щоб запобігти випаруванню ртуті.

8.1.11.3 Процес у дуговій печі з зануреною дугою

Процес відновлення, в якому використовується дугова електропіч з зануреною дугою, дуже подібний до виробництва ферохрому в дуговій електропечі. На одній установці в США використовується обертова подова піч для попереднього відновлення з подальшим плавленням в дуговій печі з зануреною дугою.

Відхідні гази печі піддаються сухому фільтруванню у звичайному тканинному фільтрі. Газ розбавляється навколишнім повітрям у печі з відкритим колошником, де відбувається повне згорання CO. Типовий склад: 90 % повітря (18–20 % надлишку O_2), 7% CO_2 та 3% H_2O.

Очищення відхідних газів здійснюється у двоетапному рукавному фільтрі. Після охолодження до температури нижче 200 ºC пил з печі відокремлюється на першому етапі та збирається для перероблення або обробки для відвантаження. Пил має високу концентрацію цинку і може бути додатково оброблений у вельц-печі до його використання у якості сировини для виробництва цинку. На другому етапі вводять гранули абсорбенту (активоване вугілля або буровугільний кокс). Леткі метали, особливо ртуть і меншою мірою кадмій та свинець, хемосорбуються на поверхні вуглецю. Абсорбент також вловлює сполуки хлору, в тому числі ПХДД/Ф. Цей другий етап працює за температури нижче 130 ºC. Той самий тканинний фільтр уловлює дим від процесу випускання.

Обмежена кількість води вводиться і випаровується у відхідних газах для контролю температури. Технологічна та охолоджувальна вода циркулюють у замкнутому циклі, чиста витрата води виділяється у вигляді пари в димових газах печі та випарними холодильниками.

Отже, у процесі не утворюються рідкі відходи. Близько 60 % водоспоживання покривається шляхом збору дощової води, що потрапляє на промисловий об'єкт (земля та будівлі).

Рідкий шлак відокремлюється від металу під дією сили тяжіння. Використання кількох каскадів забезпечує майже повне розділення. Низька основність шлаку (0,7–0,8) забезпечує утворення стійких силікатів, що не піддаються вилуговуванню. Перед відвантаженням проводяться випробування на хімічний склад та вилуговування, щоб оцінити кожну виробничу партію. Шлак використовується у різних галузях будівельної промисловості після відповідного подрібнення.

Сплав відливається у чавунних формах. Чушки важать 2–4 тонни кожна. Рідкий шлак збирається в траншеї, де він твердне. Після затвердіння металу виливки розбиваються на кілька великих шматків за допомогою гідравлічного молота, щоб полегшити відвантаження та переплавлення. Через вміст нікелю метал відносно міцний (не крихкий), на відміну від більшості феросплавів. Він не потребує додаткової обробки та придатний для транспортування навалом вантажним або залізничним транспортом.

8.1.11.4 Процес плазмової обробки пилу

Після етапів попередньої обробки, описаних вище, сировина транспортується пневматичним способом з приміщення підготовки сировини до приміщення печі [233, COM 2008]

Виплавка відбувається у шахтній печі, що складається з водоохолоджуваного кожуха заввишки 12 метрів та внутрішнім діаметром близько 2,5 метрів. Піч обладнана трьома плазмовими генераторами, що забезпечують передбачений ефект нагрівання плазми 21 МВт теплової енергії. Шахта заповнена шматковим коксом, що діє як відновник. Плазмові генератори розташовані симетрично навколо нижньої частини печі для подання енергії, необхідної для ендотермічних реакцій. Рециркуляційний технологічний газ подається в піч через мідні фурми з водяним охолодженням. Сировина подається через фурми та змішується з плазмоутворювальним газом (приблизно 4000–5000 ºC) у каналі, де відбуваються реакції.

Кокс завантажують у верхню частину печі через рівні проміжки часу. Коксова колона діє як відновник та фільтр для газу, що відводиться з печі. Завдяки рівномірному розподілу тепла в печі та її висоті досягається високий вихід відновлення цінних елементів Ni, Cr, Mo і Fe і порівняно низьке перенесення на етап газоочищення. Перед операцією випускання сировина вводиться у шахту. Через рівні проміжки часу здійснюється випускання з печі шляхом просвердлювання отвору у дні печі, аналогічно до процедури з доменними печами. Гарячий метал розливають за температури близько 1400 ºC у ливарні форми, футеровані вогнетривким матеріалом, у чушки масою 3–4 тонни кожна. Це відповідає виходу металу 40–60 %. Сплав збагачений вуглецем (4–6 %), і його можна гранулювати у водяній ванні, що спрощує обробку та транспортування, або дробити на шматки приблизно по 500–800 кг, залежно від вимог кінцевих користувачів у різних сталеливарних заводах.

Викиди у повітря походять із каналізованих викидів та з дифузних джерел. Технологічний газ охолоджується й очищається в триетапній системі скрубера Вентурі, за якою використовується мокрий електростатичний фільтр. Технологічний газ, що не повертається у шахтну піч, очищується на установці з фільтром для ртуті (селеновий фільтр). Очищений газ спалюється/використовується під час сушіння сировини, у водогрійних котлах або для постачання енергії в комунальну віддалену тепломережу, або спалюється (надлишковий газ). Вихлопні гази системи сушіння сировини очищаються у двох рукавних фільтрах. Близько 50 % цієї енергії для системи централізованого теплопостачання проводиться шляхом прямого теплообміну охолоджувальної води з печі, інші 50 % виробляються у водогрійному котлі. Близько 50 % технологічного газу рециркулюється в плазмові генератори через компресор і використовується як газ-теплоносій. Викиди ртуті в газовому потоці після спалювання вимірюються безперервно в режимі реального часу [233, COM 2008].

Осад на фільтрі зі скрубера має високу концентрацію цинку і може бути додатково оброблений у вельц-печі до його використання у якості сировини для виробництва цинку.

Шлак відокремлюють від металу під дією сили тяжіння та знімання шлаку з поверхні металу. Інертний шлак тече в траншею, де його регулярно викопують та одночасно дроблять. Шлак також можна гранулювати. Потім шлак відокремлюють з межами об'єкта від шматків металу. Виходячи з досвіду, основність становить приблизно 1,0 (CaO, SiO_2), що означає, що цей вид шлакового продукту може продаватися як матеріал для будівництва доріг, що не піддається вилуговуванню. Проведено тривалі масштабні випробування на вилуговування, в яких шлак піддавався впливу дощової води протягом 1,5 роки. Шлак виявився придатним матеріалом для будівництва доріг через дуже низьку вилуговуваність металів і характеристик, подібних до характеристик природних мінеральних порід.

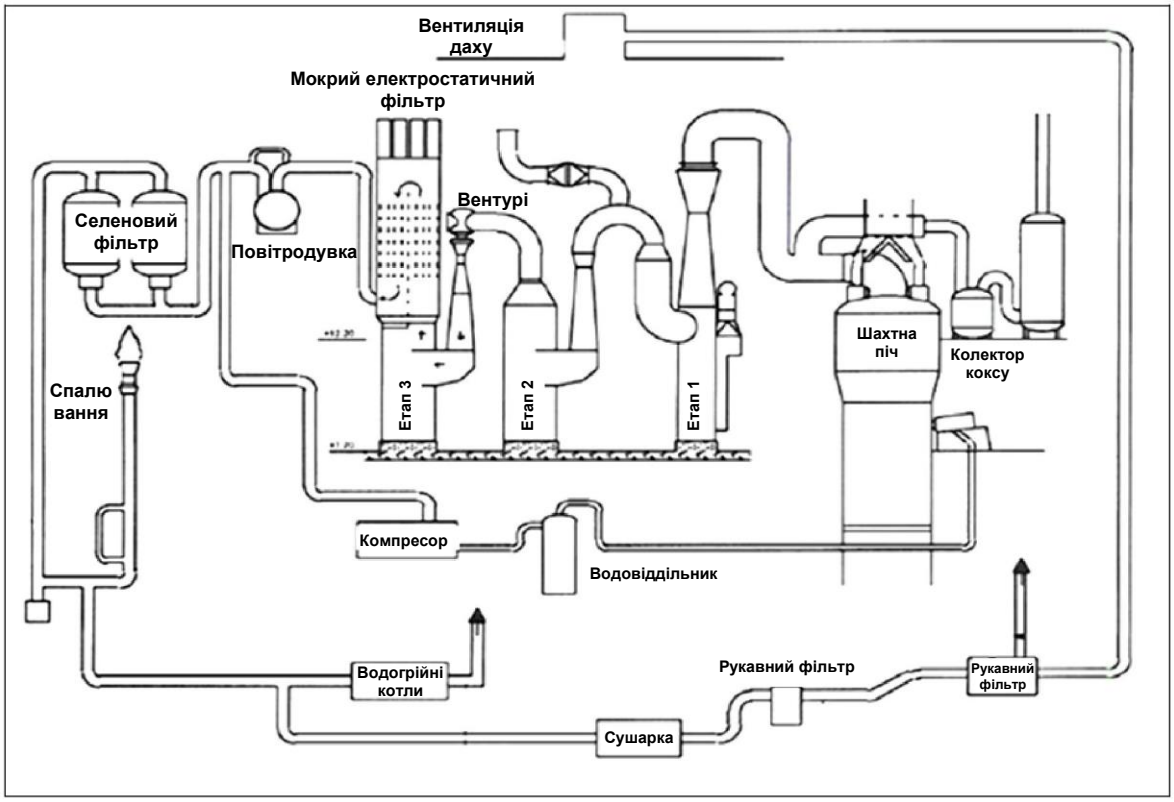


Рисунок 8.18: Плавильний завод з процесом плазмової обробки пилу (Швеція)

8.1.12 Короткий огляд плавильних систем, що використовуються у феросплавній промисловості

Таблиця 8.4: Короткий огляд плавильних систем, що використовуються у феросплавній промисловості

Система виплавки	Виробництво	Уловлювання та зниження викидів газу	Переваги	Недоліки
Відкрита дугова електропіч з зануреною дугою з трьома електродами	Відновлення сплавів FeCr, FeMn, SiMn, FeSi, FeNi, FeV, Si	Уловлюється ковпаком та очищається в рукавному фільтрі	• Надійна проста конструкція • Низькі інвестиційні витрати та витрати на обслуговування • Можна використовувати майже будь-яку сировину та здійснювати попереднє відновлення • Переплавлення та повторне використання пилу печі • Процес виплавки можна легко контролювати • Утворення гарячої води	• Високе споживання електроенергії • Відсутність регенерації тепла, крім утворення гарячої води • Великі обсяги відхідних газів • Необхідність у великих системах контролю забруднення • Вищий вплив на довкілля через обсяг відхідних газів та тепла, що надходить у навколишнє повітря • Утворення Cr(VI) під час виробництва FeCr
Відкрита дугова піч з зануреною дугою з одним електродом	Спеціальні феросплави, FeV, FeB	Уловлюється ковпаком та очищається в рукавному фільтрі	• Надійна проста конструкція • Висока гнучкість виробництва • Низькі інвестиційні витрати та витрати на обслуговування • Можна використовувати практично будь-яку сировину • Може переплавляти дрібнодисперсну фракцію та здійснювати попереднє відновлення	• Відкрита піч з одним електродом зазвичай використовується у виробництві спеціальних сплавів у невеликих кількостях. Таким чином, вищезазначений недолік є відносно меншим
Напівзакрита дугова піч з зануреною дугою	FeCr, FeMn, SiMn, FeNi FeSi, Відновлення сплавів металевого Si, спеціальні феросплави	Уловлюється ковпаком та очищається в рукавному фільтрі	• Більше гнучкості з точки зору сировини • Регенерація енергії у вигляді електроенергії та/або пари • Утворення гарячої води • Менша установка фільтрування відпрацьованих газів • Легке управління процесом виплавки • Зменшений вплив на навколишнє середовище	• Відносно високе споживання енергії у відсутності попереднього відновлення • Складніша система • Вищі витрати на технічне обслуговування • Можна використовувати обмежену кількість дрібнодисперсних часток без агломерації • Утворення Cr(VI) під час виробництва FeCr
Закрита дугова піч з зануреною дугою	FeCr, FeMn, Si Mn, FeNi, спеціальні феросплави	Герметизована піч з мокрим скрубером або сухою металевою фільтрувальною сіткою	• Низький вплив на навколишнє середовище • Регенерація енергії у вигляді газу з високим вмістом CO у якості вторинного палива • Низький обсяг відхідного газу • Досить проста система	• Потреба в кусковій або агломерованій сировині великого розміру • Відхідні гази складаються з CO (вибухонебезпечний та отруйний) • Система мокрого очищення газу • Стічні води та осад необхідно очищати або використовувати повторно
Закрита дугова піч із зануреною дугою з підігрівом в обертовій печі	FeCr	Герметизована піч з мокрим скрубером	• Низьке споживання електроенергії • Енергоефективна • Низький вплив на навколишнє середовище • Збільшена потужність печі	• Потреба в більш точних кількостях твердої кускової руди або концентратів великого розміру, які повинні бути агломеровані • Агломераційна установка або установка з гранулювання • Вищі інвестиційні витрати • Невелика гнучкість у виборі сировини • Комплексна система • Система мокрого очищення газу
Закрита дугова піч з зануреною дугою з шахтною піччю попереднього нагріву	FeCr	Герметизована піч з мокрим скрубером	• Більше гнучкості з точки зору сировини • Низьке споживання енергії • Відновлення енергії • Низький вплив на навколишнє середовище • Підвищення продуктивності печі	• Потреба в кусковій руді або агломерованій сировині великого розміру • Система мокрого очищення газу

Система виплавки	Виробництво	Уловлювання та зниження викидів газу	Переваги	Недоліки
Закрита дугова піч із зануреною дугою з попереднім відновленням в обертовій печі	FeCr	Герметизована піч з мокрим скрубером	• Дуже низьке споживання електроенергії • Регенерація тепла, використання всього обсягу відхідних газів • Вище споживання вугілля, менше споживання коксу • Підвищення продуктивності печі	• Вищі інвестиційні витрати • Система мокрого очищення газу • Дуже складна система • Відсутність гнучкості у поданні сировини • Відносно високі витрати на технічне обслуговування • Можливість утворення відкладень
Плазмово-дугова піч	FeCr	Герметизована піч	• Можливість використання будь-якої руди, крім кускової руди • Використання дрібнодисперсної фракції без агломерації • Відновлення енергії • Використання вугілля замість коксу	• Вищі інвестиційні витрати • Високе споживання енергії • Комплексна система • Менший час роботи • CO в системі під тиском
Піч постійного струму	FeCr	Герметизована піч	• Кускова руда не може використовуватись • Використання дрібнодисперсної фракції без агломерації • Низькі інвестиційні витрати • Вища щільність енергії	• Введення з невідомими труднощами • Проблеми з нижнім електродом у разі перегрівання • Потреба в попередньо обпалених електродах
Тигель з вогнетривкою футерівкою	Спеціальні феросплави, FeMo, FeV	Уловлюється ковпаком та очищається в рукавному фільтрі	• Низькі інвестиційні витрати • Висока гнучкість виробництва	• Більший обсяг відхідного газу • Менш ефективна система уловлювання газів
		Поміщений в реакційну камеру, з'єднану з тканинним фільтром	• Низькі інвестиційні витрати • Висока гнучкість виробництва • Ефективна система уловлювання диму • Менший обсяг відхідного газу	• Трохи вищі інвестиційні витрати
Багатоподова піч	Випалювання молібденіту	Мокрий скрубер	• Перевірена технологія • Може вироблятися сірчана кислота	• НД
Процес плазмової обробки пилу	Відновлення феросплавів	Герметизована піч	• Використання дрібнодисперсної фракції без агломерації • Відновлення енергії • Висока щільність енергії • Висока гнучкість виробництва	• Вищі інвестиційні витрати • Високе споживання енергії • Комплексна система • CO в системі під тиском • Система мокрого очищення газу

Примітка: НД = немає даних
Використання відкритих печей для виробництва FeCr обмежене виробництвом Cr(VI).
Для Mn та FeMn слід включити етап видалення ртуті. Це детально описано в Главі 2.
Джерело: [405, Euroalliages 2012]

8.2 Поточні рівні викидів та споживання

У виробництві феросплавів утворюються переважно пил та тверді відходи/побічні продукти, а також споживається значна кількість енергії. Коли для зменшення викидів застосовуються методи усунення забруднення довкілля, відбувається вплив на різні компоненти довкілля. Загалом, у Розділах з 8.2.1 по 8.2.6 описуються найважливіші екологічні проблеми у процесах виробництва феросплавів.

Споживання сировини та енергії
- Споживання енергії та сировини.

Викиди в повітря
- Викиди пилу та диму, в тому числі металів.
- SO_2, NO_X, газ CO, CO_2, поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), ЛОС, ПХДД/Ф та леткі метали.

Шумове випромінювання та вібрації
- Пов'язані із машинами та випуском охолоді.

Тверді залишки, відходи та побічні продукти
- Пил та осад.
- Шлак.

Викиди стічних вод
- Стічні води з систем мокрого очищення.
- Стічні води від охолодження шлаку та гранулювання металів.
- Скидання з циклів охолоджувальної води.

Відновлення енергії
- Регенерація енергії внаслідок використання відхідних газів з високим вмістом CO із закритих печей.
- Регенерація енергії з високотемпературних відхідних газів у вигляді електроенергії або гарячої води для опалення.
- Регенерація енергії з охолоджувальної води.

8.2.1 Споживання сировини та енергії

Витрата сировини переважно залежить від вмісту металів у руді або концентраті, виходу металу в процесі печі, складу продукту та втрат під час поводження з сировиною та продуктом (транспортування, просіювання тощо) та обробки (рафінування, затвердіння, дроблення, пакування тощо). Вищий вихід призводить до меншої витрати сировини та енергії на тонну металу для конкретного процесу. Для виробництва спеціальних сплавів може знадобитися чистіша сировина, що має менш сприятливі технологічні властивості, що дає низький вихід і вище споживання сировини та енергії на тонну виробленого металу.

Споживання енергії на тонну металу дуже відрізняється від одного феросплаву до іншого. Однією з причин є різниця у силі хімічного зв'язку з киснем для різних елементів у руді та температурі, необхідній для протікання хімічних реакцій. Кремній, наприклад, має вищу енергію зв'язку та потребує вищих температур процесу, ніж марганець. Іншими причинами є відмінності у вмісті металу в руді або концентраті та кінцевому продукті, а також вихід металу, якого можна досягти для різних феросплавів. Останній переважно визначається кількістю шлаку, що утворюється на тонну металу, і обсягом пари металів, що міститься в газах, присутніх у виробничій печі за різних температур.

Дані про споживання сировини та енергії, зазначені в цьому розділі, стосуються виробництва 1 тонни випущеного рідкого металу. Наприклад, стандартний феросиліцій можна випускати безпосередньо у форми, заповнені малоцінною дрібною фракцією з попередньо подробленого металу, додаючи кілька відсотків до ваги випуску. Це забезпечує

низькі значення споживання сировини та енергії на тонну проданого продукту. З іншого боку, виробництво високочистого феросиліцію з низьким вмістом титану вимагає надзвичайно чистої сировини з менш сприятливими технологічними властивостями та рафінуванням після льотки, часто з використанням як сталерозливного ковша, так і ковша рафінування. Бідніша сировина дає менший вихід кремнію в процесі в печі, а обробка після льотки призводить до значних втрат через окиснення елементів, що видаляються під час рафінування, недосконалого розділення шлаку і металу і через метал, що твердне у використовуваних ковшах. Тому рівні споживання сировини та енергії на тонну проданого продукту набагато вищі для цієї якості. Значення споживання наведені у вигляді інтервалів, що охоплюють нормальні коливання виходу металу.

Вказана прихована хімічна енергія згорання вільного вуглецю у вуглецевих матеріалах, навіть попри те, що цей вуглець використовується як відновник для руди в хімічних реакціях з високим споживанням енергії, а не для виробництва енергії шляхом спалювання з киснем. Значну кількість летких компонентів у вугіллі не можна, наприклад, використовувати у процесі виробництва металевого кремнію та феросиліцію, оскільки вони не вступають у реакцію з рудою. Він також не додає енергії в частинах печі, де енергія необхідна. Таким чином, споживання енергії у виробництві феросплавів завжди визначається кількістю електроенергії, що використовується на тонну випущеного металу. Значення в таблицях стосуються тільки процесу виробництва металу і не включають допоміжну енергію для роботи різних допоміжних систем, таких як вентилятори, теплообмінники, поводження з сировиною, підтримання тепла ковшів тощо. Допоміжна енергія становить від 5 % до 10 % від значень, наведених у Таблиці 8.5, Таблиці 8.6, Таблиці 8.7, Таблиці 8.8, Таблиці 8.9 та Таблиці 8.10.

Щоб уникнути хибних відмінностей між альтернативними процесами, важливо надавати лише валове споживання енергії. Джерела енергії, що йдуть у виробничий процес, складаються з електричної енергії та прихованої хімічної енергії вуглецевого матеріалу. Один кг вуглецю має потенційний валовий вміст енергії при перетворенні CO_2 приблизно 8,8 кВт-год або приблизно 7,7 кВт-год/кг коксу. Якщо використовувати ці цифри, можна розрахувати валове споживання енергії для виробництва феросплавів масового застосування. Валовий обсяг викидів CO_2 буде прямо пропорційний кількості коксу, спожитого в процесі. Споживання допоміжними системами не включено до даних наступних таблиць. Допоміжна енергія зазвичай становить від 5 % до 10 % продемонстрованих значень.

Таблиця 8.5: Дані про валове споживання для виробництва ферохрому у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну виробленого сплаву

Сировина	НС FeCr				FeCr з низьким вмістом вуглецю
Хроміт (кг/т)	2400–3000	2300–2400 ([2])	НД	НД	1600
Відновник (кг/т)	550–700	500–550 ([2])	600 ([3])	НД	675 (FeSiCr)
Флюси (кг/т)	100–400	200–300 ([2])	НД	НД	1100
Інші (кг/т)	Електрод 8–25 Переплавлення 0–300	Електрод 7–10	НД	НД	Пісок < 100 кг Si < 40 кг Електрод 10 кг Борна кислота 3 кг
Електроенергія (кВт-год/т)	3800–4500 ([1])	3100–3500 ([2])	2600–3100 ([3])	4500 ([4])	3400 ([5])
Потенційна енергія внаслідок використання коксу (кВт-год/т)	4235–5390 ([1])	3850–4235 ([2])	4620 ([3])	НД	НЗ
Загальна витрата енергії (кВт-год/т)	8035–9890 ([1])	6950–7735 ([2])	7220–7720 ([3])	НД	3400

([1]) Дані про споживання звичайною відкритою дуговою піччю з зануреною дугою, кускову або дрібну руду без процесів агломерації, підігріву та/або попереднього відновлення.
([2]) Дані про споживання у випадку використання підігрітих котунів у якості сировини та без переплавлення.
([3]) Дані про споживання у випадку використання попередньо відновлених котунів у якості сировини. У цьому випадку споживання енергії залежить від ступеня металізації.
([4]) Піч постійного струму без процесу попереднього відновлення.
([5]) Зазначене споживання енергії стосується перетворення FeSiCr на LC FeCr. З урахуванням виробництва проміжного продукту — FeSiCr — споживання електроенергії становить 8050–9500 кВт-год/т, потенційне споживання енергії внаслідок використання коксу — 5750–6400 кВт-год/т та загальна витрата енергії — 13 800–15 900 кВт-год/т.
Примітка:
Вищезазначене споживання електроенергії та відновника стосується всього виробничого процесу. Споживання електроенергії становить близько 95 % загального споживання. Більшу частину від 5 %, що залишилися, становить електроенергія, необхідна для очищення відхідних газів.
НД = немає даних.
НЗ = не застосовується.
Джерело: [226, Nordic Report 2008]

Як правило, вищий вміст хрому в сплаві потребує більше енергії для виробництва. Витрата коксового дріб'язку зазвичай становить 60–90 кг на тонну спеку. Зі споживанням спеку 2–2,5 т на тонну ферохрому це становить 120–225 кг дріб'язку на тонну ферохрому. Зовнішнє споживання енергії піччю зі сталевою стрічкою для спікання становить від 200 кВт-год до 400 кВт-год на тонну котунів. Енергія надходить від коксового дріб'язку та CO газу від плавки. Споживання коксового дріб'язку становить 20–40 кг на тонну котунів, а частка CO у якості зовнішньої енергії становить близько 20–40 %. Зовнішня енергія для сушіння коксу в шахтній печі становить близько 200 кВт-год на тонну коксу, що відповідає 100 кВт-год на тонну FeCr.

Витрата електродної пасти Сьодерберга коливається від 8 кг до 25 кг на тонну FeCr, при цьому найменша витрата досягається у випадку використання підігрітої або попередньо відновленої та агломерованої шихти.

Вода використовується у виробництві ферохрому як технологічна вода, так і як охолоджувальна вода. Технологічна вода використовується для промивання та гранулювання шлаку. Якщо обробка технологічної води здійснюється у замкнутому циклі, зазвичай використовується 3–10 $м^3$ на тонну ферохрому. Для охолодження також використовують 5–15 $м^3$ на тонну ферохрому.

Окиснені відходи сталеливарного заводу, пил та окалина вилучаються з використанням процесів, адаптованих для виробництва високовуглецевого ферохрому. Споживання енергії на металургійне відновлення показане в Таблиці 8.6 для типового вмісту відновлюваних металів. Використовуються два типи печей: звичайні дугові печі із зануреною дугою та шахтні плазмові печі постійного струму.

Таблиця 8.6: Дані про споживання для відновлення феросплавів із залишків зі сталеливарного заводу у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну відновленого металу

Компонент	Звичайна дугова електропіч із зануреною дугою	Процес плазмової обробки пилу
Залишки (кг/т)	1650–2500	1650–2500
Відновник (кг/т)	400–500	400–500
Електроенергія (кВт-год/т)	3000–3400	2800–3800
Вміст металу (вихідний потік)	(%)	(%)
Ni	3–15	3–15
Cr	15–25	15–25
Mo	1–5	1–5
C	4–6	4–6
Si	0,5–8	0,1–1
Fe	Баланс	Баланс
Вода ($м^3$/т)	1,0–1,5	2,8–3,2
Відновлення сплавку (вихідний потік):	(%)	(%)
Cr	90–95	90–95
Ni	90–98	90–98
Mo	90–98	90–98
Fe	90–98	90–98
Джерело: [226, Nordic Report 2008]		

Споживання енергії та сировини для виробництва феросиліцію, металевого кремнію та силікокальцію надано у вигляді конкретних вхідних ресурсів у Таблиці 8.7. Зазначена кількість електроенергії стосується тільки процесу в печі та 1 тонни рідкого металу, випущеного з печі із вказаним виходом кремнію, електричним ККД печі та втратами вуглецю у верхній частині печі.

Таблиця 8.7: Дані про споживання для виробництва феросиліцію, кремнію та силікокальцію у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну виробленого сплаву

	Феросиліцій (75 % Si)	Металевий кремній	Силікокальцій
Кварцит (kg/t)	1800	2700	1500
Відновник (кг/т)	1100–1200	1150–1500	925
Електрод (кг/т)	40	100 (1)	120
Котуни залізної руди (кг/т)	300–350	НЗ	НЗ
Вапняк (кг/т)	НЗ	НЗ	900
Тріска (кг/т)	0–900	1000–2000	НЗ
Електроенергія (кВт-год/т)	9000	10 800–12 000 ([2])	9500
Потенціальна енергія у разі використання коксу або вугілля (кВт-год/т)	10 500 (кокс/вугілля)	10 120–13 200 (вугілля)	7122 (кокс)
Загальна витрата енергії (кВт-год/т)	19 250	20 920–25 200	16 622
([1]) Деякі виробники кремнію використовують комбінований електрод графітовий/Сьодерберга. Мета полягає в тому, щоб використати технологію Сьодерберга, але зменшити домішки заліза, викликані корпусом електрода. ([2]) Ідеальне споживання енергії на виробництво металевого кремнію складає 10-100 кВт-год/т (теплота реакції = 8 кВт-год/т, втрати тепла з металом = 0,9 кВт-год/т та втрати тепла з відхідним газом = 1,2 кВт-год/т). Примітка: НЗ = Не застосовується. *Джерело*: [226, Nordic Report 2008]			

Комбінація технології Сьодерберга та графітової серцевини використовується для виробництва металевого кремнію. Ціль цього складеного електрода полягає в тому, щоб знизити вартість електрода, зберігаючи при цьому домішки заліза, викликані корпусом електрода, на прийнятному рівні для металевого кремнію.

Конкретні вхідні ресурси для виробництва різних сортів феромарганцю, а також силікомарганцю та процесу спікання марганцевих руд та концентратів наведені в Таблиці 8.8 нижче.

Таблиця 8.8: Дані про споживання для виробництва спеку марганцевої руди, феромарганцю та силікомарганцю у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну виробленого сплаву

Джерело	Спік	HC FeMn	FeMn із середнім вмістом вуглецю/з низьким вмістом вуглецю (силікотермічний процес)	FeMn із середнім вмістом вуглецю/з низьким вмістом вуглецю (процес зневуглецювання)	SiMn (стандартний та LC SiMn)
		ДЕП			
Руда ([1]) (кг/т)	1000–1300	1900–2400	1000–2000	2200–2800	500–2000
Кокс або вугілля (кг/т)	100	410–500	200–300	480–580	400–700
Газ ($м^3$/т)	150–200	НЗ	НД	НЗ	НЗ
Електрод (кг/т)	НЗ	8–30	6–8	9–29	10–50
Вода ([2]) ($м^3$/т)	12–18	1,5–40 ([3]) охолоджувальна вода	Вода для охолодження	2–50 ([3])	1,5–40 ([3]) охолоджувальна вода
Інші (кг/т)	НЗ	НЗ	Флюси 500–1000 SiMn 700–1000	Кисень 60–100 $м^3$/т	FeMn шлак 400–2500
SiMn (кг/т)	НД	НД	500–1200	НД	НД
Електроенергія (кВт-год/т)	100	2200–3200	1400–2000	2600–3700	3800–6000
Потенційна енергія внаслідок використання коксу (кВт-год/т)	900–1000	3800–4100	5700–13 300	4400–4800	3100–5000
Загальна витрата енергії (кВт-год/т)	1000–1100	6000–7300	7300–15 300	7000–8500	6900–11 000

([1]) Споживана сировина, як правило, містить переробні матеріали, такі як пил та осади з системи боротьби з викидами.
([2]) Споживання води залежить від обладнання для обробки води та коливається від 20 $м^3$/т до 40 $м^3$/т у відкритих циклах та від 1,5 $м^3$/т до 5 $м^3$/т у замкнутих циклах.
([3]) Споживання води пов'язане з мокрим знепиленням. Примітка: кремній можна замінити алюмінієм.
ДЕП = дугова електропіч
НД = немає даних. НЗ = не застосовується.
Джерело: [226, Nordic Report 2008] [370, France 2009]

Конкретні вхідні ресурси для виробництва феронікелю наведені у Таблиці 8.9 нижче.

Таблиця 8.9: Дані про споживання для виробництва сплавку феронікелю у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну виробленого сплаву

Джерело	FeNi сплав (~ 20 % Ni)
Руда (т/т)	20
Кокс або вугілля (т/т)	4
Газ ($м^3$/т)	0,006
Електроди (т/т)	0,048
Інше (неочищене мастило, вапняк, цемент) (кг/т)	0,57
Електроенергія (МВт-год/т)	10
Джерело: [406, Greece 2013]	

Наявна інформація про споживання сировини та енергії на виробництво різних спеціальних феросплавів надана в Таблиці 8.10.

Таблиця 8.10: Дані про споживання для виробництва спеціальних феросплавів у вигляді конкретного вхідного потоку сировини на тонну виробленого сплаву

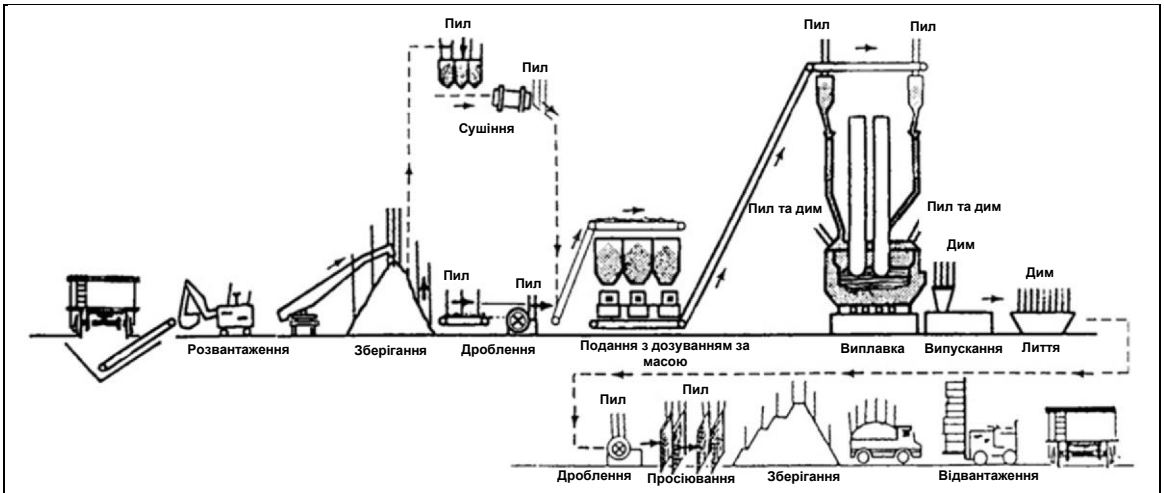
Компонент	FeV	FeMo ([1])	FeTi	FeB
Оксиди металів (кг/т)	1100–2000 ([2])	НД	НД	НД
Електроенергія (кВт-год/т)	2200–2800	160–405	770	6000–11 000
Газ ($м^3$/т)	НЗ	148–155 МДж/т	55	75
Вода ($м^3$/т)	НД ([3])	НЗ	НВ	0,3
([1]) Дані про споживання для виробництва FeMo наведені із розрахунку на 1 тонну молібдену. ([2]) Надані дані включають кількість V_2O_3 та V_2O_5. ([3]) Споживання води сильно залежить від об'єкта і тому не є репрезентативним. Примітка: НД = немає даних. НЗ = не застосовується у цьому виробничому процесі. НВ = Не виміряно. *Джерело*: [226, Nordic Report 2008]				

Процес випалювання молібденітових концентратів є екзотермічним процесом, оскільки реакція окиснення відбувається з запаленням. Отже, зовнішня енергія у формі електроенергії потрібна лише для механічної роботи багатоподових печей. Природний газ використовується для сушіння концентратів, запалення флотаційного масла і підвищення температури до рівня, на якому запускаються екзотермічні реакції та видаляється сірка, що залишилася.

8.2.2 Викиди в повітря

8.2.2.1 Викиди пилу та диму

Залежно від необхідної сировини та використовуваних операцій на установках, наприклад, дроблення, сушіння, спікання, відновлення, випускання та обробки продуктів, найбільш важливими джерелами викидів у довкілля є пил та дим. На Рисунку 8.19 показані потенційні точки викидів пилу та диму від заводу з виробництва феросплавів. Основними джерелами дифузних викидів є вантажно-розвантажувальні роботи для переміщення сировини від причалу до бункера для зберігання, транспортування сировини з бункерів для зберігання у відновлювальну піч, процеси печі, випускання, транспортування та рафінування металу, процеси лиття та дроблення, просіювання та пакування.



Джерело: [34, UNECE 1995]

Рисунок 8.19: Схема виробництва феросплавів із зазначенням можливих точок викидів у повітря

Деяка сировина містить значну кількість дрібних часток та пилу. Під час розвантаження та зберігання сировини може утворюватися пил, коли матеріал падає з одного конвеєра на інший. Пил також може утворюватися, якщо конвеєр працює дуже швидко (тобто, більше 3,5 м/с). У випадку використання фронтального навантажувача пил виділяється протягом усього шляху.

Пил, що утворюється в процесі відновлення, уловлюється витяжними ковпаками або, у разі використання закритої печі, - шляхом герметизації самої печі і передається на установку з очищення для видалення пилу. Знепилення відхідних газів закритих печей зазвичай досягається за допомогою мокрих скруберів або систем сухого очищення, тоді як для відкритих і напівзакритих печей можна використовувати рукавні фільтри. Як правило, у разі використання закритої герметизованої печі обсяг відхідних газів можна зменшити в 50–75 разів, а у разі використання напівзакритої печі — в 10–20 разів. Інвестиційні витрати на системи очищення відхідних газів для закритих печей значно нижчі, ніж для відкритих печей.

Відхідні гази від випускання складаються з пилу та диму від процесу в печі та різання кисневим списом, пилу від свердління, диму від осаду рідин, що випаровуються, якщо використовується пушка для випускання, та диму від усіх відкритих поверхонь металу та шлаку. Цей дим, що утворюється в результаті випускання, містить невелику кількість CO або CO_2, але переважно — оксиди металів, що беруть участь у процесі відновлення.

У Таблиці 8.11, Таблиці 8.12, Таблиці 8.13 та Таблиці 8.14 надані наявні дані про викиди пилу у виробництві різних феросплавів.

Таблиця 8.11: Викиди пилу від виробництва ферохрому з розрахунку на виробництво однієї тонни сплаву

Джерело	НС FeCr		FeCr з середнім вмістом вуглецю		FeCr з низьким вмістом вуглецю	
	(кг/т)	(мг/нм^3)	(кг/т)	(мг/нм^3)	(кг/т)	(мг/нм^3)
Обробка сировини	0,01–0,02	f ([1])	НД	f ([1])	f ([1])	
Сушіння	0,01–0,02 (кокс)	1–50	НД	НД	0,082 (руда)	5
Дроблення	0,002	НД	НД	НД	0,003	3
Гранулювання/спікання ([2])	0,01–0,02 /т котунів	1–15	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Станція дозування	0,01–0,02	1–30 ([2])	НД	НД	0,024	5
Попереднє нагрівання	0,001–0,005	1–15 ([2])	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Піч для виплавки	0,02–0,1 ([3])	1–100 ([2])([4])([5])	НД	НД	0,101	8
Випускання	([6])	5–12 ([2])	НД	НД	([7])	([7])
Лиття	([6])	5–12 ([6])	НД	НД	0,2–0,4 ([2])	3–15 ([2])
Обробка шлаку	НВ	НВ	НД	НД	0,04	10–15
Обробка продукту (дроблення, просіювання, зберігання тощо)	0,02–0,05	r	НД	НД	НД	НД

([1]) Втрати матеріалу, викликані обробкою та зберіганням сировини, оцінюються як менше ніж 1 %.
([2]) Наведені викиди пилу залежать від типу печі та метода зниження викидів відхідних газів. Наприклад, більшість рукавних фільтрів допомагають досягти рівня менше ніж 5 мг/Нм^3. Повідомляється, що викиди пилу з печі для спікання з використанням каскадного мокрого скрубера складають менше ніж 5 мг/Нм^3.
([3]) Вміст Cr(VI) в пилу з печі складає від 5 часток на млн до 100 часток на млн у закритій печі та від 1000 часток на млн до 7000 часток на млн у відкритій печі.
([4]) Це показує діапазон між хорошими та поганими виконавцями.
([5]) Газ із закритої печі використовується як паливо після мокрого очищення. Газ спалюється тільки у випадку тимчасової відсутності споживача.
([6]) Відбір проб з вентиляційного повітря, що виходить з приміщення печі, в тому числі з зон випускання та лиття, протягом тривалих проміжків часу може дати уявлення про середні значення. Він показує середню концентрацію пилу від 5 мг/Нм^3 до 12 мг/Нм^3.
([6]) Газ із закритої печі використовується як паливо після мокрого очищення. Газ спалюється тільки у випадку тимчасової відсутності споживача.
([7]) Включено до джерела «плавильна піч»
Примітка: НД = немає даних. НЗ = не застосовується. НВ = Не виміряно.
f = Дифузні викиди пилу. r = Пил, що повертається у технологічний процес.
Джерело: [226, Nordic Report 2008]

Таблиця 8.12: Викиди пилу від виробництва феросиліцію та металевого кремнію з розрахунку на виробництво однієї тонни сплаву

Джерело	FeSi		Si та CaSi	
	(кг/т)	(мг/нм^3)	(кг/т)	(мг/нм^3)
Обробка сировини	f ([2])	f ([2])	f ([2])	f ([2])
Сушіння тріски	НВ	НВ	НВ	НВ
Дроблення	НВ	НВ	НВ	НВ
Станція вагового дозування	f	f	f	f
Виплавка	0,1–2	1–20 ([1])	0,1–1,5	1–20 ([1])
Випускання	([3])([4])	([3]) 5–12 ([4])	([3])([4])	([3]) 5–12 ([4])
Лиття	([4])	5–12 ([4])	([4])	5–12 f ([4])
Рафінування	([3])	([3])	([3])	([3])
Дроблення продукту	0,3–0,5	r	0,3–0,5	r

([1]) Використовуючи рукавний фільтр, заводи досягають викидів пилу нижче 5 мг/Нм^3, що відповідає ступеню очищення вище 99,5 %. Кремнеземний пил уловлюється у фільтрі як побічний продукт (мікрокремнезем)
([2]) Втрати матеріалу, викликані обробкою та зберіганням сировини, оцінюються приблизно в 0,2 %.
([3]) Якщо дим та пил із зони випускання уловлюються та очищаються у рукавному фільтрі, концентрація пилу знаходиться в тому ж діапазоні, що й концентрація пилу, що викидається з плавильної печі.
([4]) Відбір проб з вентиляційного повітря, що виходить з приміщення печі, в тому числі з зон випускання та лиття, протягом тривалих проміжків часу може дати уявлення про середні значення. Він показує середню концентрацію пилу від 5 мг/Нм^3 до 12 мг/Нм^3, а загальні викиди пилу становлять 0,2–0,6 кг/тонну виробленого сплаву.
Примітка: НД = немає даних. НЗ = не застосовується. НВ = Не виміряно.
f = Дифузні викиди пилу. r = Пил, що повертається у технологічний процес.
Джерело: [226, Nordic Report 2008]

Дані, надані Норвегією, показують, що іноді значна кількість каналізованих викидів пилу не потрапляє в систему боротьби з викидами у виробництві феросиліцію та металевого кремнію. Причини обходу системи боротьби з викидами пов'язані з надмірно високими температурами (які можуть пошкодити мішок), які можуть виникати під час порушень роботи печі, а також під час запусків і зупинок.

Таблиця 8.13: Викиди пилу від виробництва феромарганцю та силікомарганцю з розрахунку на виробництво однієї тонни сплаву

Джерело	HC FeMn			MC та LC FeMn		SiMn	
	ДП	ДЕП		(кг/т)	(мг/нм^3)	(кг/т)	(мг/нм^3)
		(кг/т)	(мг/нм^3)				
Обробка сировини	НЗ	f	f	f	f	f	< 0,1
Станція вагового дозування	НЗ	НД	НД	НД	НД	НД	< 0,1
Виплавка	НЗ	0,1–0,4	5–60 ([1])	НД	< 25	0,02–0,4	5–60
Випускання	НЗ	НД	НД	НД	НД	НД	3,2
Лиття	НЗ	0,05–0,1	НД	0,05–0,1	НД	НД	НД
Рафінування	НЗ	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Дроблення продукту	НЗ	0,1–0,3	r	0,1–0,3	r	НД	r
Котел-утилізатор	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ
Виробництво електроенергії	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ

([1]) Якщо знепилення відхідних газів з закритої герметизованої печі відбувається у каскадному мокрому скрубері, досягаються рівні викидів пилу нижче 10–40 мг/Нм^3. Деякі заводи, які використовують напівзакриті печі із застосуванням рукавних фільтрів для знепилення, викиди пилу складають менше ніж 5 мг/Нм^3.
Примітка: ДП = Доменна піч. ДЕП = дугова електропіч
НД = немає даних. НЗ = не застосовується.
f = Дифузні викиди пилу. r = Пил, що повертається у технологічний процес.
Джерело: [226, Nordic Report 2008]

Таблиця 8.14: Викиди пилу у повітря (після очищення) від виробництва феросплавів

Джерело	Fe Ni (мг/нм^3)	FeV (г/Нм^3)	FeMo (мг/нм^3)	FeTi (мг/нм^3)	FeB (мг/нм^3)	Випалювання молібденіту (мг/нм^3)
Обробка сировини	1–15	< 5	0,5–15	1–15	1–15	1–15
Сушіння сировини	1–15	НЗ	4–17	1–15	1–10	НЗ
Дроблення		НЗ	1–5			НЗ
Гранулювання	< 1 ([1])	НЗ	НЗ			НЗ
Спікання/випалювання		НЗ	НД			1–15
Дозування		НЗ	1			НВ
Попереднє нагрівання		НЗ	НЗ			НЗ
Виплавка	1–15	< 5	1–30	1–15	1–10	НЗ
Випускання/випускання	НД		5–15 ([2])	НД	НД	НЗ
Лиття				НД	НД	НЗ
Обробка шлаку	НД	НД	НД	НД	НД	НЗ
Дроблення продукту	1–15	< 5	0,5–5	НД	НД	НВ

([1]) Дані отримані з виробництва вторинного FeNi, де використовується сучасний тканинний мембранний фільтр. Результат дає кількість оксиду Ni у складі пилу, пилу, що викидається з обертової печі.
([2]) Викиди оцінюються від витяжних вентиляторів на даху.
Примітка: НД = немає даних. НЗ = не застосовується. НВ = Не виміряно.
Джерело: [226, Nordic Report 2008]

Таблиця 8.15: Викиди феронікелю у повітря

Всього компонентів від плавильного заводу	Виміряна концентрація у викидах з димової труби (мг/м^3)	Максимальна швидкість повітряного потоку (Нм^3/год)	Частота відбору проб
Пил Ni Co As Pb Cd Вуглеводні CO	113 1–1,551 0,078 0,012 0,049 0,002 1322 3262	1 200 000	4 рази на рік
Джерело: [356, ENIA 2008]			

Таблиця 8.16: Джерела викидів феронікелю

Джерело	Коефіцієнт викидів з димової труби (г/тонна)	Система боротьби з викидами
Обертові печі (для сушіння, обпалювання тощо)	1993 (звітний рік: 2006)	Електростатичний фільтр, мультициклони, скрубери Вентурі та рукавні фільтри
ДЕП	20 993 (звітний рік: 2006)	
Конвертер	315	
Джерело: [356, ENIA 2008]		

У Таблиці 8.17 наведено дані вимірювань після зниження викидів пилу рукавним фільтром з різних джерел у виробництві ферованадія і феромолібдену на одному об'єкті.

Таблиця 8.17: Викиди від виробництва ферованадія та феромолібдену

Джерело	Потік відхідного газу (Нм^3/год)	Пил (мг/нм^3)	Заг. С (мг/нм^3)	ПАВ ([1]) (мкг/нм^3)	ПХДД/Ф (нг МТЕ/нм^3)
Сушіння прокатної окалини	10 000	4,83	НЗ	НЗ	НЗ
Підготування Mo шихти	10 000	1,74	НЗ	НЗ	НЗ
5 дугових електропечей (FeV)	прибл. 17 000 на піч	1,36	1,7–3,3	23	0,00032–0,00044 ПХДФ 0,0011–0,0015 ПХДД
Піч для терміту (FeMo) (екзотермічна реакція)	19 411	1,43	2,3–3,8	35	0,0012–0,0014 ПХДД 0,00015–0,0005 ПХДФ
Дроблення продукту FeMo FeV	9700 11 800	0,82 0,91	НЗ	НЗ	НЗ
Шлакодробарка FeMo FeV	1500 25 000	0,99 2,80	НЗ	НЗ	НЗ
Дроблення футерівки	1400	1,03	НЗ	НЗ	НЗ
Пакування	5400–8200	1,73	НЗ	НЗ	НЗ
Дифузні викиди через лінію даху	225 700–314 300 ([2])	3,88	НЗ	НЗ	НЗ
([1]) 16 EPA щодо ПАВ. ([2]) Нижче значення позначає піч, що не працює, а вище — піч що працює. Примітка: НЗ = Не застосовується. *Джерело*: [369, Treibacher Industries AG 2008]					

8.2.2.2 Інші викиди у повітря

Найбільш важливими забруднювальними речовинами у виробництві феросплавів, крім пилу, є SO_2, NO_X, CO, CO_2, HF, поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), леткі органічні сполуки (ЛОС) та метали. У відкритих або напівзакритих печах можливе утворення ПХДД/Ф у зоні згорання та в охолодній частині системи очищення відхідних газів (синтез de novo). N_2O і CH_4 викидаються з агломераціних заводів і установок з гранулювання. Ртуть, якщо вона присутня в руді, також може виділятися в результаті процесів відновлення. Викиди можуть виходити з процесу або у вигляді викидів з димових труб, або у вигляді дифузних викидів, залежно від проєктування та технічного обслуговування заводу та використовуваної технології. Викиди з димових труб зазвичай контролюються безперервно або періодично, а працівники на об'єкті або консультанти за межами об'єкта повідомляють про них компетентні органи.

У карботермічному процесі у якості відновника використовується тільки вміст зв'язаного вуглецю, що означає, що леткі речовини, зола і волога переважно виходять з печі разом з відхідними газами та шлаком. Леткі речовини складаються переважно з вуглеводнів і в реакції не беруть участь, а виходять з печі разом з CO, коли піч закрита, або спалюються біля поверхні в напівзакритій або відкритій печі з утворенням CO_2. Закриті печі утворюють вищі концентрації CO, які можна використовувати як паливний газ в інших процесах.

Вміст сірки у металургійному коксі коливається від 0,4 % до 1,0 %. З цієї сірки 60–85 % залишається у шлаку і близько 5 % виходить з печі у вигляді SO_2. Для виробництва кременистих сплавів потрібні різні відновники, такі як вугілля, кокс, нафтовий кокс та деревне вугілля. Ці відновники містять різну кількість сірки, вміст зазвичай коливається від 0,5 до 3 %. Виробництво кременистих сплавів майже не утворює шлаку, і майже вся сірка виходить із печі у вигляді SO_2 або у вигляді сірки, зв'язаної з мікрокремнеземом. У разі використання відновника або суміші різних джерел вуглецю із загальним високим вмістом сірки близько 2–3 % можуть виникати вищі викиди SO_2.

Відхідні гази, що утворюються під час випалювання молібденітових концентратів, містять велику кількість SO_2, які зазвичай очищають на установці десульфуризації з утворенням сірчаної кислоти. Залишкові гази установки десульфуризації печі для випалювання молібденіту містять SO_2, оскільки перетворення SO_2 на SO_3 не буде 100 %. Відхідний газ також містить певну кількість туману сірчаної кислоти, а також деяку кількість SO_3.

Метали вводять у процес у вигляді мікроелементів у сировині. Метали з досить високим тиском пари будуть виходити у вигляді газів у формі пари металів, яка частково конденсуються й окиснюються, утворюючи частину пилу з плавильної печі. Навіть після випускання та особливо під час рафінування температура розплавленого металу та шлаку досить висока, щоб забезпечити випаровування компонентів як з металу, так і зі шлаку. Дим, що виникає внаслідок цього випаровування, виділяється весь час, від початку випускання до закінчення лиття. Навіть після спорожнення ковша із металевої охолоді може виділятися дим. Під час випускання більша частина диму уловлюється через систему уловлювання диму від процесу випускання й очищається.

Залежно від типу використовуваної сировини ртуть може викидатися у повітря печами для виробництва феромарганцю або силікомарганцю. Цю проблему можна вирішити шляхом контролювання вмісту ртуті в сировині, попередньої обробки сировини для видалення ртуті (наприклад, за допомогою спікання) або обробки відхідних газів (є кілька комерційних технологій для видалення ртуті з відхідних газів, як зазначено в Розділі 2.12.5.5) [226, Nordic Report 2008].

Для видалення ртуті із сировини знадобиться великогабаритне обладнання. Збагачення руди є економічним тільки через масштаб. На етапі перетворення очищення відпрацьованих газів може бути можливим, якщо буде встановлена задовільна система уловлювання газу. Агломераційні заводи зазвичай будуються для обробки рудної дрібниці. Якщо матеріал необхідно спікати через розмір, слід забезпечити етап видалення ртуті. Для виробництва сплавів вимірювання в режимі реального часу та заходи для очищення повинні бути принаймні мінімальною вимогою.

У виробництві феромолібдену флюорит можна використовувати для сприяння розділенню шлаку та металу. Флюорит є фторидом кальцію, який використовується як флюс і знижує температуру плавлення і в'язкість шлаку, що призводить до підвищеної рідкоплинності шлаку. Крім того, у разі змішування з вапном він знижує вміст фосфору та сірки в металі. Нижчі температури плавлення сприяють розділенню металу і шлаку, оскільки шлак довше залишається рідким під час охолодження. Цей ефект разом зі зниженою в'язкістю дозволяє дрібнодисперсним краплям осаджуватися та коагулювати у металевій фазі на дні. Проте використання флюориту в якості флюсувального матеріалу призводить до викидів фторидів в межах 150–260 мг/Нм^3. Через біотоксичну природу фторидів використання флюориту має бути мінімізоване, наскільки це можливо.У Таблиці 8.18 та Таблиці 8.19 надані деякі значення виміряних викидів у повітря у виробництві феросплавів масового застосування, проте ці дані не є репрезентативними для всієї промисловості ЄС-28.

Таблиця 8.18: Викиди у повітря (після очищення) під час виробництва феросплавів масового застосування

Компонент	FeCr				FeSi		Металевий Si		FeMn				Силікомарганець	
	HC FeCr		MC та LC FeCr						Дугова електропіч для HC FeMn		MC та LC FeMn			
	(кг/т)	(мг/нм³)	(кг/т)	(мг/нм³)	(кг/т)	(мг/нм³)	(кг/т)	(мг/нм³)	(кг/т)	(мг/нм³)	(кг/т)	(мг/нм³)	(кг/т)	(мг/нм³)
SO_2	0,2–3,0	НД	НЗ	НЗ	0,5–5 (1)	< 450	12–18	< 450	0,1–0,2	НД	НД	НД	0,002–0,1	НД
CO	НВ	НВ	НВ	НВ	2,0–2,5	< 200	НВ	< 200	НД	НД	НД	НД	НД	НД
CO_2	1200–2000 (2)	НД	110 (3)	НД	5300 (4)	93 г/Нм³	7500 (4)	125 г/Нм³	1100–1800	НД	1800 (5)	НД	1100–1800	НД
NO_X	0,5–1,5	НД	0,35	НВ	10–11	400	10–13	< 500	НД	НД	НД	НД	НД	НД
HF	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ	НД	НД	НД	НД	НД	НД
ПХДД/Ф	< 0,1 нг/Нм³	НД	НВ	НВ	40 нг/т (6)	НД	40 нг/т (6)	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Метали	Cr (в пилу) 1–15 % Cr(VI) 0,1–0,3 % (7)	НД	Cr < 0,01 Cr^{6+} < 0,002	НД	НД	1,0 мкг Гг/Нм³ (6)	НД	1,0 мкг Гг/Нм³ (6)	Див. Таблицю 8.19					
ПАВ	НВ	НВ	НД	3–6 мкг/Нм³	0,0015 (6)	70 мкг/Нм³	0,003 (6)	0,02	НД	НД	НД	НД	НД	НД
ЛОС	НВ	НВ	НД	НД	0,045 (6)	100	0,13 (6)	100	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Ціаніди	0,02–0,05	НД	НД	НВ	НВ	НВ	НВ	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

(1) Високе значення відповідає виробництву високочистого FeSi, у якому використовується велика кількість нафтового коксу.
(2) До викидів CO_2 відносяться загальні викиди від процесів попередньої плавки та процесів після печі. Зовнішнє використання газу CO з плавильної печі зменшує місцеві викиди тільки з заводу для виробництва FeCr.
(3) Викиди засновані на 80 кг/т від сушарки, що працює на природному газі, нагріванням ковша тощо та 30 кг/т від споживаної електродної пасти.
(4) До даних про CO_2 відноситься кількість викопного палива, а також кількість біологічного CO_2.
(5) Дані про CO_2 пов'язані з силікотермічним виробництвом LC FeMn. Викиди CO_2 у виробництві MC FeMn з HC FeMn становлять приблизно 100–500 кг/т сплаву.
(6) Результати комплексних 24-годинних спостереження за викидами у повітря від виробництва FeSi 75 та високочистого металевого Si. У цьому випадку слід зазначити, що дані ґрунтуються на відносно коротких періодах вимірювання на двох конкретних підприємствах і не повинні сприйматися як репрезентативні дані для цієї галузі.
(7) Кількість Cr(VI) в пилу виділяється з напівзакритої печі; вміст ціанідів становить 0,2–0,05 % із закритої печі.
Примітка: НД = немає даних. НЗ = не застосовується. НВ = Не виміряно.
Джерело: [226, Nordic Report 2008], [373, Grådahl et al. 2007]

Таблиця 8.19: Викиди металів від виробництва феромарганцю та силікомарганцю

FeMn			
	HC FeMn		MC та LC FeMn
	ДЕП		
	(кг/т)	(м#м^3)	(кг/т)
SO_2	0,1–0,2	НД	НД
CO	НД	НД	НД
CO_2	1100–1800	НД	60–100
NO_X	НД	НД	НД
Hg	0,0001–0,00015	0,001–0,2	
Pb	0,0002–0,0004	НД	
As	2×10^{-5}	НД	
Cd	5×10^{-6}	НД	
Cr	2×10^{-5}	НД	
Cu	8×10^{-5}	НД	
Сума	0,0001	0,0002	
Викиди в повітря			
SiMn			
	(кг/т)	(мг/нм^3)	
SO_2	0,002–0,2	НД	
CO	НД		
CO_2	1100–1800		
NO_X	НД		
Hg	0,00003–0,0007		
Pb	0,0002–0,0007		
As	2×10^{-5}		
Cd	5×10^{-6}-10^{-4}		
Cr	2×10^{-5}-10^{-3}		
Cu	0,0001–0,0003		
Сума	0,0001	0,0002	
Примітка: НД = немає даних. *Джерело*: [233, COM 2008], [226, Nordic Report 2008] [395, France 2013]			

Викиди у повітря від виробництва первинного феронікелю продемонстровані в Таблиці 8.20 та Таблиці 8.21.

Таблиця 8.20: Викиди у повітря від виробництва первинного феронікелю

Компонент	FeNi	
	(кг/т)	**(мг/нм^3)**
SO_2	20–25	НД
CO_2	45 000	НД
NO_X	10–15	НД
ПХДД/Ф	НД	0,4 нг/Нм^3
Примітка: НД = немає даних. *Джерело*: [406, Greece 2013]		

Таблиця 8.21: Характеристика викидів у повітря від виробництва первинного феронікелю

Операція	Викиди в повітря						
	Пил/дим			Гази			
	Всього	Ni	Інші	SO_2	CO_2	CO	NO_X
Дроблення руди	ВР	НР	НД	НД	НД	НД	НД
Сушіння	ВР	ВР	НД	НР	СР	НР	НД
Випалювання	ВР	ВР	НД	ВР	СР	НР	НР
Відновлювальне обпалювання	ВР	НР	НД	НР	СР	НР	НР
Виплавка	ВР	НР	НД	НД	СР	СР	НР
Конвертування	ВР	СР	SiO_2	НД	СР	НР	НР
Розливання	ВР	НР	НД	НД	НД	НД	НД
Примітка: НД = немає даних. НР = Низький рівень. СР = Середній рівень. ВР = Високий рівень. *Джерело*: [226, Nordic Report 2008], [106, Raffinot, P. 1993]							

Викиди від процесу виробництва феросплавів продемонстровані у Таблиці 8.22. У цьому процесі використовується матеріал, вилучений із залишків зі сталеливарного заводу в дуговій електропечі з зануреною дугою. Відсотковий вміст металів у пилу визначає концентрацію металів.

Таблиця 8.22: Викиди від процесу виробництва вторинних феросплавів

Забруднювальні речовини	Концентрації (газ та частки) ($мг/нм^3$)
Пил	2–5
SO_2	< 100
CN	0,002–0,006
HC	< 50
F	0,1–1,5
Cd	< 0,001
Cd+Hg+Ti	< 0,1
As	< 0,003
Se	< 0,002
Te	< 0,002
Zn	2,0
Pb	0,2
CO_2	1,2–1,5 т/т сплаву
Джерело: [226, Nordic Report 2008]	

У виробництві кремнію і феросиліцію процес згорання в протидимному ковпаку і каналах відхідних газів може утворювати викиди у повітря. Основними проблемами є утворення NO_X, ПАВ та ПХДД/Ф. Перевага віддається конвенції EPA 16, оскільки вона сумісна з вимогами звітності PRTR.

8.2.3 Шумове випромінювання та вібрації

Важке обладнання, таке як дробарки та великі вентилятори, що використовуються у виробництві феросплавів, можуть викликати шумове випромінювання та вібрації. Також джерелом шуму може бути механічне вилучення охолоді із ковшів.

8.2.4 Викиди у воду

У виробництві феросплавів викиди у воду значною мірою залежать від процесу, наприклад, від системи боротьби з викидами та типу очищення стічних вод. У феросплавній промисловості використовуються різні системи уловлювання та очищення стічних вод. На деяких заводах використовується центральна установка очищення відпрацьованих вод, де вода від різних виробничих процесів і поверхневі стоки очищаються разом. На інших установках використовується окрема система очищення для дощової води та спеціальні процеси очищення різних потоків технологічних стічних вод. Основними забруднювальними речовинами води є завислі речовини та металовмісні сполуки. Стічні води обробляються для видалення розчинених металів і твердих часток і переробляються або повторно використовуються у процесі, наскільки це можливо. Можливі потоки стічних вод:

- поверхневий стік та дренажні води;
- відпрацьовані води з мокрих скруберів;
- стічні води від охолодження шлаку та гранулювання металу;
- охолоджувальна вода.

Забруднену воду зазвичай направляють у згущувач або відстійник для осадження завислих речовин. Етап осадження часто використовується для видалення металовмісних сполук з води. В особливих випадках, наприклад, для очищення скруберної води з печі для випалювання молібденіту, йонообмінники використовуються для видалення сполук металів, таких як селен і реній, зі скруберної води.

Частки переважно складаються з дуже дрібних частинок, тому може знадобитися додавання флокулянту для сприяння відстоюванню в згущувачах. Після очищення в згущувачі або відстійнику вміст завислих речовин зазвичай не перевищує 40 мг/л, що дозволяє повторно використовувати воду в скруберах у якості охолоджувальної води або у якості технологічної води для інших цілей.

У разі використання згущувача, гранулювання шлаку та відстійників викиди завислих речовин відповідно становитимуть 10–20 г із загальною кількістю хрому близько < 1 г, цинку < 2 г та ціаніду в межах < 1 г на тонну FeCr. Повідомляється, що для виробництва LC FeCr кількість хрому, що викидається в стічні води, становить < 1,0 г/тонну продукту. Повідомляється, що викиди ПАВ у воду після очищення від виробництва феромарганцю знаходяться в діапазоні 0,05–0,2 г/т FeMn.

Забруднені стічні води системи скрубера заводу з виробництва сплавів очищаються на окремій установці очищення відпрацьованих вод, де також може очищатися дощова вода з об'єкта. Частково окиснені частки, що містяться у воді, концентруються в згущувачі і на подальшому етапі відокремлюються від вільної води у двох фільтрпресах. Осад, що утворюється у фільтрі, вологістю 20–25 % складається з наступних основних компонентів:

- ZnO: 30–40 %;
- SiO_2: 10–15 %;
- CaO: 5–15 %;
- FeO: 5–7 %;
- PbO: 3–5 %;
- Hg: 0,001 %.

Кількість сухого осаду, що утворюється, становить 200–400 кг/т сплаву.

Цей осад на фільтрі через регулярні проміжки часу відправляється на перероблення цинку і свинцю, або в ISF (плавильну піч Imperial), або вельц-процес.

Злив із системи скрубера становить приблизно 0,5–2 $м^3$/т відновлених феросплавів. Цей злив очищається в кілька етапів таким чином:

- видалення ціанідів;
- зменшення Cr_6+ to Cr_3+;
- осадження гідроксидів металів за високого рівня pH разом з окисненням ціанідів;
- осадження фторидів та очищення води від часток у піщаному фільтрі.

Викиди у воду від відновлення феросплавів із залишків зі сталеливарного заводу з використанням процесу плазмової обробки пилу з мокрим скрубером з подальшим застосуванням мокрого електростатичного фільтра як методу усунення забруднення довкілля продемонстровані в Таблиці 8.23.

Таблиця 8.23: Викиди у воду від відновлення феросплавів із залишків зі сталеливарного заводу з використанням процесу плазмової обробки пилу з мокрим скрубером з подальшим застосуванням мокрого електростатичного фільтра як методу усунення забруднення довкілля

Компонент	мг/л	кг/рік
As	НД	0,05
Cr	0,3	0,56
Ni	0,1	0,66
Zn	0,5	2,7
Cu	0,2	0,55
Cd	НД	0,04
Pb	НД	0,04
Hg	НД	0,003
F	35	235
Загальний N	НД	347
CN	0,5	1,05
Примітка: у 2008 р. загальний обсяг скидання води: 0,2 м^3/т. У 2008 р. загальний обсяг обробленої води: 11 761 м. НД = немає даних. *Джерело*: [379, Sweden 2013]		

Дані, наведені для прикладу установки з очищення відпрацьованих вод установки для випалювання молібденіту та заводу з виробництва феромолібдену, надані в Таблиці 8.24.

Таблиця 8.24: Викиди у воду від випалювання молібденіту та феромолібдену на одному заводі

SO^{2-}_4 (мг/л)	HF (мг/л)	Mo (мг/л)	Pb (мг/л)	Cu (мг/л)	Zn (мг/л)	As (мг/л)	Se (мг/л)
10–680	1,1–1,3	0,015–1,7	0,008	0,016–0,028	0,035–0,088	0,017	0,018
Джерело: [407, Euroalliages 2013]							

8.2.5 Технологічні залишки

Виробництво феросплавів пов'язане з утворенням низки побічних продуктів, залишків та відходів, які також перелічені у Європейському каталозі відходів. Найбільш важливими залишками, пов'язаними з технологічним процесом, є пил з фільтра, осад з мокрих скруберів, шлак з процесу відновлення, відпрацьовані футерівка печі та пакувальний матеріал, такий як бочки або біг-беги. Ці залишки продаються як побічні продукти, переробляються у процесі або, у випадку відходів, що не мають економічної цінності, транспортуються на звалище або місце захоронення. Кількість шлаку та пилу з фільтра або осаду, що утворюється на тонну виробленого феросплаву, та можливості їх використання показані у Таблиці 8.25 та Таблиці 8.26.

Таблиця 8.25: Утворення, перероблення, повторне використання та скидання феросплавного шлаку

Феросплав		Шлак (т/т сплаву)	Аналітичний склад	Перероблення, повторне використання та скидання
FeCr	HC FeCr	1,0–1,7	Суміш шпінелі, MgO, Al_2O_3, фростериту, 2MgO, SiO_2 та Cr_2O_3 (3–15 %) Шлак хімічно дуже стабільний	Низька основність шлаку (0,7–1,0) забезпечує утворення стійких силікатів, що не піддаються вилуговуванню. Дроблений кусковий та гранульований шлак використовується як будівельний матеріал та матеріали для будівництва доріг. Шлак також можна використовувати у якості матеріалу для піскоструминної обробки та для виробництва бетонної вогнетривкої суміші
	MC FeCr	НД	НД	
	LC FeCr	1	CaO 44–45 % SiO_2 23–33 % MgO 9–13 % Al_2O_3 5–9 % Cr_2O_3 2,5–6,5 % FeO 0,6–1,2 %	Шлак буде використовуватись повторно
Відновлення сплаву із залишків зі сталеливарного заводу		0,4–1,2	CaO 25–40 % SiO_2 35–50 % MgO 3–15 % Al_2O_3 1–35 % Cr_2O_3 < 3 % Fe_2O_3 < 2 % NiO < 0,1 %	Низька основність шлаку (0,7–1,0) забезпечує утворення стійких силікатів, що не піддаються вилуговуванню. Шлак використовується у різних галузях будівельної промисловості
Металевий Si FeSi		20–30 кг/т	Si/FeSi 20–30 % SiO_2 5–20 % SiC 20–40 % CaO 25–40 % Al_2O_3 3–35 %	Виробництво металевого кремнію та FeSi є майже безшлаковим процесом (невелика кількість кварцу перетворюється у шлак, < 1 %). Під час рафінування металевого кремнію та FeSi утворюється невелика кількість рафінувального шлаку. FeSi шлак можна використовувати повторно (наприклад, у виробництві SiMn, будівництві доріг)
CaSi		0,4–0,6	SiO_2 10–20 % SiC 15–25 % CaO 50–60 % Al_2O_3 5–10 % CaC_2 3–8 %	Весь шлак переробляється в печі
FeMn	HC FeMn	Дугова електропіч 0,8–1,7	MnO 20–50 % SiO_2 20–40 % Al_2O_3 5–20 % CaO 4–20 % MgO 2–15 %	Стандартний відпрацьований шлак (низький вміст MnO) використовується у якості будівельного матеріалу. Багатий шлак (високий вміст MnO) продається як сировина для виробництва силікомарганцю або інших галузей металургійної промисловості
	MC FeMn	0,9–1,9	Процес зневуглецювання: такий самий як і для HC FeMn. Силікотермічний процес: НД	
	LC FeMn	0,9–1,9	Процес зневуглецювання: такий самий як і для HC FeMn. Силікотермічний процес: НД	
SiMn		0,9–2,2	MnO 2–17 % SiO_2 30–50 % CaO 15–30 % Al_2O_3 9–30 % MgO 3–15 % K_2O 0–2 % BaO 0–2 % S 0–1,5 % Fe < 1 %	Шлак використовується у якості будівельного матеріалу

Феросплав	Шлак (т/т сплаву)	Аналітичний склад	Перероблення, повторне використання та скидання
FeNi	20 (~ 20 % Ni)	MnO 0,3–0,4 % SiO_2 35–45 % CaO 3–6 % Al_2O_3 6–10 % MgO 3–8 % FeO ~ 1–3 % Cr_2O_3 2–4 % Fe_2O_3 33–35 %	Шлак продається як сировина для переробної промисловості, наприклад, для виробництва вогнетривів або геополімерів, як матеріал для піскоструминної обробки, як добавку в цементній промисловості
FeV	2,6–3	НД	Залежно від складу шлак продається для подальшої обробки або утилізуються шляхом захоронення
FeMo	1,5–3	НД	Шлак може використовуватись у якості будівельного матеріалу
FeW, FeTi, FeB	НД	НД	
FeNb	1,9	НД	
Джерело: [226, Nordic Report 2008], [406, Greece 2013], [407, Euroalliages 2013]			

Таблиця 8.26: Утворення, перероблення, повторне використання та скидання пилу та осаду із системи боротьби з викидами у повітря

Феросплав		Пил або осад (кг/т сплаву)	Перероблення, повторне використання та скидання
FeCr	HC FeCr	20–80 ([1])	Пил з печі буде підданий захороненню. Пил від процесів дроблення та просіювання переплавляється у печі або використовується у виробництві неіржавкої сталі. Пил з системи транспортування сировини, сушіння коксу, агломерації та станції дозування може бути повернений у технологічний процес. Осад з мокрого скрубера може містити ПАВ та метали, і в цьому випадку його потрібно скидати на полігон для захоронення шкідливих відходів. Близько 8–10 кг/т грубодисперсного пилу з високим вмістом хрому, який збирається в котлі-утилізаторі після напівзакритої печі, може легко рециркулювати в піч після агломерації. Сухий пил з відкритої печі для виробництва FeCr часто містить Cr(VI) і не може бути підданий захороненню
	FeCr з середнім вмістом вуглецю	НД	
	FeCr з низьким вмістом вуглецю	70	Пил повертається у процес виплавки.
Відновлення сплаву із залишків зі сталеливарного заводу		100–500	Пил з печі містить велику кількість ZnO (20–60 %) та PbO (2–6 %). Він гранулюється та переробляється в цинковій промисловості (в печі IFS або за допомогою процесу Вельца у якості проміжного етапу концентрування). Осад з мокрого скрубера переробляється у процесі Вельца для вилучення Zn та Pb
FeSi		200–300	Кремнеземний пил (мікрокремнезем) уловлюється в рукавному фільтрі та продається як побічний продукт. Мікрокремнезем використовується як добавка до цементу, яка збільшує міцність бетону і призводить отримання дуже гладкої поверхні, що захищає бетон від проникнення води
Металевий Si		300–400	
FeMn	HC FeMn	30–50	Пил та осад переробляються, використовуються в інших галузях промисловості або вивозяться на захоронення. Осад з мокрого скрубера буде містити ПАВ та метали, і його потрібно очищати в системі стічних вод або скидати на полігон для захоронення шкідливих відходів
	FeMn з середнім вмістом вуглецю	30–50	Пил та осад переробляються, використовуються в інших галузях промисловості або вивозяться на захоронення
	FeMn з низьким вмістом вуглецю	ДЕП 30–50	Пил та осад переробляються, використовуються в інших галузях промисловості або вивозяться на захоронення
SiMn		30–60	Пил та осад переробляються, використовуються в інших галузях промисловості або вивозяться на захоронення. Осад з мокрих скруберів буде містити ПАВ та метали, і його слід утилізувати на полігоні для захоронення шкідливих відходів
FeNi		НД	Пил та осад гранулюються та переробляються у виробничому процесі (обертові печі)
FeV		НД	Пил переробляється в процесі виплавки або частково скидається на полігон для захоронення
Випалювання молібденіту		НД	Відхідний газ, що виходить з установки для випалювання, містить кількість пилу, еквівалентну до 15% концентрату, що подається. Більша частина пилу та осаду після очищення відхідних газів переробляється у концентрат для подання
FeMo		НД	Пил переробляється у процесі виплавки, або спрямовується на спеціальну утилізацію відходів, або обробляється для вилучення Mo
FeW, FeTi, FeB, FeNb		НД	Пил з печі скидається на полігон для захоронення, за винятком деякої кількості FeNb

([1]) Склад пилу або осаду змінюється в залежності від плавильної печі та використовуваної сировини.
Джерело: [226, Nordic Report 2008], [406, Greece 2013]

8.2.6 Відновлення енергії

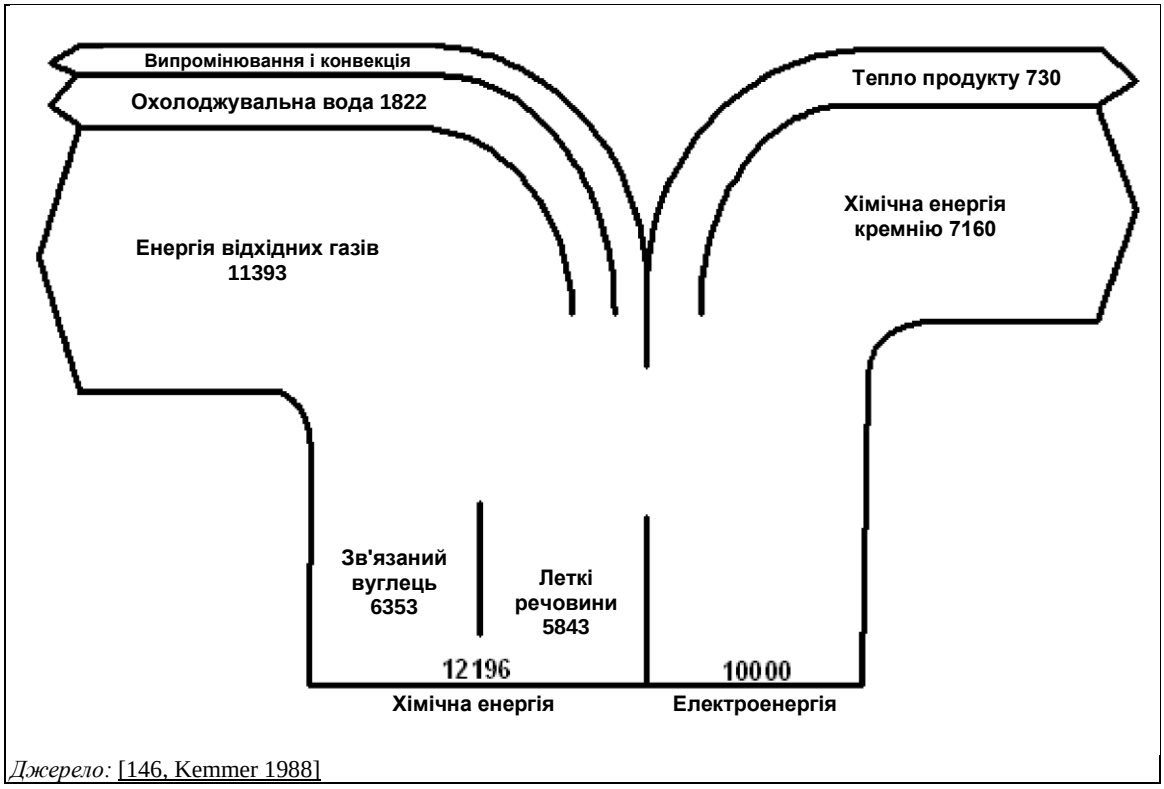
Виробництво феросплавів є дуже енерговитратним процесом, оскільки для відновлення оксидів металів та виплавки потрібні високі температури. Факторами, що впливають на споживання енергії, є, серед іншого, якість сировини (такої як руда, кварц та відновники) та їх попередня обробка перед виплавкою, використання енергії реакції та тепломісткість процесів. Енергія, що використовується в процесі, може надходити у вигляді електроенергії або викопного палива у вигляді вугілля, коксу, деревного вугілля або іноді природного газу.

Електроенергія, що використовується, необхідна для процесу хімічного відновлення в печі. У напівзакритій печі тепло відхідних газів можна регенерувати в котлі-утилізаторі. У закритій печі відхідні гази містять CO, CH_4 і H_2, які можна використовувати для виробництва енергії.

У герметизованій печі, якщо вуглець використовується як відновник, технологічні гази, що утворюються в процесі виплавки, містять значні концентрації CO, який можна використовувати як вторинне паливо і транспортувати у трубі всередині заводу, як і будь-який інший паливний газ. Його можна використовувати шляхом прямого спалювання, наприклад, в печі для спікання, і для сушіння або підігрівання шихти, а також для регенерації енергії у вигляді гарячої води, пари та/або електроенергії.

Регенерація енергії з печей для виплавки феросплавів залежить від конкретного об'єкта, оскільки залежить від технічної та економічної доцільності. Є кілька прикладів успішної регенерації енергії.

На Рисунку 8.20 нижче показаний потік енергії у дуговій електропечі із зануреною дугою потужністю 10 МВт $_{ел.}$ для виробництва металевого кремнію.



Джерело: [146, Kemmer 1988]

Рисунок 8.20: Схема енергії (у МВт теплової енергії) у печі для виробництва кремнію потужністю 10 МВт теплової енергії

На Рисунку 8.20 показано, що у процесах виробництва кремнію та феросиліцію виникає велика кількість невикористаної енергії. Наприклад, у виробництві феросиліцію та металевого кремнію лише близько 32 % споживаної енергії зберігається у продукті у

вигляді хімічної енергії. Це означає, що близько 68% енергії втрачається у вигляді відпрацьованого тепла у відхідних газах печі системі охолоджувальної води. На рисунку також показано, що леткі речовини з відновлювальних матеріалів роблять значний внесок у подання енергії. Доцільність регенерації енергії залежить від конкретного об'єкта та залежить від потенційної економії та використання енергії.

Є деякі безпосередні вдосконалення заводу, які можуть бути зроблені для зниження енергоспоживання, наприклад, запуск процесу з високим виходом металу або вдосконаленні конструкції печі для зниження втрат енергії Велика кількість оксидів металів означає нижчий вміст пустих порід і менше утворення шлаку, тим самим зменшуючи частку електроенергії, необхідної для плавлення шлаку. Проте, якість сировини та вміст у ній оксидів металів обмежується необхідним мінімальним співвідношенням шлаку до металу, необхідним для досягнення адекватних умов роботи печі у виробництві феросплавів.

У випадку виробництва силікомарганцю введення металевого кремнію може зменшити споживання енергії [243, France 2008].

На заводі в Австрії, що виробляє феровanадій, споживання електроенергії дуговою електропіччю знижується внаслідок вищої ентальпії реакції під час реакції V_2O_5 та алюмінію, якщо доступна більша кількість V_2O_5. Своєю чергою, вищий вміст кисню у сировині має бути знижений шляхом введення більшої кількості алюмінію. Питоме споживання електроенергії поступово знижено з середньорічного рівня 3,1 кВт-год/кг ванадію до < 1,0 кВт-год/кг ванадію. Це зниження енергоспоживання було здебільшого досягнуто з допомогою вдосконалення режиму роботи.

Крім безпосередніх вдосконалень заводу, близько 15–20 % електроенергії, що споживається дуговою електропіччю, може бути відновлено у вигляді електроенергії за допомогою системи регенерації енергії. Цей відсоток значно вищий для системи, яка виробляє електроенергію та використовує теплову енергію охолодження печі та відхідних газів. Це також стосується випадків, якщо газ CO використовується безпосередньо як вторинне паливо для заміни викопного палива.

Найкращий спосіб регенерації енергії — це виробництво теплової енергії. Температура з печі визначається загальною кількістю відхідних газів з печі та може варіюватися від 200 °C до 900 °C. Через відсутність (економічно) доцільного використання теплової енергії деякі установки регенерують енергію у вигляді електроенергії. Це дає нижчу швидкість регенерації енергії.

Часто ефективність регенерації енергії визначається як кількість регенерованої енергії у відношенні до електроенергії, що підводиться до печі, як показано в Таблиці 8.27.

Таблиця 8.27: Ефективність регенерації енергії для печей для виробництва кремнію та феросиліцію

Застосовність	Регенерація електроенергії (%) ([1])	Регенерація теплової енергії (%) ([1]) (гаряча вода або пара)
Наявні заводи	22	70
Оптимізовані нові заводи	30–35	70–100
([1]) Регенерація пов'язана з підведенням електроенергії у відновлювальну піч. Теплова енергія у відхідному газі може бути приблизно на 20 % вище, ніж електроенергія. *Джерело:* [226, Nordic Report 2008]		

Якщо напівзакрита дугова електропіч із зануреною дугою використовується для виробництва FeCr, FeSi, металевого кремнію, SiMn або FeMn, газ CO, що утворюється в процесі виплавки, згорає в повітрі, утворюючи таким чином гарячі відхідні гази. Тому напівзакриті печі іноді оснащують котлом-утилізатором у якості вбудованої системи регенерації енергії. Котел-утилізатор виробляє перегріту пару, яку можна продавати на сусідні заводи або використовувати для виробництва електроенергії в турбіні з протитиском.

У виробництві FeCr, FeMn або SiMn у закритій дуговій електропечі відхідні гази містять

дуже високий відсоток CO, який збирається без спалювання над поверхнею шихти. Цей CO є високоякісним паливом, яке можна вигідно використовувати для виробництва електроенергії або постачати на сусідню промислову установку як вторинне паливо або як синтез-газ, що служить сировиною в хімічних процесах. Типовий газ із високим вмістом CO, що утворюється в закритій печі для виробництва HC FeCr, містить 75–90 % CO, 2–15 % H_2, 2–10 % CO_2, 2–5 % N_2 та < 5 % H_2O.

У Таблиці 8.28 та Таблиці 8.29 наданий огляд різних можливостей регенерації енергії та використання регенерованої енергії.

Таблиця 8.28: Огляд регенерації енергії у норвезькій феросплавній промисловості

Феросплави	Кількість заводів	Електроенергія, що використовується (ГВт-год/рік)	Можлива регенерація (ГВт-год/рік)			Фактична регенерація (ГВт-год/рік)		
			Електро-енергія	Теплова енергія	Всього	Електро-енергія	Теплова енергія	Всього
FeSi	9	4940	856	1024	1880	115	183	298
Металевий Si	3	1250	163	215	378		1	1
FeMn SiMn	4 ([1])	2290	100	790	890	90	386	476
Всього	16	8480	1119	2029	3148	205	570	595 ([2])

([1]) Газ частково використовується як паливо або синтез-газ
([2]) З 16 зареєстрованих заводів з виробництва феросплавів у 1989 році регенерацію енергію здійснювали 8 заводів.
Примітка: дані про регенерацію енергії з 16 норвезьких заводів з виробництва феросплавів.
Джерело[148, Kolbeinsen, L. et al. 1995], [226, Nordic Report 2008]

Таблиця 8.29: Повторне використання енергії під час виробництва феросплавів масового застосування

Феросплав	HC FeCr		HC FeMn		SiMn		FeSi	Металевий Si
Тип печі	Напів-закрита ДЕП	Закрита ДЕП	Напів-закрита ДЕП	Закрита ДЕП	Напів-закрита ДЕП	Закрита ДЕП	Напів-закрита ДЕП	Напів-закрита ДЕП
Сушіння		X	X	X	X	X		
Нагрівання ковша		X		X		X		
Спікання		X		X		X		
Попереднє нагрівання		X		X		X		
Гаряча вода	X	X	X	X	X	X	X	X
Пара	X	X	X	X	X	X	X	X
Електроенергія	X	X	X	X	X	X	X	X
Сусідні заводи	X	X				X	X	X

Примітка: регенерація енергії не завжди застосовується, оскільки слід враховувати місцеві умови, наприклад, місцеві ціни на енергію, періоди виробництва та відсутність можливих споживачів.
Джерело [148, Kolbeinsen, L. et al. 1995]

8.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ

У розділах цього документа під назвою «Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ» викладено технології, які зазвичай мають потенціал для досягнення високого рівня захисту довкілля в галузях, що охоплюються цим документом. Передумови способу опису технологій надано у Розділі 2.12 та Таблиці 2.10.

У цьому розділі наведено ряд технологій запобігання або зменшення викидів та залишків, а також технологій зниження загального споживання енергії. Усі вони представлені на ринку. Приклади наведено для демонстрації технологій, що демонструють хороші екологічні показники. Технології, наведені у якості прикладів, ґрунтуються на інформації, наданій галуззю, країнами-членами ЄС, а також на оцінці Європейським бюро з комплексного запобігання та контролю забруднення. Загальні технології, описані у Главі 2 стосовно загальних технологічних процесів, значною мірою застосовні до процесів у цьому секторі та впливають на те, як контролюються та керуються основні та супутні процеси.

8.3.1 Сировина, приймання, поводження з нею та зберігання

8.3.1.1 Технології зменшення викидів від приймання, зберігання та поводження з первинними матеріалами

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від зберігання, поводження та транспортування сировини для виробництва феросплавів, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006]

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Сировиною, що використовується для виробництва феросплавів, переважно є руди, кварц, концентрати, відновники (кокс, вугілля, тріска або інші сполуки з високим вмістом вуглецю), електроди або інші джерела енергії, такі як плазма, паливо (газоподібне, тверде або рідке) та добавки. Основними впливами на довкілля від зберігання та поводження з цими матеріалами є дифузні викиди пилу та забруднення поверхневих вод та ґрунту, викликане змиванням з дощовою водою.

Пилоподібні дрібні матеріали транспортуються на конвеєрах. Залежно від свого класу шкідливості та потенційного впливу, розпилювачі води можуть використовуватися в пунктах передачі для зниження викидів пилу або можуть використовуватися закриті конвеєри та системи транспортування, де витяжне та фільтрувальне обладнання використовується для пунктів доставлення, де утворюється пил. У цих випадках насичене пилом повітря з силосів, закритих конвеєрів та завантажувальних систем очищається за допомогою рукавних фільтрів, моніторинг роботи яких можна здійснювати шляхом вимірювання перепаду тиску для регулювання механізму очищення.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У Таблиці 8.30 показані викиди пилу від приймання, поводження та зберіганні первинних матеріалів

Таблиця 8.30: Викиди пилу від приймання, поводження та зберіганні первинних матеріалів

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
Y	SiMn	Пил	Рукавний фільтр	3,6	15,6	Недійсні дані (вище за гранично допустиме значення викидів)	Періодичний	12
X	FeMo			0,4	17,7	НЗ	Періодичний	2
AC	FeV + FeMo			НД	2,00 1,13 1,01 1,74	НД	Періодичні (4 печі)	НД
O	FeMn			3	4,6	5,6	Періодичний	Раз на 5 років (3 проби)
O	SiMn			0,4	0,65	0,8	Періодичний	Раз на 5 років (3 проби)

Примітка: НД = немає даних. НХ = Не характерно.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується до більшості установок.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вплив на довкілля.
- Непрямі втрати енергії.

Приклади заводів
Заводи в Норвегії, Австрії, Бельгії та Іспанії.

Довідкова література
[290, COM 2006],

8.3.2 Технології попередньої обробки матеріалу

8.3.2.1 Технології зниження викидів від дроблення та подрібненні сировини

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Деякі заводи використовують дробарки та сита для отримання потрібного розміру матеріалу, що завантажується. Якщо матеріал вологий, проблема з дифузним пилом із дробарок не є значною, оскільки пил важкий.

Дроблення та просіювання вологих матеріалів можна здійснювати на відкритому повітрі, якщо не утворюється пил. Дробильні установки побудовані таким чином, щоб мінімізувати шумове випромінювання та вібрації. За необхідності рукавні фільтри очищають повітря, що всмоктується, з дробарок і агломераційного обладнання. Уловлений пил повертається до системи завантаження, і може знадобитися додатковий етап агломерації (не потрібний, якщо операція виконується у приміщенні).

У випадку використання мобільного обладнання для дроблення сухої та пилоутворювальної сировини або дроблення вологих шлаків, що використовуються як сировина, викиди пилу слід контролювати за допомогою системи розпилення води. У цих випадках вода рециркулюється.

Високоякісні руди, особливо для виробництва ферохрому, не завжди доступні у вигляді шматкового матеріалу. Збагачення низькоякісних руд шляхом мокрого помелу або мокрим гравітаційним способом (розділення у важкому середовищі, мокре збагачення, спіральне промивання, промивальні столи тощо) для видалення пустої породи та збільшення, наприклад, вмісту Cr_2O_3 є загальновживаною у світі практикою. Більшість цих методів дають дрібнозернистий, високоякісний продукт, який перед виплавкою необхідно зневоднити шляхом фільтрування та агломерувати шляхом брикетування, спікання або гранулювання/спікання. Крім того, шматковий матеріал, такий як кварц, можна промивати водою для видалення дрібнодисперсного матеріалу, який містить більшу кількість домішок.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У Таблиці 8.31 продемонстровані викиди пилу від дроблення та подрібнення сировини.

Таблиця 8.31: Викиди пилу від дроблення та подрібнення сировини

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
B	Si	Пил	Рукавний фільтр	НД	0,53	НД	Періодичний	1 (12 проб, по 2 години кожна)
I	SiMn з низьким вмістом вуглецю + HC SiMn			7,8	8,3	8,8	Періодичний	4
T	Si			1,6	1,6	1,7	Періодичний	1 (3 проби)
DE 1	FeCr			0,2	НД	0,3	Періодичний	За пів години

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів пилу.

Приклади заводів
Заводи в Норвегії, Франції та Іспанії.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

8.3.2.2 Технології зменшення викидів від дозування, змішуванні та усереднення

Опис
Технології, які слід розглянути:

- розпилювачі води;
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Перед спіканням змішування здійснюється шляхом укладання первинних матеріалів на конвеєрні стрічки. Процес змішування також можна покращити, використовуючи закриті змішувальні барабани. Закриті конвеєри та системи транспортування використовуються для поводження з пилоподібними дрібнодисперсними матеріалами. Для пунктів доставлення, де утворюється пил, використовується витяжне та фільтрувальне обладнання. Насичене пилом повітря із закритих конвеєрів та завантажувальних систем очищається за допомогою рукавних фільтрів, моніторинг роботи яких можна здійснювати шляхом вимірювання перепаду тиску для регулювання механізму очищення.

Системи розпилення води або туманоутворення можуть використовуватися в пунктах передачі конвеєрних систем під час поводження з пилоподібними матеріалами. Наприклад, форсунки, що розпилюють невелику кількість води, можуть бути розташовані над конвеєрами, що переміщують матеріали, що містяться в бункерах для сировини, у вагові дозувальні бункери в системах дозування/усереднення. Дрібнодисперсні краплі води уловлюють частки пилу в повітрі та перетворюють їх на важчі та більші частки, які швидко падають на конвеєр або землю. Для ефективної роботи розмір крапель води повинен бути якомога меншим, а також необхідна належна організація виробництва.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У Таблиці 8.32 показані викиди пилу від дозування, змішування та усереднення

Таблиця 8.32: Викиди пилу від дозування, змішування та усереднення

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Тип вимірювання
Y	SiMn	Пил	Рукавний фільтр	3,0	4,8	7,7	Безперервний
AC	FeV + FeMo	Пил	Рукавний фільтр	НД	1,01 1,74	НД	Періодичний
Примітка: НД = немає даних. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]							

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Заводи в Норвегії та Австрії.

Довідкова література
[369, Treibacher Industries AG 2008]

8.3.2.3 Технології запобігання та зменшення викидів в результаті брикетування, гранулювання, спікання сировини

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1) та рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4) із введенням або без введення спеціальних глин;
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6).

Технічний опис
Велика кількість руд і концентратів доступна тільки у вигляді дрібних фракцій, і для використання цих дрібних фракцій деякі заводи, особливо ті, які виробляють HC FeCr, HC FeMn та SiMn, використовують спечені гранули в якості сировині в печі. Найбільш важливою причиною спікання дрібної фракції є отримання кращої пористості шихти з легшим проникненням та видаленням газу, що утворюється в результаті реакцій відновлення. Спікання може відбуватися в колосникових печах (марганцевий спік для виробництва HC FeMn або SiMn) або в печах для спікання зі сталевою стрічкою (спечені хромітові гранули для виробництва FeCr), при цьому останні надають ряд економічних та екологічних переваг.

Пил є основною проблемою холодних процесів, тоді як інші викиди (SO_2 тощо) мають стосуватися лише гарячого брикетування та спікання.

Відхідні гази, що утворюються під час спікання з колосником, можна очистити від пилу за допомогою електростатичного фільтра і тканинного фільтра. Додаткове фільтрування відхідного газу, що утворюється під час спікання та охолодження спеку, може бути досягнуте за допомогою циклонів або тканинних фільтрів.

Слід зазначити, що деякі руди, наприклад марганцеві руди, мають підвищений вміст ртуті. Летка ртуть виділяється у процесах, і необхідні методи зниження викидів ртуті. Ртуть, а також інші забруднювальні речовини, такі як SO_X або діоксини, можуть бути уловлені хімічним шляхом усередині фільтра шляхом введення спеціальних глин безпосередньо у відхідні гази.

Єдиний завод ЄС-28, що використовує піч для спікання зі сталевою стрічкою, використовує мокрі скрубери у якості обладнання для боротьби з викидами. У всьому світі налічується близько 15 заводів, які використовують печі для спікання зі сталевою стрічкою.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Електростатичний фільтр та рукавний фільтр із введенням або без введення спеціальних глин

Таблиця 8.33: Викиди від брикетування, гранулювання та спікання

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
Z	HC FeMn	Пил	Електростатичний фільтр + хімічний фільтр	2,1	2,8	3,9	Безперервний	За пів години
		Hg		0,00	0,02	0,08	Періодичний	39
		Pb		0,01	0,04	0,11		
		As		0,00	0,003	0,017		
		Cd		0,00	0,003	0,014		
		Zn		0,02	1,29	1,80		
		Mn		0,02	0,51	1,35	Періодичний	36
		SO_2		19	87	129	Періодичний	12
		NO_X		158	261	333	Періодичний	21
		ПХДД/Ф		0,01 нг/Нм^3	0,07 нг/Нм^3	0,16 нг/Нм^3	Періодичний	15
Y	SiMn	Пил	НЗ	0,04	1,3	4,5	Безперервний	
DE 1	FeCr	Пил	Рукавний фільтр	1,8	НЗ	2,8	Періодичний	За пів години

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012] [385, Germany 2012]

Мокрий скрубер
На цьому етапі для мокрих скруберів повідомляються викиди нижче 10 мг/Нм^3 як середньодобові значення.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Різні типи мокрих скруберів використовуються у певних процесах як через холодний клімат, так і через зимові умови (наприклад, коли температура може перебувати в діапазоні від -10 ºC до -45 ºC протягом тривалого часу) та через вологості газів, що утворюються у цих процесах. У цих умовах рукавні фільтри не застосовуються через вологість і низьку температуру технологічних газів, що викликають замерзання і засмічення фільтра.

Економічні аспекти
Інвестиційні витрати на рукавний фільтр (< 100 000 м^3/год) становлять близько 3 млн євро.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Зменшення споживання енергії.

Приклади заводів
- Рукавний фільтр: заводи у Франції та Норвегії (спікання з колосником).
- Мокрий скрубер: завод у Фінляндії (спікання на стальній стрічці).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

8.3.2.4 Технології зменшення викидів внаслідок сушіння руди та іншої сировини

У виробництві феронікелю актуальні технології зниження викидів в результаті сушіння сульфідних руд. Вони вже описані у розділі про виробництво нікелю. Завод за межами Європи, що обробляє латеритні руди, використовує електростатичний фільтр як автономну технологію для зниження викидів пилу від сушарки руди. Електростатичний фільтр було введено в експлуатацію нещодавно, і були надані значення лише за один місяць. Значення викидів пилу варіюються від 24 мг/Нм^3 до 58 мг/Нм^3 із середнім значенням 36 мг/Нм^3.

Коли сировина, що використовується для виробництва феросплавів, надходить зі сталеливарного заводу, залишки в дугових електропечах з зануреною дугою є переважно сухим пилом дугової електропечі. Як правило, вона усереднюється і потребує сушіння лише в тому випадку, якщо вологість суміші перевищує діапазон, необхідний для холодного брикетування. Холодне брикетування потребує вологи в будь-якому випадку. Навпаки, для процесу плазмової обробки необхідне сушіння.

8.3.2.5 Технології зниження викидів, що утворюються під час сушіння коксу

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Шахтна піч використовується для сушіння коксу на одному заводі з виробництва ферохрому. Піч використовує у якості палива відхідні гази з плавильної печі з високим вмістом CO. Як обладнання для боротьби з викидами можна використовувати рукавний фільтр або мокрий скрубер [138, Niemelä, P. 1999].

Вологість коксу, який використовується в процесі виплавки, може досягати 10–20 % у випадку мокрого гасіння коксу. Високий вміст вологи в сировині, як правило, шкідливий для процесу виплавки, особливо в закритих печах, а також призводить до підвищеного споживання енергії та коксу. Сушіння коксу — це спосіб забезпечення необхідної кількості вуглецю в шихті плавильної печі.

Досягнуті екологічні переваги
- Зниження утворення пилу та дрібних часток.
- Використання відпрацьованих газів з високим вмістом CO як палива знижує загальне споживання енергії в процесі. Вміст енергії CO, що використовується для сушіння, становить 550–700 МДж.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Викиди коксового пилу у повітря становлять близько 35–45 г/т коксу. Температури коксового шару є низькими для утворення SO_2. Викиди CO_2 становлять 45–70 кг/тонну FeCr, а NO_2 — близько 20 г/тонну коксу.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Використання рукавних фільтрів є загальнозастосовним.

Ця технологія застосовується до всіх нових і наявних заводів, що використовують кокс мокрого гасіння, за умови, що наявний відхідний газ з печей з високим вмістом CO.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення споживання енергії.
- Зменшення викидів.

Приклади заводів
Завод у Фінляндії.

Довідкова література
[138, Niemelä, P. 1999].

8.3.2.6 Технології зменшення викидів від термічної обробки прокатної окалини або стружки перед виплавкою

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання допалювача (див. Розділ 2.12.5.2.1), за яким застосовується керамічний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.5).

Технічний опис
Знежирення титанової стружки в обертовій печі описано в Розділі 8.1.8 для виробництва феротитану.

Максимальна температура газів, що надходять у фільтрувальну установку, становить 350 ºC. Фільтр розрахований приблизно на 7000 $Нм^3$/год за 350 ºC і містить 576 керамічних фільтрів. Фільтри є трубчастими та виготовляються із силікату кальцію або алюмосилікату. Цикл очищення повністю автоматизований, а очищення здійснюється за допомогою пневмоімпульсної системи зі зворотним потоком. Здійснюється постійний моніторинг викидів пилу з димової труби та у разі відхилення вище встановленого рівня запускається сигнал тривоги.

Хоча у більшості випадків металургійна промисловість використовує рукавні фільтри для контролю викидів в атмосферу, для цієї цілі використовується керамічний фільтр через високу температуру потоку відпрацьованого газу. Керамічний фільтр забезпечує належну фільтрацію з мінімальним впливом на довкілля.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу та ЛОС.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На заводі використовуються наступні енергоносії:

- Газ: кількість газу, що споживається, сильно варіюється в залежності від щільності оброблюваного матеріалу і кількості присутніх масляних забруднювальних речовин і вмісту вологи. Середній рівень витрати зазвичай становить 374 $м^3$/тонну стружки, що обробляється.
- Електроенергія: завод не має власних лічильників. Проте підраховано, що споживання електроенергії зазвичай становить 180 кВт-год/тонну стружки, що обробляється.
- Вода: не використовується.

Допалювач забезпечує значення рівнів ЛОС нижче 20 мг/$Нм^3$, а значення рівнів пилу з керамічних фільтрів нижче 5 мг/$Нм^3$.

Викидів у воду не відбувається, а відхідний димовий пил процесу вивозиться на ліцензований майданчик для захоронення. Кількість димового пилу, що утворюється, буде залежати від кількості і якості оброблюваної стружки.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ці технології застосовні до нових та наявних заводів.

Економічні аспекти
Обертова сушарка і допалювач були встановлені в 1993 році. Вартість 1998 року становила 0,607 мільйона євро. Вартість циклону, повітропроводу та фільтрувальної установки (керамічного фільтра), встановлених у 1998 році, склала 0,410 мільйона євро. Розрахункова загальна вартість проєкту (1998 р.) склала 1,017 мільйона євро.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів.

Приклади заводів
Завод у Великій Британії.

Довідкова література
[159, Coulton, G. 1999]

8.3.2.7 Підігрівання та попереднє відновлення руди для зниження споживання енергії

Опис
Підігрівання та попереднє відновлення хромітової, латеритної або марганцевої руди з використанням пічного газу знижує питоме споживання електроенергії та одночасно збільшує продуктивність плавильної печі.

Технічний опис
Для марганцевої руди попереднє відновлення вищих оксидів марганцю здійснюється безпосередньо у верхній частині самої печі при використанні шматкової руди або під час спікання на агломераційному заводі. Інші технології попереднього відновлення (обертові печі, шахтні печі тощо) можуть використовуватися для марганцю, але в зараз вони використовуються тільки на дуже невеликій кількості заводів (якщо такі є) у всьому світі.

Коли ртуть присутня у сировині, що використовується (наприклад, у деяких марганцевих рудах), летка ртуть вивільняється у процесі, тому необхідно вживати заходи для зменшення викидів ртуті.

У Японії у виробництві ферохрому дрібницю хромітової руди гранулюють з коксом у якості відновника та обпалюють в обертовій печі. Пальник, що працює на вугільному пилу/CO/нафті, нагріває піч. Відпрацьоване тепло з печі рекуперується у котлі-утилізаторі для утворення пари. Вихлопний газ очищається у рукавному фільтрі. Попередньо відновлені гранули зберігаються в повністю герметичному усереднювальному бункері, призначеному для запобігання реокисненню. Потім відновлений матеріал у гарячому вигляді завантажується в піч, яка поєднує в собі підігрівання та попереднє відновлення

У феронікелевому виробництві застосовується підігрівання і попереднє відновлення металургійної суміші (латеритні руди, переробний пил і осад у вигляді гранул, вугілля і кокс) в обертовій печі перед плавильною піччю. Переваги полягають у зниженні споживання електроенергії та підвищенні продуктивності плавильної печі.

У процесі Outokumpu шихта підігрівається газом CO, що утворюється під час виплавки. Завдяки підігріву шихти вдалося знизити споживання електроенергії на 250–330 МДж на 100 °C підвищення температури підігріву на тонну ферохрому. Шляхом підігрівання шихти до 700 °C можна видалити вологу і більшу частину летких речовин перед завантаженням матеріалу в електричну піч. Таким чином, утворення відновних газів у дуговій печі з зануреною дугою є стабільним.

Піч підігрівання є закритою піччю. Тиск підтримується на нулі над шаром у шахтній печі, щоб уникнути витоку повітря в піч або витоку газу в навколишнє середовище. Втрати вуглецю мінімізуються температурою (800 °C) та дуже низьким вмістом кисню всередині печі. Відпрацьований газ з печі очищається в скрубері Вентурі.

Ця технологія використовується не тільки для зниження споживання енергії, але і робить сировину, що подається в закриту піч, більш однорідною і полегшує хімічні процеси, що відбуваються в печі.

Досягнуті екологічні переваги
- Зниження обсягу електроенергії, необхідної для подальшого процесу виплавки. Для процесів отримання НС FeCr або НС FeMn у закритих печах споживання коксу знаходиться в межах 420–520 кг/т. Попереднє відновлення руди з використанням вугілля або інших вуглецевих матеріалів у якості джерела енергії та у якості відновника знизить як кількість коксу, так і обсяг електроенергії, необхідні у відновлювальній печі.
- Шляхом підігрівання шихти до 700 °C можна видалити вологу і більшу частину летких речовин перед завантаженням матеріалу в електричну піч. Таким чином, утворення відновних газів у дуговій печі є стабільним.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Споживання електроенергії наступної плавильної печі знижується на 70–90 кВт-год на 100 ºC підвищення температури підігрівання плавильної печі.

У шахтній печі, де використовується суміш гранул/кускової руди та температура підігріву 700 °C, кількість відхідних газів, що викидаються в повітря, становить 500–600 $Нм^3$/т FeCr, кількість CO2 становить 300–400 $Нм_3$/т FeCr, а викиди пилу становлять 1-5 г/т FeCr. Процеси в печі обладнані витяжним обладнанням та обладнанням для боротьби з викидами. Через високі температури для очищення відхідних газів використовується вологе очищення. Інертний осад може використовуватися у деяких галузях будівельної промисловості.

Вплив на різні компоненти довкілля
У технології попереднього відновлення в обертовій печі збільшується загальне споживання вуглецевих матеріалів і валове споживання енергії у процесі в цілому [149, Schei, A, et al. 1998].

При підігріванні у шахті споживання не збільшується.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Підігрівання та попереднє відновлення застосовуються до нових та наявних заводів.

Використання CO як вторинного палива можливе лише для заводів, що використовують закриті печі.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зниження споживання енергії (споживання електроенергії у виплавці ферохрому можна знизити шляхом підігрівання сировинних матеріалів).

Приклади заводів
Заводи у Франції та Фінляндії.

Довідкова література
[111, Shunan Denko, Japan 1998], [140, Ferro-Alloy Expert Group 1998], [243, France 2008]

8.3.3 Відновлення феросплавів

8.3.3.1 Технології запобігання та зменшення викидів від плавильних заводів

У виробництві феросплавів найважливішим етапом є відновлення оксидів металів та легування присутнім у процесі залізом. Залежно від відновника використовуються різні типи плавильних систем (наприклад дугова електропіч або реакційний тигель). Дугові електропечі зазвичай працюють із зануреною дугою і бувають закритого, напівзакритого або відкритого типу. На конструкції різних плавильних систем впливають необхідна експлуатаційна гнучкість, асортимент сировини, можливість рекуперації енергії в нових печах, конструкція печі та екологічна ефективність. Різні технології рекуперації енергії, які слід враховувати, залежать від плавильної системи та місцевих умов, таких як ціни на енергію, строки будівництва та наявність потенційних клієнтів.

Різні печі, що використовуються для виробництва феросплавів, були описані раніше та перелічені в Таблиці 8.4, у якій узагальнені сплави, що виробляються, та переваги/недоліки різних систем.

8.3.3.1.1 Технології запобігання та зменшення викидів з відкритих дугових печей із зануреною дугою

Відкриті печі споживають більше електроенергії, ніж напівзакриті або закриті печі, через більший обсяг відхідних газів, що підлягають очищенню, і різних режимів роботи (наприклад, використання дрібної фракції, умови печі, відсутність підігріву). Крім того, рекуперація енергії набагато більш обмежена (тільки у вигляді гарячої води), ніж у випадку напівзакритих та закритих печей.

Відкриті печі із зануреною дугою із трьома електродами використовуються для виробництва FeMn, SiMn, FeSi, FeNi та металевого кремнію, а також для відновлення сплавів. Відкриті печі із зануреною дугою з одним електродом застосовуються для виробництва FeV, FeB та спеціальних феросплавів. Відкрита піч також використовується у виплавці феросплавів із залишків зі сталеливарного заводу. На заводі з виробництва феросплавів в Австрії FeV_{80} виробляється у відкритій печі із зануреною дугою з трьома електродами.

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4) з введенням адсорбентів або без нього.

Технічний опис
Рукавний фільтр
Рукавні фільтри, у багатьох випадках у феросплавній та металургійній промисловості, є фільтрами, що працюють під тиском, з вентиляторами на стороні забрудненого диму/газу. Також використовуються закриті всмоктувальні фільтри з вентиляторами на стороні очищеного газу. Закриті всмоктувальні фільтри в порівнянні з фільтрами, що працюють з надлишковим тиском, мають переваги, коли йдеться про рекуперацію енергії (для виробництва електроенергії) і в певних умовах моніторингу.

Рукавний фільтр з введенням адсорбенту
Коли ртуть присутня у сировині, що використовується (наприклад, у деяких марганцевих рудах), летка ртуть вивільняється у процесі, і необхідні спеціальні технології для зменшення викидів ртуті. Для виплавки феросплавів із залишків зі сталеплавильного заводу високий вміст цинку в сировині (до 30 % ZnO) потребує надлишку повітря для забезпечення спалювання парів цинку, присутніх у відхідних газах, і уловлювання великої кількості пилу з високим вмістом ZnO (до 200 кг на тонну сировини) рукавними фільтрами.

У цих печах введення активованого вугілля або буровугільного коксу використовується для зниження рівня діоксинів та ртуті у відхідних газах.

Досягнуті екологічні переваги
Рукавний фільтр

Зменшення викидів пилу та металів.

Рукавний фільтр з введенням адсорбенту
Зниження викидів пилу, ртуті, кадмію та діоксинів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавний фільтр

Таблиця 8.34: Викиди від відкритих печей із зануреною дугою (концентрації)

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
T	FeSi	Пил	Рукавний фільтр	НД	0,53	НД	Періодичний (піч A)	1 (2 проби)
		SO_2	Немає		36			
		NO_X			10			1 (1 проба)
	FeSi	Пил	Рукавний фільтр	НД	НЗ	НД	Періодичний (піч B)	1 (2 проби)
		SO_2	Немає		50			
		NO_X			27			1 (1 проба)
	FeSi	Пил	Рукавний фільтр	НД	НЗ	НД	Періодичний (піч C)	1 (2 проби)
		SO_2	Немає		65			
		NO_X			55			1 (1 проба)
P	Металевий Si	Пил	Рукавний фільтр	0,6	1,6	2,6	Періодичний (піч A, 2010, 2011 та 2012 роки)	2
				2,7	5,5	8,2		
				1,5	4,5	7,4		
				2,2	2,2	2,2	Періодичний (піч B, 2012 рік; у 2010 та 2011 роках печі A та B використовували спільний рукавний фільтр)	
				2,7	5,5	8,2		
				1,5	4,5	7,4		
				1,9	2,5	3,1	Періодичний (піч C, 2010, 2011 та 2012 роки)	
				2,9	3,9	4,9		
				0,65	0,7	0,7		
		SO_2	Немає	34	86	169	НД	НД
		NO_X		29,4	83	131	НД	НД
Q	Металевий Si	Пил	Рукавний фільтр	НД	3,9	НД	Періодичний	2
		SO_2	Немає		41			
		NO_X			42			
		ЛОС			3,75			
R	Металевий Si	Пил	Рукавний фільтр	НД	5,4	НД	Періодичний (піч A)	3
		Частки металу			0,12			
		SO_2	Немає		19			
		NO_X			18			
		ЛОС			3,2			
		ПАВ			0,00002			1
		ПХДД/Ф			0,0008 нг/Нм^3			
	FeSi	Пил	Рукавний фільтр	НД	31,17*	НД	Періодичний (піч B)	3
		Частки металу			0,08			
		SO_2	Немає		82			
		NO_X			28			
		ЛОС			8,57			
		ПАВ			0,0001			1
		ПХДД/Ф			0,0018 нг/Нм^3			
	CaSi	Пил	Рукавний фільтр	НД	22,0*	НД	Періодичний (піч C)	3
		Частки металу			0,05			
		SO_2	Немає		48,3			
		NO_X			34,3			
		ЛОС			8,57			
		ПАВ			0,00001			1

		ПХДД/Ф			0,0008 нг/Нм^3			
B	Металевий Si	Пил	НД	0,86	2,84	8,2**	Періодичний (піч A)	1 (12 проб)
		Частки металу		НД	0,048	НД		1 (1 проба)
		SO_2			18			
		NO_X			41			
		ЛОС			0,98			
		ПАВ			НВ			
	Металевий Si	Пил	Рукавний фільтр	1,01	14,98**	НД	Періодичний (печі B та C)	1 (16 проб)
		Частки металу		НД	0,086	НД		1 (1 проба)
		SO_2	Немає		9,4			
		NO_X			28			
		ЛОС			2,33			
		ПАВ			НВ			
U	Металевий Si	Пил	Рукавний фільтр	1,7	2,0	2,8	Періодичний (піч A)	1 (4 проби)
		Частки металу		НД	0,008	НД		1 (2 проби)
		SO_2	Немає	31	32	32		1 (2 проби)
		NO_X		6,3	6,4	6,3		1
		ЛОС		НД	10	НД		1
		ПАВ			0,0002			1 (2 проби)
	Металевий Si	Пил	Рукавний фільтр	1,4	4,0	11,4**	Періодичний (піч B)	1 (4 проби)
		Частки металу		0,008	0,17	0,328		1 (2 проби)
		SO_2	Немає	30,3	31,2	32		1 (2 проби)
		NO_X		НД	19	НД		1
		ЛОС			12			1
		ПАВ		0,0008	0,0008	0,0009		1 (2 проби)
	Металевий Si	Пил	Рукавний фільтр	1,5	1,6	1,7	Періодичний (піч C)	1 (4 проби)
		Частки металу		0,008	0,008	0,009		1 (2 проби)
		SO_2	Немає	34,5	35,3	36		1 (2 проби)
		NO_X		НД	17,8	НД		1
		ЛОС			5,4			1
		ПАВ		0,000 09	0,0001	0,0001		1 (2 проби)
V	Металевий Si	Пил	Рукавний фільтр	НД	11,3	НД	Періодичний	1
		Частки металу			0,007			
		SO_2	Немає		210			
		NO_X			34			
		ЛОС			8,9			
		ПАВ			0,045			
H	HC FeMn	Пил	Рукавний фільтр	1,53	4,141	7,96	Періодичний	5
		Cd+Hg+Tl		0,0012	0,0087	0,016		
		Pb		0,0041	0,011	0,0302		
		Mn		0,68	1,24	2,368		
		Sb+Cr+Co+ Cu+Mn+Ni+V		0,7	1,37	2,41		
		As+Te+Se		0,001	0,002	0,004		
		HC1	Немає	0,09	1,8	3,7		
		HF		0,19	0,26	0,85		
		SO_2		0,232	1,6	2,9		
		NO_X		7,14	11,34	15,4		
		ЛОС		0,5	1,14	4,4		
		ПХДД/Ф		0,0031 нг/Нм^3	0,013 нг/Нм^3	0,024 нг/Нм^3		
AC	FeV + FeMo	Пил	Рукавний фільтр	НД	1,0	НД	Періодичний	
					0,99			
					1,07			
					1,36			

		Органічний вуглець	Немає	1,7		3,3		
		ПАВ		НД	23 мкг/Нм^3	НД		
		ПХДД/Ф			0,001 нг МТЕ/Нм^3			
O	LC SiMn	Пил	Рукавний фільтр	0	3	НД	Безперервний (рік 2012)	За день
		Pb+Cd+Hg		0,004	0,005	0,007	Періодичний	3
		CO	Немає	17	70	213	Безперервний	За день
		SO_2		0	0	0	Періодичний	24
		NO_X		0	7	16		
		ПХДД/Ф		0,004 нг МТЕ/Нм^3	0,007 нг МТЕ/Нм^3	НД	Періодичний	1
O	LC SiMn	Пил	Рукавний фільтр	1	2,1	4,2	Періодичний (рік 2012)	1
DE 1	FeCr	Пил	Рукавний фільтр	0,1	НД	0,4	Періодичний (2011 рік)	За пів години

* Відомо, що гранично допустиме значення викидів становить 9 мг/Нм^3
** Відомо, що гранично допустиме значення викидів становить 5 мг/Нм^3.
Примітка: НД = немає даних. НВ = Не виміряно. НХ = Не характерно.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 8.35: Викиди від відкритих печей із зануреною дугою (масове навантаження)

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (кг/т)	Середнє значення (кг/т)	Максимум (кг/т)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
H	FeSi	Пил	Рукавний фільтр	0,56	0,57	0,58	Розраховано	
		SO_2	Первинні вимірювання	4,0	6,3	8,7	Періодичний	2 рази (1 проба кожного разу)
		NO_X		4,7	5,4	6,1		2 рази (3 проби кожного разу)
M	FeSi	Пил	Рукавний фільтр	0,47	0,47	0,47	Розраховано	
		SO_2	Первинні вимірювання	4,5	5,4	6,3	Періодичний	2 рази (1 проба кожного разу)
		NO_X		2,2	3,6	3,9		2 рази (3 проби кожного разу)

Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Рукавний фільтр з введенням адсорбенту
Можна досягти рівнів викидів ртуті та кадмію нижчими за 0,2 мг/Нм^3.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Рукавний фільтр
Рукавні фільтри можуть застосовуватись як у відкритих дугових печах із зануреною дугою з трьома електродами, так і в печах з одним електродом.

Технічні обмеження можуть вплинути на тип вимірювань: для феросиліцію та металевого кремнію вища температура диму та особлива геометрія випуску рукавного фільтра (випускні камери замість випускної труби) технічно не дозволяють здійснювати безперервний моніторинг.

Рукавний фільтр з введенням адсорбенту
Введення адсорбенту пов'язане з такими процесами, як відновлення сплаву із залишків сталеливарного заводу, де необхідно знизити вміст летких металів (наприклад, ртуті) у відхідних газах.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів пилу.

Приклади заводів
Заводи в Іспанії, Франції та Австрії.

Довідкова література
[369, Treibacher Industries AG 2008]

8.3.3.1.2 Технології запобігання та зменшення викидів з напівзакритих дугових печей із зануреною дугою

Напівзакриті дугові печі з зануреною дугою використовуються для виробництва FeCr, FeMn, SiMn, FeNi, FeSi сплавів і сплавів металевого кремнію, а також для відновлення спеціальних феросплавів.

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4) з введенням адсорбентів або без нього.

Технічний опис
Основними викидами у виробництві феросплавів у напівзакритих печах є пил, метали, CO_2, NO_X, SO_2 та ПХДД/Ф. До слідових викидів належать ПАВ.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавний фільтр

Таблиця 8.36: Викиди від напівзакритих дугових печей із зануреною дугою, де використовуються рукавні фільтри

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
Л	SiMn	Пил	Рукавний фільтр	2	3	3	Періодичний (рік 2012)	Раз на 2 роки (3 проби)
				1	1	1	Періодичний (2010 рік)	
				5	5	5	Періодичний (2008 рік)	
О	FeMn з низьким вмістом вуглецю	Пил	Рукавний фільтр	0	2	20	Безперервний (рік 2012)	За день
		Pb+Cd+Hg		0,004	0,006	0,010	Періодичний	3
		CO	Немає	21	48	119	Безперервний	За день
		SO_2		0	0,2	1,4	Періодичний	24
		NO_X		6	52	185		
		ПХДД/Ф		0,004 нг МТЕ/Нм^3	0,006 нг МТЕ/Нм^3	0,01 нг МТЕ/Нм^3	Періодичний	1
О	FeMn з низьким вмістом вуглецю	Пил	Рукавний фільтр	10,2	20,3	НЗ	Періодичний (піч А, 2013 рік)	Раз на 2 роки
	FeMn з низьким вмістом вуглецю	Пил	Рукавний фільтр	10,2	17,4	НЗ	Періодичний (піч В, 2013 рік)	Раз на 2 роки
АА	FeCr	Пил	Рукавний фільтр	1,2	3,0	8,8	Безперервний	За день
		Cr			0,3		Періодичний	4
	FeSi	Пил	Рукавний фільтр	1,0	2	3,9	Безперервний	За день
		Cr		НД	0,04	НД	Періодичний	2
		CO	Немає		60		Періодичний	1
		SO_2			120			
		NO_X			245			

Примітка: НД = немає даних. НХ = Не характерно.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012], [407, Euroalliages 2013]

Таблиця 8.37: Викиди від напівзакритих дугових печей із зануреною дугою, де використовуються рукавні фільтри з введенням адсорбенту

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
AB	FeCr	Пил	Двоетапний рукавний фільтр з введенням адсорбенту на другому етапі	3	5	7	Безперервний	За день
		Hg		< 0,0005	0,013	0,033	Періодичний	5
		Pb		0,013	0,026	0,075		
		F		0,057	0,113	0,29		
		Cd		0,0003	0,0013	0,0052		
		Cr		0,0051	0,0383	0,148		
		Ni		0,0007	0,0024	0,006		
		Mn		0,006	0,0087	0,0094		
		Zn		0,05	0,133	0,23		
		ЛОС		6,3	7,1	7,4		
		Sb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V		НД	0,16	НД	Періодичний	1
		As+Te+Se			0,0027			
		Загальний ціанід			0,008			
		SO_2			< 0,22			
		NO_X			59			
		ПХДД/Ф			0,004 нг/Нм^3			

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Технічні обмеження можуть вплинути на тип вимірювань: для феросиліцію та металевого кремнію вища температура диму та особлива геометрія випуску рукавного фільтра (випускні камери замість випускної труби) технічно не дозволяють здійснювати безперервний моніторинг.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів пилу.

Приклади заводів
Заводи у Швеції, Норвегії, Іспанії та Франції.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

8.3.3.1.3 Технології запобігання та зменшення викидів із закритих дугових печей із зануреною дугою

Закриті дугові печі з зануреною дугою використовуються для виробництва FeCr, FeMn, SiMn і спеціальних феросплавів. Заводи попереднього плавлення, що виробляють FeNiMo та FeV_{60}, також використовують печі цього типу.

Опис
Технології, які слід розглянути:

- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6);
- мокрий скрубер з подальшим застосуванням технологій боротьби з викидами ртуті (мокрий електростатичний фільтр та абсорбер);
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Мокрий скрубер
Застосування мокрого скрубера слід враховувати, коли в закритих печах утворюються відхідні гази з високим вмістом CO, які необхідно промивати й очищати від пилу за дуже високих температур.

Газ з високим вмістом CO, що утворюється в закритій плавильній печі у виробництві FeCr, містить 85–90 % CO, 5-7 % H_2, 2–5 % CO_2, 2–5 % N_2 та 1–2 % H_2O, а газ, що утворюється у закриті плавильні печі для виробництва FeMn/SiMn містить 40–80 % CO, 5–50 % CO_2 та 0-15 % H_2 [407, Euroalliages 2013]. Газ CO є високоякісним паливом із дуже низьким вмістом сірки. Оскільки обсяг вихлопних газів від виплавки невеликий і використовується в інших процесах, викиди пилу в атмосферу мінімізовані. Газ надходить у різні установки споживання для заміни інших видів палива, наприклад, важкої нафти та зріджених нафтових газів.

Мокрий скрубер з подальшим застосуванням технологій боротьби з викидами ртуті (мокрий електростатичний фільтр та абсорбер)
Коли ртуть присутня у сировині, що використовується (наприклад, у деяких марганцевих рудах), летка ртуть вивільняється у процесі, і необхідні спеціальні технології для зменшення викидів ртуті.

Рукавний фільтр
Зареєстрований один випадок, коли закрита піч для виробництва феросплавів була обладнана тканинним фільтром замість системи мокрого очищення. Цей фільтр регенерує тепло з вихлопних газів та усуває потребу в установці скруберного очищення. Уловлений пил гранулюється і потім повертається в піч, а очищений газ спалюється в котлоагрегаті.

Досягнуті екологічні переваги
Мокрий скрубер
Зменшення викидів пилу та металів.

Мокрий скрубер з подальшим застосуванням технологій боротьби з викидами ртуті (мокрий електростатичний фільтр та абсорбер)
Зменшення викидів пилу та ртуті.

Рукавний фільтр
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Вміст хрому(VI) у пилу печі становить 5 часток на млн у закритій печі. Пил з печі складається в основному з SiO_2, MgO, Zn і C і в меншій кількості з Cr, Fe, Al_2O_3 та CaO.

Мокрий скрубер

Таблиця 8.38: Викиди від закритих дугових печей з зануреною дугою, де використовуються мокрі скрубери (концентрації)

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
Z	HC FeMn	Пил	Мокрий скрубер	НД	0,7	НД	Розрахунок	НД
		Hg		0,002	0,084	0,164	Періодичний	36
		Pb		НД	0,004	НД	Розрахунок	НД
		As			0,002			
		Cd			0,01			
		Mn			0,09			
		Zn			0,01			
M	FeMn + SiMn	Пил	Мокрий скрубер	НД	НД	25,4	Періодичні (піч A, 2011 та 2012 роки)	Один раз кожного року (1 проба)
						33,8		
						2,6	Періодичні (піч B, 2010 та 2012 роки)	
						7,7		
Л	FeMn + SiMn	Пил	Мокрий скрубер	16	23,7	32	Періодичні (піч A, 2011 рік)	Раз на 2 роки (3 проби)
				11	11,7	13	Періодичні (піч B, 2013 рік)	
				10	12,3	14	Періодичні (піч C, 2012 рік)	
				30	34	39	Періодичні (піч D, 2012 рік)	

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Таблиця 8.39: Викиди від закритих дугових печей з зануреною дугою, де використовуються мокрі скрубери (масове навантаження)

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (кг/т)	Середнє значення (кг/т)	Максимум (кг/т)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
AE	HC FeCr	Пил	Мокрий скрубер	НД	0,2247	НД	Безперервний	Безперервний
		Cr			0,0021		Періодичний	НД
		Hg			0,000002			
		Pb			0,0003			
		As			0			
		Cd			0,0000007			
		Zn			0,0061			
		Ni			0,00003			
		Cu			0,000004			
		V			0,00001			
		ЛОС			0,0195			
		ПХДД/Ф			2,1645 нг/т			
M	SiMn	Пил	Мокрий скрубер	0,042	0,0635	0,085	Періодичний	2
		SO_2		0,0001	0,00055	0,001		
M	FeMn	Пил	Мокрий скрубер	0,026	0,059	0,092	Періодичний	
		SO_2		0,0002	0,0004	0,0006		
Л	FeMn + SiMn	Пил	Мокрий скрубер	НД	0,05	0,164	Періодичний	НД

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Щоб продемонструвати кореляцію між концентраціями та навантаженнями, в Таблицю 8.40 внесені концентрації та навантаження, про які повідомляють заводи M і L.

Таблиця 8.40: Кореляція між концентраціями та масовими навантаженнями на заводах, що використовують закриті печі

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Мінімум (кг/т)	Середнє значення (кг/т)	Максимум (кг/т)
M	FeMn + SiMn	Пил	НД	НД	25,4	НД	НД	0,022
					33,8			0,026
					2,6			0,003
					64,1			0,085
Л	FeMn + SiMn	Пил	16	23,7	32	0,034	0,050	0,067
			12	23,3	35	0,019	0,037	0,057
			20	25,7	31	0,031	0,036	0,044
			11	11,7	13	0,01	0,012	0,014
			13	38,3	58	0,015	0,050	0,075
			10	18,7	31	0,007	0,013	0,02
			10	12,3	14	0,014	0,017	0,02
			9	11	13	0,011	0,013	0,015
			10,2	13,1	15	0,012	0,014	0,018
			30	34	39	0,042	0,047	0,052
			12	18,3	30	0,019	0,028	0,045
			26	38	55	0,035	0,047	0,065

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Мокрий скрубер з подальшим застосуванням технологій боротьби з викидами ртуті

Таблиця 8.41: Викиди від закритих дугових електропечей із зануреною дугою, що використовують мокрі скрубери з подальшим застосуванням технологій боротьби з викидами ртуті

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум ($мг/нм^3$)	Середнє значення ($мг/нм^3$)	Максимум ($мг/нм^3$)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
I	SiMn з низьким вмістом вуглецю + НС SiMn	Пил	Промивні пристрої Вентурі, котел та установка очищення від ртуті (мокрий скрубер)	2,5	3,35	4,0	Періодичний	4
Дж	НС FeMn	Пил	Скрубер Вентурі, мокрий електростатичний фільтр та абсорбер	НД	2	НД	Розраховано	НД
К	FeMn з низьким вмістом вуглецю + FeMn з середнім вмістом вуглецю + SiMn	Пил	Скрубер Вентурі, мокрий електростатичний фільтр та абсорбер	НД	2	НД		

НД = немає даних.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Рукавний фільтр

Таблиця 8.42: Викиди від закритих дугових печей із зануреною дугою, де використовуються рукавні фільтри

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Середнє значення ($мг/нм^3$)	Тип вимірювання
AC	FeV + FeMo	Пил	Рукавний фільтр	0,10 0,16 0,10	Періодичний

Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля

Мокрий скрубер

Утворення промивної рідини та осаду, що потребують подальшої обробки. Вода з газових скруберів міститиме різну кількість завислих речовин. Їх необхідно видалити перед рециркуляцією або скиданням води. Інертний осад зі стічних вод може використовуватися у деяких галузях будівельної промисловості або піддаватись захороненню. Забруднена вода перекачується в комбінацію згущувачів та відстійників. Оскільки частки переважно дуже дрібні, необхідно додати флокулянт, щоб полегшити осадження в згущувачах. Вода також міститиме невелику кількість ціанідів. Рівень ціанідів можна знизити, використовуючи промивну воду для гранулювання шлаку, що призводить до випаровування й окиснення більшої частини ціанідів. Подальше зниження може бути досягнуто внаслідок тривалого часу утримання у великих ставах, що дає час для окиснення ціанідів перед скиданням, а також дає час для осадження твердих завислих часток до низького рівня. Для видалення ціанідів використовується тепло, що міститься у шлаку.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Мокрі скрубери зазвичай застосовуються в закритих печах із зануреною дугою. Повідомлялося, що рукавні фільтри можуть застосовуватися тільки в закритих печах із зануреною дугою, в яких відпрацьований газ окиснюється (і, отже, має низький вміст CO) перед вилученням з печі, оскільки в іншому випадку виникає ризик вибуху.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів пилу.

Приклади заводів
- Мокрий скрубер: заводи в Норвегії, Іспанії, Франції та Фінляндії.
- Мокрий скрубер із подальшим застосуванням технологій боротьби з викидами ртуті: завод у Норвегії.
- Рукавний фільтр: завод в Австрії.

Довідкова література
[369, Treibacher Industries AG 2008]

8.3.3.1.4 Технології запобігання та зниження викидів від закритого процесу плазмової обробки пилу

Процес плазмової обробки пилу використовується для обробки залишків зі сталеливарного заводу (переважно пилу з неіржавкої сталі з дугової електропечі). Він обробляє дрібнодисперсний матеріал без необхідності агломерації, але потребує сухої сировини.

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.1.6);
- мокрий електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.2);
- селеновий фільтр (див. Розділ 2.12.5.5).

Технічний опис
На одному заводі у Швеції технологічний газ охолоджується й очищається в триетапній системі скрубера Вентурі, за якою використовується мокрий електростатичний фільтр. Технологічний газ, що не повертається у шахтну піч, очищується на установці з фільтром для ртуті (селеновий фільтр). Очищений газ спалюється/використовується під час сушіння сировини, у водогрійних котлах або для постачання енергії в комунальну віддалену тепломережу, або спалюється (надлишковий газ). Вихлопні гази системи сушіння сировини очищаються у двох рукавних фільтрах.

Гази з усіх точок викидів, де є ризик утворення пилу/викидів, в тому числі залу печі, уловлюються та очищаються у двох рукавних фільтрах.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів у повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Шведський плазмовий завод виробляє близько 60 000 т/рік продуктів (Ni, Mo, Cr, Mn і Fr) з металовмісних дрібних часток потоком 70 000 т/рік.

Загальні викиди пилу від цього заводу повідомлені у Таблиці 8.43.

Таблиця 8.43: Викиди від закритого процесу плазмової обробки пилу

Джерело викидів пилу	Пил (мг/нм^3)	Пил (кг/рік)	кг/т сухої сировини
Спалювання	1,3	13,1	0,003
Після котлів	1,0	34	
Після рукавного фільтру	0,12	131,3	
Всього	НД	178,4	
Примітка: НД = немає даних.			

Викиди пилу від джерел дифузних викидів оцінюються в 30–70 кг/рік.

Рівень ртуті після селенового фільтра становить 0,009 мг/Нм^3, що відповідає ефективності видалення ртуті 94 %.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Завод у Швеції.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

8.3.3.1.5 Технології запобігання та зменшення викидів з багатоподових печей

У феросплавній промисловості багатоподові печі використовуються для випалювання концентратів сульфідної руди в оксиди. У молібденовій промисловості багатоподові печі є найчастіше використовуваною технологією для перетворення молібденіту (сульфідного концентрату) на оксиди молібдену (випалений молібденовий концентрат або ВМК).

Опис
Технологіями, які слід розглянути, є використання сухого знепилення (відстійна камера, циклони та сухий електростатичний фільтр), мокрого знепилення (скрубер, водяний конденсатор і краплевловлювач), сірчанокислотний процес або відновлення H_2SO_4 (зменшення викидів SO_2) та туманоуловлювача.

Технічний опис
Для процесів випалювання в багатоподових печах основними екологічними проблемами, які необхідно вирішити, є контроль запиленості та зменшення викидів SO_2. Піч і більшість установок очищення газу знаходяться під тиском для уникнення дифузних викидів.

Відстійні камери, циклони та сухий електростатичний фільтр (сухе знепилення)
Основною метою цієї технології є видалення грубодисперсних та дрібнодисперсних часток пилу, і цей блок складається з конфігурації загальних технологій, таких як відстійні камери, циклони та сухий електрофільтр.

Скрубер, водяний конденсатор та краплевловлювач
Основною метою цієї технології є видалення найдрібніших часток пилу та летких компонентів, таких як кислоти (HCl, HF) та металовмісних сполук (сполуки селену, оксиди арсену).

Сірчанокислотний процес або відновлення H_2SO_4
Після сухого та мокрого знепилення технологічний газ є чистим, за винятком вмісту в ньому SO_2. Для видалення SO_2 можна використати багато технологій. Для випалювання молібденіту викиди SO_2 можна зменшити шляхом відновлення сірчаної кислоти (H_2SO_4). Якщо технологічний газ, що містить SO_2, обробляється таким чином, найбільш придатним є процес виробництва мокрої сірчаної кислоти (процес WSA). Якщо технологічний газ, що містить SO_2, збагачується шляхом спалювання сірки, можна використовувати класичний сірчанокислотний процес. Різниця між процесом WSA та класичним сірчанокислотним процесом описана у Главі 2.

Туманоуловлювач
*Т*уманоуловлювач зазвичай застосовується після установки з виробництва сірчаної кислоти. Залежно від концентрації кислотного туману та компромісу між ефективністю видалення туману та споживанням енергії (і, отже, викидами CO_2) можна використовувати або фільтри-свічки (фільтр Brink), або мокрі електростатичні фільтри.

Досягнуті екологічні переваги
Відстійні камери, циклони та сухий електростатичний фільтр (сухе знепилення)
Зменшення викидів грубодисперсного та дрібнодисперсного пилу.

Скрубер, водяний конденсатор та краплевловлювач
Зменшення викидів найдрібніших часток пилу, летких компонентів, таких як кислоти та металовмісні сполуки.

Сірчанокислотний процес або відновлення H_2SO_4
Зменшення викидів SO_2.

Туманоуловлювач
Зниження концентрації кислотного туману.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Викиди пилу від процесів випалювання, оснащених установками з виробництва сірчаної кислоти, завжди дуже низькі, тому що після сухого і мокрого знепилення шари каталітичного нейтралізатора вловлюють більшу частину частинок пилу, що залишилися. Насправді це є циклом, що саморегулюється. Щоб запобігти блокуванню шарів каталітичного нейтралізатора, обладнання для сухого та вологого знепилення буде працювати та спроєктоване таким чином, щоб максимізувати видалення пилу. І значення вимірювань пилу в димовій трубі низькі (< 2 мг/Нм^3).

Як і в багатьох металургійних процесах, як обсяг газу, так і концентрація SO_2 у печах для випалювання значно змінюються з часом. Це пояснює, чому зменшення викидів SO_2 не може відповідати тим самим стандартам, що й у звичайному виробництві сірчаної кислоти, де сірчана кислота навмисно виробляється у дуже стабільних технологічних умовах, а не внаслідок технології зниження викидів SO_2. Проте, сучасні кислотні установки, підключені до установок для випалювання молібденіту, можуть утримувати викиди SO_2 на стабільному рівні в середньому на рік близько 500 мг/Нм^3.

Туманоуловлювач регулює викид кислотного туману в типовому діапазоні 5–20 мг SO_3/Нм^3 і максимум 50 мг/Нм^3. Ці рівні призводять до майже невидимого шлейфу викидів в димовій трубі.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії (сухе та мокре знепилення та технології зниження викидів SO_2). Для зниження викидів SO_2 на установці з виробництва сірчаної кислоти потрібна не тільки електроенергія для компенсації перепадів тиску, але й теплова енергія (з природного газу або палива) для компенсації втрат тепла в процесі. Споживання електроенергії зазвичай становить 600 кВт-год/т віддаленого SO_2, а споживання газу або палива зазвичай становить 450–650 кВт-год/т віддаленого SO_2.
- Високий перепад тиску в системі (фільтр-свічка). Типові значення становлять 20–25 мбар.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Хоча сірчана кислота є товарним продуктом, її продаж не покриває собівартості її виробництва або навіть експлуатаційних витрат (енергія, робоча сила, технічне обслуговування, витратні матеріали). Таким чином, витрати на зниження викидів SO_2 покриваються коштом прибутку від операцій з випалювання.

Стимул до впровадження
- Зменшення впливу на довкілля.
- Стандарти якості повітря.

Приклади заводів
Заводи в Бельгії та Нігері.

Довідкова література
[104, Ullmann's Encyclopedia 1996]

8.3.3.1.6 Методи запобігання та зменшення викидів з тиглів з вогнетривкою футерівкою

Тиглі з вогнетривкою футерівкою використовуються у виробництві феромолібдену та феровanадія.

Опис
Технологіями, які слід розглянути, є використання відстійної камери, циклону (див. Розділ 2.12.5.1.3) та рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Незалежно від того, чи використовується стаціонарне місце реакції або карусельна система тиглів з вогнетривкою футерівкою, обробка диму в основному схожа і складається з класичних установок знепилення, таких як відстійна камера, циклони та рукавний фільтр. Для обмеження температури в рукавному фільтрі (для захисту тканинних мішків) в систему всмоктується вторинне повітря, переважно навколо самого місця реакції. Це покращує ефективність знепилення у місці реакції. Додавання флюсів може призвести до викиду газоподібних компонентів, які не будуть вловлюватись рукавним фільтром. Вони повинні бути мінімізовані шляхом ретельного контролю додавання флюсу і можуть бути зменшені за допомогою технології вологого або сухого чищення, якщо це необхідно.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Таблиця 8.44: Викиди з тиглів з вогнетривкою футерівкою

Завод	Вироблені феросплави	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
A	FeMo	Пил	Рукавний фільтр	0,2	0,92	1,4	Безперервний	Щогодинно
		Пил		0,2	1,69	4,77	Періодичний	12
X	FeMo	Пил	Рукавний фільтр	2	2,15	2,3	Періодичний	2
AC	FeMo + FeV	Пил	Рукавний фільтр	НД	< 2	НД	Періодичний	НД
		ПАВ			35 мкг/Нм^3			
		Органічний вуглець			2,7			
		ПХДД/Ф			0,001 нг МТЕ/Нм^3			
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]								

У випадку феромолібдену можна підтримувати виробництво протягом більш тривалих періодів експлуатації. Як наслідок, технологія, що застосовується, вимагає вищого рівня захисту навколишнього середовища. Наприклад, більш тривалий час експлуатації призводить до підвищеного пилоутворення і, як наслідок, до вищого навантаження на фільтрувальні системи.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії. Щоб уникнути викиду пилу та пари з тигля, вентилятор повинен створювати негативний тиск під ковпаком або в реакційній камері (залежно від способу уловлювання та зниження викидів газів). Через характер реакцій періодичної дії вентилятор повинен справлятися з високими піками об'єму і, отже, споживає багато енергії для підтримання позитивного перепаду тиску в установці знепилення (електродвигуни потужністю 200 кВт є чимось незвичайним).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення впливу на довкілля.
- Стандарти якості повітря, переважно пов'язані з пилом.

Приклади заводів
Заводи в Австрії, Бельгії та Великій Британії.

Довідкова література
[104, Ullmann's Encyclopedia 1996], [369, Treibacher Industries AG 2008]

8.3.3.1.7 Технології запобігання та зменшення викидів з обертових печей

Виробництво феронікелю з первинної сировини здійснюється виключно в обертовій електричній печі.

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання електростатичного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.1).

Технічний опис
Основною технологією екологічного управління щодо викидів, що утворюються обертовими печами, є уловлювання пилу, що міститься у вихлопних газах (~ 150 г/Нм^3), за допомогою електростатичних фільтрів.

Фільтрування пилу найбільш ефективне, коли пил легко іонізується, як у випадку з дрібними частками сирого матеріалу. Проте обпалений пил більш стійкий до обробки в електростатичному фільтрі. Походження пилу з процесу продемонстровано у Таблиці 8.45.

Таблиця 8.45: Походження пилу в процесі

Походження пилу	Кількість (%)
Попередньо висушені руди	65
Термочутливий пил з печі	29
Вугільний пил	6

Стандарті викидів можна дотримуватись шляхом управління процесом, наприклад, шляхом збільшення або зменшення тиску потоку, де це можливо, та шляхом комбінованого використання мазуту та вугілля.

Оскільки спільна присутність SO_3 та води у викидах може призвести до утворення сірчаної кислоти, важливо підтримувати температуру викидів вище 110 °C (точка роси кислоти):

$H_2O + SO_3 \rightarrow H_2SO_4$ (температура викидів < 110 °C)

$H_2SO_4 + Fe \rightarrow FeO\text{-}OH + SO_2$ (температура викидів > 110 °C)

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Використання електростатичного фільтра допоможе значно зменшити кількість пилу, що утворюється у процесі (повідомляється про ефективність > 99,67 %).

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Дотримання екологічних стандартів.
- Рекуперація пилу з високим вмістом металів для рециркуляції у піч.

Приклад заводу

Eramet SLN (Нова Каледонія).

Довідкова література
[110, Anthony, T. 1997]

8.3.3.2 Технології зниження викидів у виробництві феросплавів в результаті випускання

Опис
Технологією, яку необхідно розглянути, є використання відповідних витяжних систем (див. Розділ 2.12.4.3) та рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Для відкриття льотки плавильної печі можна використовувати пневматичну або гідравлічну свердлову машину (не застосовується для кремнію). Різання кисневим списом також використовується або як єдиний метод, або як резервний або доповнення до свердління. Пушка для випускання допомагає видалити закорковування. Льотка закривається після випускання за допомогою пушки для закладання льотки або пасти/глини для закладання [226, Nordic Report 2008]

Найчастіше використовуваною технологією випускання є каскадне випускання для процесів зі шлаком, таких як виробництво FeMn, SiMn та FeCr (не застосовується для металевого кремнію або FeSi). У цьому випадку метал та шлак випускаються разом в одну ємність. Як правило, шлак з нижчою щільністю випливає у верхній частині ванни та переливається через злив в окремий ківш у міру заповнення ванни. Слід зазначити, що кремнієвий шлак має більшу щільність, ніж металевий кремній.

Дими при випуску складаються з диму, що виходить з процесу в печі через льотку, диму від різання кисневим списом, пилу від свердління і диму від осаду рідин, що випаровуються, якщо використовується пушка для випускання. Ці дими складаються переважно з оксидів металів, які беруть участь у процесі виплавки. Під час проєктування системи витяжного ковпака слід враховувати необхідність доступу до системи завантаження та інших операцій печі, а також те, як змінюється джерело технологічних газів протягом технологічного циклу [140, Ferro-Alloy Expert Group 1998].

Конструкція відповідних систем витяжного ковпака для уловлювання диму із зон випускання значною мірою залежить від особливостей розташування зони випускання на конкретному об'єкті. Тому існує велика кількість різних конструкцій ковпаків.

Наприклад, на одному заводі Eramet в Норвегії метал витікає з льотки коротким похилим жолобом у сталерозливний ківш через отвір на майданчику для випускання (майданчик навколо печі, розташований приблизно на 40 см нижче рівня льотки). Сталерозливний ківш встановлюється на візку, що знаходиться під майданчиком для випускання під час процесу відпускання. Після цього візок переміщають від печі, щоб кран міг підняти ківш. Під час випускання ківш закривається під майданчиком, а пил збирається вентилятором. Над льоткою розташований ковпак: повітря вдувається вниз від країв ковпака (повітряна завіса) для запобігання виходу пилу, а насичене пилом повітря висмоктується вентилятором, з'єднаним із ковпаком. Повітря фільтрується у рукавному фільтрі. Деякі додаткові вдосконалення передбачають розміщення візка для направлення пилу з-під підлоги зони випускання до первинного ковпака (значно обмежуючи кількість пилу в робочому середовищі під вторинним ковпаком) і наявність або вертикальної фізичної стіни, або вертикальної повітряної завіси у кінці підлоги зони випускання для запобігання виходу пилу з-під підлоги зони випускання.

Нові ковпаки або удосконалення наявних ковпаків можуть бути спроєктовані так, щоб максимально ефективно уловлювати пил з використанням технологій обчислювальної гідродинаміки (CFD).

У печах для виробництва кремнію і феросиліцію можна використовувати систему витяжного ковпака, подібну продемонстрованій нижче.

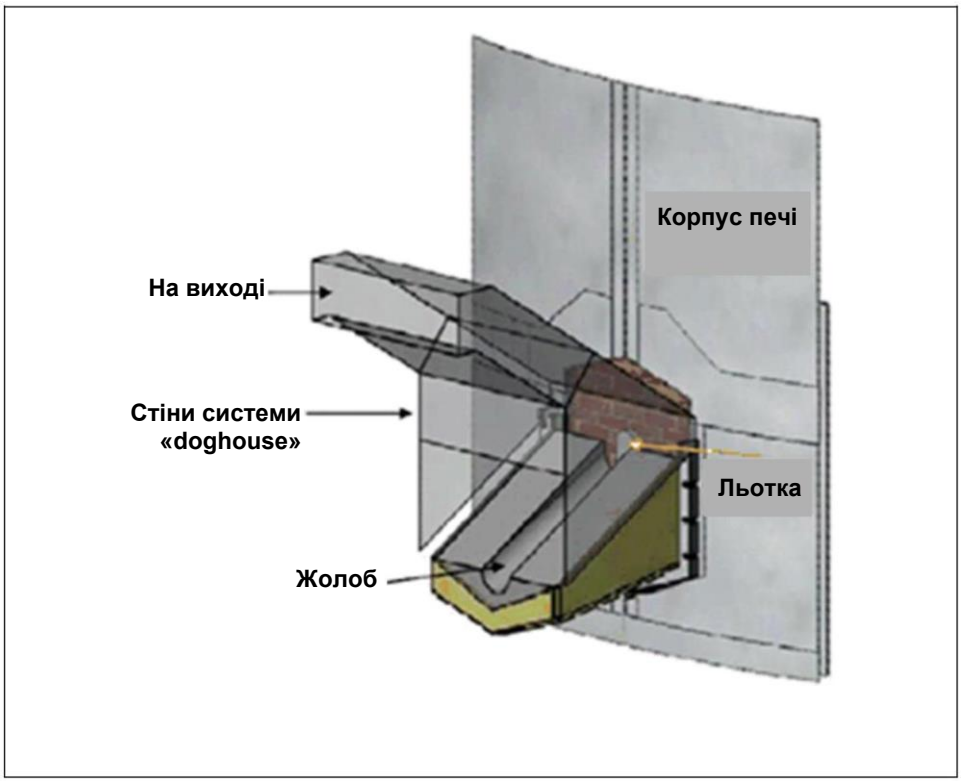


Рисунок 8.21: Система витяжного ковпака, що використовується в деяких печах для виробництва кремнію та феросиліцію

Очисним обладнанням, яке використовується для уловлювання диму від випускання, є рукавний фільтр. Це може бути окремий фільтр або фільтр, який також очищає дим від лиття металу або відхідні гази печі.

Обладнання для знепилення складається з різних ковпаків, розташованих над льоткою печі.

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення викидів пилу.
- Використання відповідних систем витяжного ковпака також призводить до покращення умов роботи.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Ефективність уловлювання така:

- Основний витяжний ковпак: 96 %.
- Ковпак для випускання металу в ківш: 86 %.
- Ковпак жолобу (див. Рисунок 8.21): 100 %.
- Ефективність уловлювання: важко виміряти безпосередньо. Дані, розраховані з використанням моделювання методом комп'ютеризованої гідродинаміки, оцінюють ефективність в діапазоні від 70 % до 90 %.
- Потік: 100 000 $Нм^3$/год.

Таблиця 8.46: Викиди пилу під час випускання

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/нм^3)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
Z	HC FeMn	Пил	Рукавний фільтр	0,3	0,6	1,2	Періодичний	36
K	LC FeMn + MC FeMn + SiMn		Рукавний фільтр	0,02	0,04	0,05	Періодичний	4
			Рукавний фільтр	0,03	0,035	0,04		
Л	FeMn + SiMn		Рукавний фільтр	5	5,6	7	Періодичний (піч A, 2009 та 2012 роки)	Раз на 3 роки (3 проби)
				3	3	3		
				4	4	4	Періодичний (піч B, 2010 та 2012 роки)	
				1	1	1		
Y	SiMn		Рукавний фільтр	0,23	4,3	Недійсні дані (вище за гранично допустиме значення викидів)	Періодичний	
I	LC SiMn + HC SiMn		Рукавний фільтр	2,80	3,65	4,20	Періодичний	4
O	FeMn		Рукавний фільтр	1	1,6	2,4	Періодичний (рік 2012)	Один раз кожного року (3 проби)
O	SiMn		Рукавний фільтр	3,6	8,1	13,6	Періодичний (рік 2012)	Один раз кожного року (3 проби)
M	Si		Рукавний фільтр			3	Періодичний (рік 2012)	Один раз кожного року (1 проба)
						30	Періодичний (рік 2012)	

* Значення, надані для чотирьох інших звітних років, завжди нижче 5 мг/Нм^3.
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Дані щодо окремих заводів показують, що використання рукавного фільтра на цьому етапі дозволяє досягти рівня викидів пилу < 5 мг/Нм^3.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії (вентилятори).
- Для ефективного відведення газів потрібна закрита зона випускання, що призводить до підвищеного теплового впливу на робітників.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Використання рукавних фільтрів є загальнозастосовним методом.

Конфігурація ковпака дуже залежить від особливостей розташування зони випускання на конкретному об'єкті.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Зниження негативного впливу пилу/диму на робітників у приміщенні печі.

Приклади заводів
Заводи у Франції, Іспанії, Німеччині, Норвегії, Швеції та Фінляндії.

Довідкова література
[140, Ferro-Alloy Expert Group 1998] [141, Elkem Asa 1998], [197, Kantola, E. 1999], [199, EnviroSense 1995], [226, Nordic Report 2008], [255, VDI 2010].

8.3.4 Лиття, рафінування та легування у виробництві феросплавів

8.3.4.1 Технології зниження викидів у виробництві феросплавів від лиття, переміщенні та повторного заповнення.

Опис
Технологією, яку необхідно розглянути, є використання відповідних витяжних систем (див. Розділ 2.12.4.3) та рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Дим від лиття — це дим від усіх відкритих металевих та шлакових поверхонь. Ці дими складаються переважно з оксидів металів, які беруть участь у процесі виплавки. Під час проєктування системи витяжного ковпака слід враховувати необхідність доступу до системи завантаження та інших операцій печі, а також те, як змінюється джерело технологічних газів протягом технологічного циклу [140, Ferro-Alloy Expert Group 1998].

Конструкція відповідних систем витяжного ковпака для уловлювання диму із зон лиття значною мірою залежить від особливостей розташування зони лиття на конкретному об'єкті. Тому існує велика кількість різних конструкцій ковпаків. Може бути окремий фільтр або фільтр, який також очищає дим від випускання металу або відхідні гази печі.

У деяких випадках рідкий метал зливають у закриті траншеї, де дим уловлюється та прямує у рукавний фільтр. Щоб забезпечити найкраще закриття траншей, для зливання шлаку використовується самоскид. Це процес, у якому утворюється найбільше диму. У випадку розплавленого ферохрому та інтегрованих установок рідкий метал можна використовувати безпосередньо у виробництві сталі, мінімізувавши лиття і пов'язані з ним викиди пилу. Проте, оскільки неможливо завжди ідеально збалансувати виробництво ферохрому з потребами сталеливарного заводу, на інтегрованому майданчику з виробництва ферохрому повинні бути доступні установки з лиття металу.

Рукавні фільтри широко застосовуються.

Досягнуті екологічні переваги
Скорочення дифузних викидів пилу, що також призводить до покращення умов роботи.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Таблиця 8.47: Викиди пилу від лиття

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Середнє значення (кг/год)	Середнє значення ($мг/нм^3$)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
U	Кремній	Пил	Рукавний фільтр	0,1	1,1	Періодичний	1
		Частки металу		0,02	0,15		
		ПАВ		0,0003	0,003		
		ЛОС		2,2	20		
		SO_2		0,04	0,4		
		NO_X		5,7	51		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії (вентилятори).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Використання рукавних фільтрів є загальнозастосовним методом.

На наявних заводах використання ковпаків для операцій лиття не завжди технічно можливе через вимоги щодо розміщення. У цьому випадку можна використовувати технічне обладнання, таке як конвеєри та мостові крани, для переміщення ковшів до місця, де може працювати витяжних ковпаків.

Використання розплавленого ферохрому на сталеливарному заводі можливе лише у тому випадку, якщо виробництво сплавів інтегровано з виробництвом неіржавкої сталі.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів.

Приклад заводу
Завод у Франції.

Довідкова література
[140, Ferro-Alloy Expert Group 1998], [255, VDI 2010], [408, Kadkhodabeigi M. 2011]

8.3.4.2 Технології зменшення дифузних викидів у виробництві феросплавів під час рафінування та легування

Принципи управління процесом, розглянуті в Розділі 2.12.3, застосовуються до виробничих процесів, що використовуються у цій групі металів. Деякі печі та процеси можуть бути вдосконалені шляхом застосування багатьох з цих технологій. Технічно на цьому етапі можна застосовувати рукавні фільтри.

8.3.5 Операції з феросплавами після печі

8.3.5.1 Технології зменшення викидів у результаті зменшення розміру продуктів

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Після випускання, лиття та охолодження рідкого шлаку та феросплаву він дробиться та просіюється для адаптування їх розміру відповідно до вимог замовників. Це зменшення розміру призводить до утворення пилу. Дробильні установки є закритими приміщеннями, побудованими таким чином, щоб мінімізувати шумове випромінювання та вібрації. Рукавні фільтри очищають повітря, що всмоктується, з дробарок. Коли мобільне обладнання використовується для обробки сухих та пилоутворювальних матеріалів або подрібнення сухих шлаків, викиди пилу можна контролювати за допомогою системи розпилення води. Системи, що використовуються, подібні описаним у Розділі 8.3.2.1.

У випадку ферохрому відлитий матеріал подається на інтегровану дробильно-сортувальну установку для виробництва продуктів широкого діапазону необхідних розмірів. Ці операції є потенційним джерелом викидів пилу і, отже, потребують покриття. Використовуються витяжні системи та рукавні фільтри, а уловлений пил використовується повторно.

Наприклад, у Швеції та Фінляндії матеріал обробляється в критих будівлях, де відбувається зменшення розміру, з інтегрованими операціями дробленням, просіювання та частково закритими конвеєрними стрічками. Встановлено систему відсмоктування пилу з дробарки, сита та конвеєра. Пил фільтрується рукавним фільтром зі швидкістю 90 000 $Нм^3$/год. Необхідна кількість повітря залежить від різних умов (наприклад, розміру будівлі).

Феромолібден і FeV_{80} також використовуються у виробництві зварювальних електродів. Дрібні частки окремих сплавів попередньо подрібнюються до розміру зерен < 3 мм на установці порошкування. Матеріал переноситься у конічні транспортні контейнери. Усі проміжні фракції підіймаються краном складального цеху у відповідний завантажувальний бункер. Наступний етап подрібнення відбувається у млині Palla (стрижневому). Контрольоване просіювання отриманих порошкоподібних сплавів відбувається через двоярусне сито. Після відбору проб та аналізу ці сплави зберігаються у металевих контейнерах.

Дрібна фракція, отримана в результаті зменшення розміру продуктів, може бути продана та зберігається у закритих силосах.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу та металів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
У Таблиці 8.48 завод з виробництва ферохрому повідомляє дані про вилучення дуже дрібних продуктів на дробильно-сортувальній станції.

Таблиця 8.48: Вилучення дуже дрібних продуктів на дробильно-сортувальній станції заводу з виробництва ферохрому

Рік	Загальна кількість подробленого FeCr (т)	Вилучені дуже дрібні продукти (т)	
		Станція дроблення	Станція просіювання
2010	142 100	389	136
2011	131 600	319	120

У Таблиці 8.49 повідомлено про викиди пилу від зменшення розміру після печі.

Таблиця 8.49: Викиди пилу від зменшення розміру після печі

Завод	Вироблений феросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Мінімум (мг/нм^3)	Середнє значення (мг/нм^3)	Максимум (мг/Нм^3)м	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
AE	FeCr	Пил	Рукавний фільтр		< 5	< 10	Безперервний	Щогодинно
I	LC SiMn + HC SiMn			8,3	8,63	9,0	Періодичний	4
K	LC FeMn + MC FeMn + SiMn			0,26	1,05	2,14	Періодичний	21
B	Кремній				4,01		Періодичний	1
T	FeSi			1,6	1,6	1,7	Періодичний	3
X	FeMo			0,5	0,53	0,55	Періодичний	2
				0,50	0,85	1,20		
AC	FeV + FeMo				< 3		Періодичний	
P	Si (дробарка 1, 2012 рік)			1,15	1,3	1,51	Періодичний	2
P	Si (дробарка 2, 2012 рік)			0,94	1,0	1,02	Періодичний	
Л	FeMn + SiMn (дробарка 1, 2013 рік)			2	2,3	3	Періодичний	Раз на 2 роки (3 послідовних вимірювання)
Л	FeMn + SiMn (дробарка 2, 2011 рік)			3	3	3	Періодичний	

Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії (вентилятори).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів пилу.
- Збір товарного пилу.

Приклади заводів
Заводи в Австрії, Бельгії, Фінляндії, Франції, Норвегії та Швеції.

Довідкова література
[369, Treibacher Industries AG 2008]

8.3.5.2 Технології зменшення дифузних викидів під поводження, зберігання та транспортування дуже дрібних продуктів

Опис
Технології, які слід розглянути:

- загальні технології запобігання дифузним викидам (закрита система пневматичного транспортування, зберігання та транспортування в закритих бункерах), які розглядаються в Розділі 2.12.4 та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006];
- ущільнення порошку кремнезему та іншого пилу, уловленого у рукавних фільтрах, див. Розділ 2.12.5.1.4.

Технічний опис
Поводження та транспортування пилу та дуже дрібних продуктів виробничого процесу здійснюється з використанням закритих систем, зокрема закритих конвеєрів, пневматичного транспортування та пакування у закриті біг-беги.

Для поводження з кремнеземним пилом (мікрокремнеземом) та іншим пилом феросплавів з фільтра часто застосовується етап ущільнення для ущільнення матеріалу. Процес перетворює порошок на маленькі кулі діаметром близько 0,5–1 мм.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення дифузних викидів пилу.
- Зменшення транспортного впливу (ущільнення порошку кремнезему).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Насипна густина сирого кремнеземного пилу становить менше 0,2 т/м^3. Процес ущільнення збільшує насипну густину до 0,5–0,6 т/м^3.

Вплив на різні компоненти довкілля
Ущільнення призводить до збільшення споживання енергії.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Як правило, застосовуються закрите пневматичне транспортування, пакування у бункерах для зберігання, а також зберігання та транспортування у бункерах для зберігання.

Ущільнення застосовується до нових та наявних заводів, де необхідно обробляти кремнеземний пил, силікомарганцевий порошок, пил з печі, а також оксиди марганцю та заліза.

Економічні аспекти
Використання стисненого повітря для пневматичного транспортування призводить до збільшення експлуатаційних витрат.

Обслуговування бункерів також потребує додаткових витрат. У той самий час покращений процес вилучення дуже тонкого продукту збільшує прибуток від продажів.

Ущільнення порошку кремнезему допомагає знизити витрати на транспортування приблизно на 65 %.

Стимул до впровадження
- Скорочення викидів та утворення відходів.
- Зростання прибутку від продажів.

Приклади заводів
- Загальні технології зменшення дифузних викидів: заводи у Франції, Іспанії, Швеції та Фінляндії.

- Ущільнення порошку кремнезему та іншого пилу, що уловлюється рукавними фільтрами: завод у Норвегії.

Довідкова література
[141, Elkem Asa 1998]

8.3.5.3 Технології зниження викидів у виробництві феросплавів в результаті пакування

Опис
Технології, які слід розглянути:
- загальні технології запобігання дифузним викидам (пакування в закриті контейнери), див. Розділ 2.12.4;
- Рукавний фільтр, див. Розділ 2.12.5.1.4.

Технічний опис
Феросплави можуть транспортуватися навалом, а також пакуватися у бочки або біг-беги. Завантаження сипких феросплавів здійснюється на відкритому повітрі або в закритому приміщенні, щоб мінімізувати дифузні викиди пилу. Ковпаки також можна використовувати над пунктом завантаження для уловлювання дифузних викидів.

Первинні продукти можна просіювати в приміщенні, щоб утворювати менший діапазон пилоподібної продукції. Рукавні фільтри використовуються для відновлення металу під час дроблення, просіювання та транспортування. Дрібнодитсперсний матеріал збирається в закритий силос із обладнанням для знепилення (рукавний фільтр). Пил укладається у закриті бункери.

Для транспортування використовуються криті вантажівки.

Для перевезення за кордон навалом у контейнерах використовується стрічковий конвеєр або фронтальний навантажувач для завантаження продукту в контейнери, де він складується та транспортується далі.

Для розплавленого феросплаву, що використовується у виробництві неіржавкої сталі, рідкий феросплав після випускання та знімання транспортується до суміжного сталеплавильного цеху за допомогою ковшових візків.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Таблиця 8.50: Викиди пилу від пакування

Завод	Вироблений ферросплав	Забруднювальна речовина	Метод усунення забруднення довкілля	Середнє значення (мг/Нм^3)	Тип вимірювання	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
U	Si	Пил	Рукавний фільтр	3,4	Періодичний	1
		Частки металу		0,067		
AC	FeV + FeMo	Пил	Рукавний фільтр	1,73	Періодичний	НД
				0,91		
Примітка: НД = немає даних. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії (вентилятори).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів пилу.

Приклади заводів
Заводи у Франції та Австрії.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

8.3.5.4 Технології зниження викидів у виробництві феросплавів в результаті обробки шлаку

Опис
У випадку виробництва ферохрому слід розглянути технологію використання мокрого електростатичного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.2).

Технічний опис
Як правило, шлак можна виливати безпосередньо в шлакову траншею або гранулювати у грануляторі залежно від його кінцевого використання. Якщо необхідне гранулювання, шлак виливається безпосередньо у водяну ванну або, за необхідності, шляхом розпилення води на шлакову траншею або станцію розливання, дим збирається за допомогою ковпака і спрямовується в систему очищення. Всі ці технології знижують викиди диму та пилу. Вода, що використовується, потребує обробки у відстійнику або з використанням аналогічної технології для видалення часток, а тепло також може бути регенеровано. Воду можна повторно використовувати у якості води для швидкого охолодження. Шлак обробляється там, де це можливо, для вилучення металу. Коли шлак гранулюється шляхом розпилювання води, стічні води не утворюються, оскільки вони всі випаровуються.

Дими від гранулювання шлаку з печей для виробництва ферохрому піддаються очищенню в мокрому електростатичному фільтрі.

Існують також технології відновлення сплавів зі шлаку шляхом дроблення та подальшого збагачення сплавів з використанням різних щільностей шлаку та сплаву.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення викидів пилу.

Вплив на різні компоненти довкілля
Утворення стічних вод під час використання водяної ванни.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інвестиції в гранулювання та дроблення шлаку дозволяють продавати весь шлак ферохрому як побічний продукт. Захоронення не потребується.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів.

Приклад заводу
Завод у Фінляндії.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

8.3.6 Стічні води

8.3.6.1 Технології для запобігання утворенню стічних вод

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є повторне використання охолоджувальної води й очищених стічних вод, в тому числі дощової води, в технологічному процесі.

Технічний опис
На більшості заводів з виробництва феросплавів для охолодження використовується система замкнутої циркуляції для мінімізування споживання води. Можлива рециркуляція стічних вод для певних процесів, щоб замінити сиру воду та уникнути стічних вод.

В умовах холодного клімату на півночі Європи безконтактна охолоджувальна вода використовується в прямотічній системі без значного підвищення температури у водоприймальній системі. Вода скидається назад у річку або море. У холодному кліматі в зимовий час також можна використовувати теплу охолоджувальну воду для цілей запобігання утворенню льоду (наприклад, для запобігання утворенню льоду в порту, що знижує використання криголамних суден та їх викиди тощо).

Стічні води із полігонів для захоронення відокремленого ферохромового пилу з фільтрів можна мінімізувати шляхом покриття полігону. Потім дощова вода відокремлюється від дренажної води, яку, можливо, доведеться обробляти для зменшення кількості хрому перед скиданням у приймальне водоймище.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення споживання води.
- Запобігання забрудненню води.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання хімічних речовин.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Усі заводи.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

8.3.6.2 Очищення відпрацьованих вод

Опис
Технологіями, які слід розглянути, є технології, описані у Розділі 2.12.6.2.

Технічний опис
Стічні води перед скиданням повинні бути очищені для видалення або зниження концентрації розчинених металів, твердих речовин та інших компонентів.

Очищення води необхідне у процесах, де використовуються мокрі скрубери, та у процесах гранулювання, оскільки перед рециркуляцією води необхідно видалити завислі тверді речовини. Для досягнення прийнятних значень вмісту шкідливих компонентів іноді може знадобитися очищення зливу із циклу скруберної води. Це може бути досягнуто за допомогою технологій, описаних у Розділі 2.12.

Для плазмово-дугової печі вода з мокрого електростатичного фільтра, вода для гранулювання та вода з плавильної зони збираються та обробляються в установці з очищення відпрацьованих вод.

Досягнуті екологічні переваги
Мінімізація викидів хрому (VI) та інших шкідливих сполук.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Таблиця 8.51: Викиди у воду від Заводу AB (ферохром)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Дощова вода та технологічна вода (після очищення приблизно 95 % повторно використовується для охолодження металу та шлаку, зволоження пилу, що підлягає обробці тощо)	Фізико-хімічна обробка шляхом флокуляції та коагуляції до pH 8–9 для осадження розчинених металів. Використання сульфату заліза для відновлення Cr(VI) до Cr(III)	Pb	< 0,02	< 0,02	< 0,02	Одноразовий випадковий відбір проб	3
		Zn	0,157	0,376	0,717		
		Cu	0,023	0,05	0,076		
		Hg	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005		
		Cd	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
		As	< 0,02	< 0,02	< 0,02		
		Ni	0,05	0,07	0,09		
		Cr заг.	0,05	0,15	0,20		
		Cr(VI)	0,01	0,02	0,04		
		N загальний	1,85	2,16	2,29		
		$БСК_5$	11	12,74	15		
		ХСК	58	67,3	77		
		Завислі тверді речовини	8	9	10		
		pH	7,7	7,85	7,95		
		Вуглеводні	0,9	0,97	1,1		
		Фториди	2,5	3,6	6,5		
		Загальний ціанід	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.52: Викиди у воду від Заводу AC (ферохром)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Викиди ([1]) (мг/л)			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Технологічна вода; охолоджувальна вода; скруберні відпрацьовані води з агломераційного заводу; заводи з виплавки FeCr	Стічні води збираються та спрямовуються у відстійники прямо або через фільтрування (піщані фільтри) обробку у центрифузі. Система відстійника містить кілька басейнів де відстоюються тверді речовини та метали. У воду додаються флокулянти. Вода повертається в процес з останнього басейну. Злив скидається.	Zn	0,11	0,26	0,83	Щотижневий комплексний відбір проб	29
		Ni	0,01	0,03	0,05		
		Cr заг. ([2])	0,05	0,09	0,15		
		Завислі тверді речовини	2	6,11	11,8		
([1]) Повідомляються викиди у воду із загальної каналізаційної системи сталеливарного заводу та заводу з виробництва ферохрому. ([2]) Концентрації у виробництві ферохрому становлять 0,2–0,4 мг/л (у середньому за тиждень). *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.53: Викиди у воду від Заводу N (феросиліцій)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Поверхневі стоки	Фізична седиментація. Без хімічної обробки.	Zn	0,038	0,31	0,598	Одноразовий комплексний відбір проб	Середньодобове значення
		Cu	0,009	0,019	0,030		
		Hg	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001		
		Mn	0,20	0,57	1,3		
		Cr(VI)	< 0,005	< 0,05	< 0,05		
		Al	< 0,1	0,2	0,41		
		$БСК_5$	< 1	1,83	4		
		ХСК	< 5	13,86	24		
		Завислі тверді речовини	< 2	11,24	47		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.54: Викиди у воду від Заводу U (кремній)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Вода для охолодження	Відстійний резервуар	БСК $_5$	< 3	4,5	6	Періодичний комплексний відбір проб	2
		ХСК	< 30	41	52		
		Завислі тверді речовини	НД	95	НД		
		Вуглеводні	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
Примітка: НД = немає даних. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.55: Викиди у воду від Заводу V (кремній)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Вода для охолодження	Відстійний резервуар	ХСК	10	19	27	Постійний комплексний відбір проб та вимірювання	4
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.56: Викиди у воду від Заводу J (HC FeMn)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Вода для очищення газу (скрубер Вентурі)	Додавання полімерів, седиментація. Добавки у злив: сульфат заліза та полімер, фільтрування через піщаний фільтр та фільтр з активованим вугіллям	Pb	0,011	0,047	0,177	Одноразовий комплексний відбір проб	У середньому за місяць
		Zn	0,002	0,648	8,56		Середньодобове значення
		Cu	0,293	3,056	5,21		У середньому за місяць
		Cd	0,0012	0,0024	0,0053		
		As	0,028	0,056	0,08		
		Ni	0,582	0,94	1,41		
		Cr заг.		0,025			
		Co	0,95	1,762	3,4		
		Mn	0,001	0,00477	0,021		Середньодобове значення
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.57: Викиди у воду від Заводу Z (HC FeMn)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Дощова вода		Pb	0	0,14	0,8	Одноразовий випадковий відбір проб	52
		Zn	0,01	1,18	7,87		
		Mn	0,56	4,03	15,19		
		Інші метали	1,8	8,24	19,5		12
		Fe	1,27	2,79	5,95		52
		N загальний	5,32	11,92	16,22		12
		P загальний	0,34	0,72	1,13		
		$БСК_5$	0	3	8		
		ХСК	59	96	151		
		Завислі тверді речовини	2	38,25	98		52
		ПАВ	0	0,08	0,4		12
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.58: Викиди у воду з Заводу K (LC FeMn + MC FeMn + SiMn)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Вода для очищення газу (скрубер Вентурі)	Додавання полімерів, седиментація. Добавки у злив: сульфат заліза та полімер, фільтрування через піщаний фільтр та фільтр з активованим вугіллям	Pb	0,0082	0,034	0,165	Одноразовий комплексний відбір проб	У середньому за місяць
		Zn	0	0	0,0063		Середньодобове значення
		Cu	0,256	2,502	6,62		У середньому за місяць
		Cd	0,001	0,0015	0,002		
		As	0,006	0,017	0,04		
		Ni	0,228	0,816	1,46		
		Cr заг.		0,025			
		Co	0,642	1,346	2,12		
		Mn	0,06	0,31	4,56		Середньодобове значення
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.59: Викиди у воду з Заводу M (FeMn + SiMn)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Поверхневі стоки	Фізична седиментація та хімічна обробка	Pb	< 0,005	< 0,00519	< 0,011	Одноразовий комплексний відбір проб	Середньодобове значення
		Cd	< 0,02	< 0,02	< 0,02		
		As	< 0,004	< 0,005	< 0,005		
		Ni	< 0,01	< 0,02	0,06		
		Cr заг.	< 0,01	< 0,05	< 0,05		
		Fe	< 0,05	0,14	0,27		
		N загальний	< 5	< 5	< 5		
		$БСК_5$	< 1	1,4	5		
		ХСК	< 5	11,36	17		
		Завислі тверді речовини	< 2	7,8	12		
		ПАВ	< 0,003	< 0,003	< 0,003		
		Бензол, толуол, етилбензол та ксилени	< 0,001	< 0,003	< 0,0035		
		Загальна кількість нафтових вуглеводнів	< 0,05	0,021	0,21		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.60: Викиди у воду з Заводу O (LC SiMn + LC FeMn + MC FeMn)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниці вимірювання			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Вода для охолодження	Фізична седиментація. Без хімічної обробки.	pH	7,9	8,2	8,4	Одноразовий випадковий відбір проб	365
		Різниця температур (°C)	0	1,5	3		12
		Завислі тверді речовини	2	5,8	14		8
		Вуглеводні	< 0,05	0,06	0,13		4
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.61: Викиди у воду з Заводу I (LC SiMn + HC SiMn)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних
			Мін.	У середньому	Макс.	
Вода для очищення газу (скрубер Вентурі)	Флокуляція, відстійний резервуар та піщані фільтри або фільтри з активованим вугіллям	Pb	НД	0,095	НД	Одноразовий комплексний відбір проб
		Zn	0,01	0,02	0,13	
		Cu	НД	0,21	НД	
		Cd	НД	0,025	НД	
		As	НД	0,051	НД	
		Mn	0,1	0,15	1,3	
		Cr заг.	НД	0,15	НД	
		Завислі тверді речовини	1	4,77	21	
		ПАВ	0,0009	0,014	0,29	
		Ціаніди	НД	1,35	НД	
Примітка: НД = немає даних. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]						

Таблиця 8.62: Викиди у воду з Заводу Y (силікомарганець)

Джерело води	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
		Мін.	У середньому	Макс.		
Вода для охолодження	Pb	0,0025	0,025	0,23	Періодичний комплексний відбір проб	У середньому за місяць
	Zn	0,009	0,6	8,7		У середньому за тиждень
	Cu	0,001	1,8	22,2		
	Mn	0,022	1,72	23,3		
	Завислі тверді речовини	1,2	13,5	69,7		
	ПАУ (B6)	0,0001	0,02	0,17		У середньому за місяць
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]						

Таблиця 8.63: Викиди у воду з Заводу B (установка для випалювання молібденіту)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (г/д)			Метод отримання даних	Частота вимірювання (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Викиди з установки з виробництва сірчаної кислоти (злив охолоджувальної води повторно використовується у якості підживлювальної води для установки мокрого очищення газу)	H_2O_2 дозується для видалення SO_2. Вилучення розчинником застосовується для видалення/відновлення ренію. Гідросульфід натрію дозується для видалення Mo, Re, Cu, Pb, As та Se. Фільтрування застосовується для видалення пилу	Pb	0,1	0,3	1,0	Одноразовий комплексний відбір проб	10
		Zn	0,3	53	380		
		Cu	0,1	0,3	1,1		1
		Sn	0,1	0,4	3,3		
		Bi	0,1	0,4	2,3		
		F у вигляді HF	1,1 кг/день	4,4 кг/день	10,8 кг/день		10
		H_2SO_4	0 кг/день	2318 кг/день	6022 кг/день		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Таблиця 8.64: Викиди у воду з Заводу X (випалювання та виробництво феромолібдену)

Джерело води	Очищення відпрацьованих вод	Забруднювальна речовина	Одиниця вимірювання (мг/л)			Метод отримання даних	Періодичність моніторингу (кількість разів/рік)
			Мін.	У середньому	Макс.		
Утворення технологічної, охолоджувальної та дощової води	Фізико-хімічна обробка стічних вод: флокуляція (видалення Se) та хімічне осадження з додаванням $FeCl_3$ (видалення Mo, As тощо)	Pb	0,008	0,0081	0,0082	Періодичний комплексний відбір проб	3
		Zn	0,035	0,067	0,088		
		Cu	0,016	0,021	0,028		
		As	0,017	0,017	0,017		
		Mo заг.	0,015	1,29	1,70		12
		Se заг.	0,0181	0,0181	0,0181		
		F	1,1	1,2	1,3		2
		SO_4-	10	375	680		3
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Вплив на різні компоненти довкілля

- Збільшення споживання енергії.
- Збільшення споживання хімічних речовин.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Заводи в Бельгії, Іспанії, Фінляндії, Франції, Нідерландах та Норвегії.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

8.3.7 Технологічні залишки

Процеси та шляхи переробки, розглянуті раніше як застосовні методи в Розділах 8.1 та 8.2, є технологіями, які необхідно враховувати у визначенні НДТ. Найбільш важливими факторами зниження впливу залишків на навколишнє середовище є інтегровані у процес заходи, що призводять до утворення меншої кількості залишків. Якщо кількість технологічних залишків мінімізується за допомогою первинних заходів, кількість, що залишилася, повинна бути перероблена або повторно використана, наскільки це можливо. Певні сировинні матеріали впливатимуть на остаточний вибір процесу. Технології, які описані у Розділі 2.9, також слід розглядати у зв'язку з цими процесами.

8.3.7.1 Технології запобігання та мінімізації залишків та відходів виробництва феросплавів

Опис
Технологіями, які слід враховувати, є перероблення та повторне використання (коли шлак вважається побічним продуктом, а не відходами) утворених шлаків і пилу/осаду із систем боротьби з викидами в атмосферу. Детальнішу інформацію про технології перероблення та повторного використання наведено в Розділі 8.2.5.

Технічний опис
Див. Розділ 8.2.5.

Приклад властивостей розчинності ферохромового шлаку за випробуванням з хроматографічною колонкою з рідкою фазою/твердою фазою 10 (мг/кг) у порівнянні з критеріями прийнятності відходів для полігонів для захоронення для інертних та нешкідливих відходів наведено у Таблиці 8.65.

Таблиця 8.65: Детальні характеристики ферохромового шлаку

Метал	Продукти ферохромового шлаку	Вимоги до захоронення для інертних відходів	Вимоги до захоронення для загальних відходів
Загальний хром	0,048–0,112	0,5	10
Миш'як	< 0,105	0,5	2
Кадмій	< 0,011	0,04	1
Ртуть	< 0,01	0,01	0,2
Фторид	4,22–6,30	10	150
Молібден	< 0,056	0,5	10
Нікель	< 0,105	0,4	10
Цинк	< 0,941	4	50

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення використання природних ресурсів та скорочення відходів для утилізації.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Інформацію не надано.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

8.3.8 Енергія

8.3.8.1 Технологія регенерації тепла з напівзакритих печей

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання енергії вихлопних газів для виробництва електроенергії, теплової енергії або тієї й іншої.

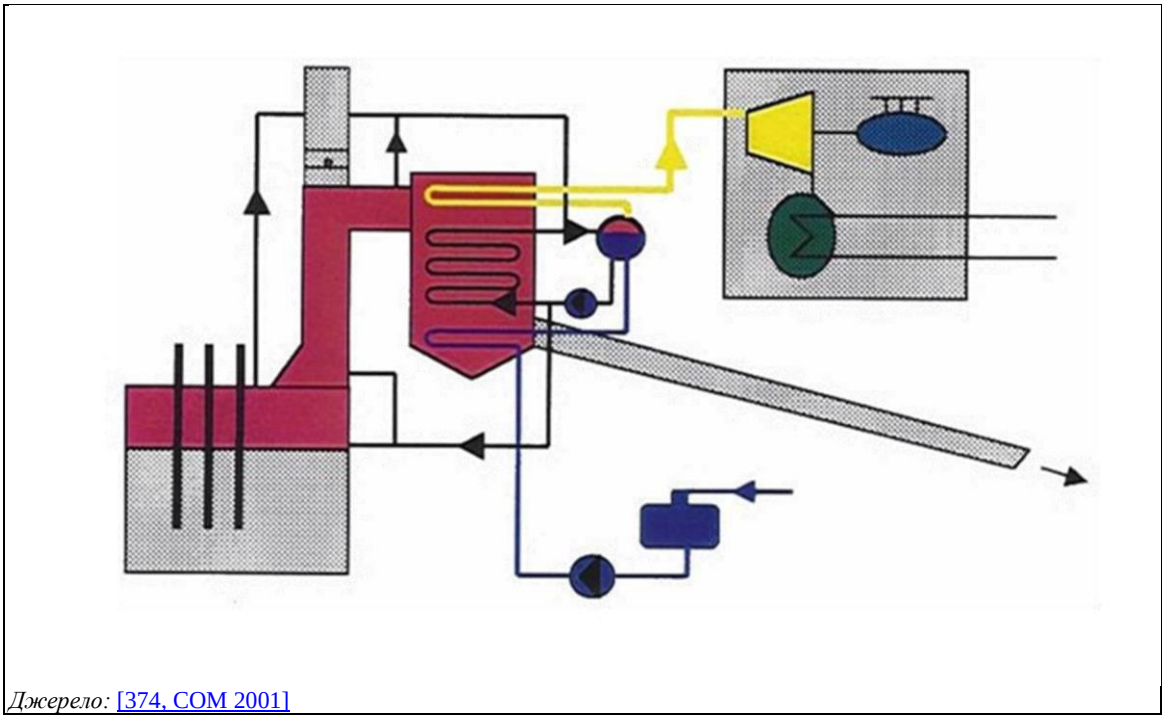
Технічний опис
У напівзакритій печі газ CO, що утворюється в процесі виплавки, повністю окиснюється всередині печі, внаслідок чого утворюється гарячий газ з температурою близько 400–800 ºC, що також може досягати піків до 1200 ºC. Піч може бути обладнана інтегрованою системою регенерації енергії, яка має наступні компоненти:

- витяжний ковпак з трубопроводом печі;

- котел-утилізатор;
- система живильної води;
- система розподілу тепла або парова турбіна з генератором та конденсатором.

Котел-утилізатор рекуперує перегріту пару користуючись енергією гарячого газу, що утворюється в процесі роботи печі. Використовуються відносно традиційні водотрубні котли з секціями пароперегрівача, економайзера та конденсатора у поєднанні з ефективною системою очищення для підтримання чистоти поверхонь нагріву для димових газів, що сильно забруднені пилом.

Ковпак у верхній частині печі піддається сильному впливу внутрішнього тепла печі та зазвичай охолоджується системою з циркуляцією води з керамічним футеруванням. Частина тепла печі втрачається в охолоджувальній воді верхнього ковпака. Для регенерації енергії верхній ковпак може охолоджуватися неекранованою системою з циркуляцією води високого тиску, що утворює пару в системі котла-утилізатора. Такі ковпаки існують і роблять істотний внесок у регенерацію енергії. Пару можна використовувати в конденсаційній турбіні або турбіні з протитиском для виробництва електроенергії, а також продавати в іншу галузь промисловості. Система регенерації може бути спроєктована для виробництва гарячої води, яка може використовуватися місцевою системою опалення (див. Рисунок 8.22).



Джерело: [374, COM 2001]

Рисунок 8.22: Регенерація енергії із напівзакритої печі

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення загального споживання енергії.
- Зменшення викидів у повітря (у більшості випадків регенерована енергія замінює викопне паливо, таке як нафта або вугілля).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Якщо відпрацьоване тепло використовується у якості електроенергії, регенерація становить до 15–35 % споживання електроенергії. Як варіант, пару можна відводити за середнього тиску і використовувати для централізованого теплопостачання, при цьому регенерація збільшиться приблизно до 80–90 %, але тоді тільки 20 % відпрацьованого тепла можна буде регенерувати у вигляді електроенергії. Попит на централізоване теплопостачання часто змінюється протягом року, і найефективнішим рішенням є спільне виробництво електричної та теплової енергії для постачання теплової енергії, коли це необхідно.

Вплив на різні компоненти довкілля
Підвищена складність газової системи печі.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технологія широко застосовується як до нових, так і до наявних заводів. Регенерація енергії вигідна для наявних заводів, коли енергію можна виробляти таким чином, щоб її можна було використовувати на заводі або сусідніх підприємствах.

Економічні аспекти
Система регенерації енергії потребує великих капітальних інвестицій. Зважаючи на місцеві умови, такі як місцеві ціни на енергію, періоди виробництва та відсутність замовників, прибуток від інвестицій може бути недостатньо високим, щоб виправдати такі інвестиції.

Наступні результати (див. Таблицю 8.66) слід розглядати як визначення витрат, оскільки точні дані про витрати значною мірою залежать від конкретних умов на заводі.

Повідомляється, що інвестиції в регенерацію електроенергії для виробництва електроенергії для установки потужністю 70–100 МВт становлять 70–100 мільйонів євро.

Таблиця 8.66: Приклади регенерації тепла з напівзакритих печей

Технологія	Відпрацьований теплоносій	Тепло, регенероване у вигляді	Температурний діапазон відпрацьованого тепла (°C)	Вихід (%)	млн євро/МВт-год
	Відпрацьований газ/охолоджувальна вода/гаряче мастило	Гаряча вода	50–200	75–95	0,4–2
Тепловий насос	Вода/відпрацьоване повітря	Гаряча вода (50–90 °C)	25–60	ККД: 3–5	30–50
Жаротрубний котел, на водній основі	Відпрацьований газ	Насичена пара 6–15 бар; 160–200 °C	200–600	30–65	25–50
Водотрубний котел, на водній основі	Відпрацьований газ	Перегріта пара 8–60 бар; 280–480 °C	400–1000	30–75	40–150
Котел для ORC/турбіна	Відпрацьований газ	Електроенергія	150–500	10–15	70–120
Водогрійний котел/турбіна	Відпрацьований газ	Електроенергія	500–1000	20–35	300–400
Термоелектрична панель		Електроенергія	Тепловипромінювання 800–1500	5–10	
ККД: коефіцієнт корисної дії. ORC: Органічний цикл Ренкіна. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]					

Стимул до впровадження
Зменшення споживання енергії.

Приклади заводів
Заводи в Норвегії та Швеції.

Довідкова література
[148, Kolbeinsen, L. et al. 1995] [149, Schei, A, et al. 1998], [154, Lindstad, T. et al. 1994], [183, ABB 1999], [184, Elkem 1999], [196, Finkeldei, L. 1999]

8.3.8.2 Регенерація енергії із закритих дугових електропечей

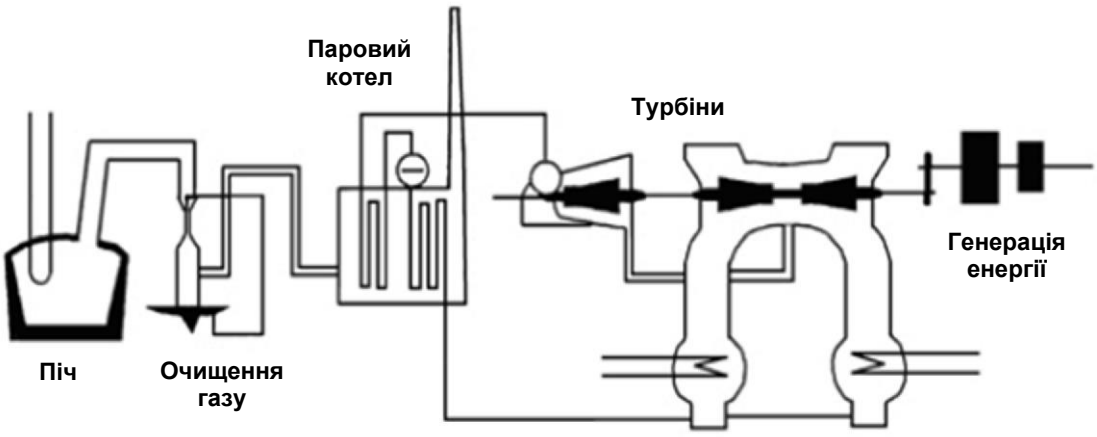
Опис

Технологією, яку слід розглянути, є використання відпрацьованих газів з високим вмістом CO, що утворюється в закритих дугових електропечах, у якості вторинного палива.

Технічний опис

Якщо передбачається, що вуглець повністю перетворюється на CO, тобто газ CO не вступає в реакцію, вуглець теоретично може бути відновлений у вигляді газу CO [255, VDI 2010]. У закритих дугових електропечах печах цей газ із високим вмістом CO (40–90 % CO) можна використовувати як паливо в інших процесах [407, Euroalliages 2013]

Вихлопний газ очищається за допомогою мокрого скрубера, перш ніж його можна буде використовувати як вторинне паливо. Однією з можливостей є спалювання з повітрям в паровому котлі. Пара подається на комплекс турбін високого та низького тиску. Потім енергія регенерується у вигляді електроенергії (див. Рисунок 8.23).



Джерело: [148, Kolbeinsen, L. et al. 1995] [154, Lindstad, T. et al. 1994]

Рисунок 8.23: Пряме використання газу CO для виробництва електроенергії

Крім виробництва електроенергії, газ CO може використовуватися для сушіння та нагрівання ковшів, а також може транспортуватися трубопроводом територією заводу і використовуватися як вторинне паливо для багатьох цілей. Найбільша користь досягається у прямому спалюванні, що замінює викопне паливо, наприклад, важку нафту або вугілля. У виробництві ферохрому, феромарганцю та силікомарганцю газ CO можна використовувати для сушіння коксу та іншої сировини. Газ CO також можна використовувати як паливо у печі для спікання зі сталевою стрічкою, щоб знизити споживання первинної енергії в печі. У виробництві ферохрому газ CO використовується для підігрівання шихтового матеріалу, що знижує споживання електроенергії на 70–90 кВт-год на 100 °C підвищення температури підігрівання. Газ з високим вмістом CO також можна очистити і потім подавати як синтез-газ на сусідній сталеливарний або хімічний завод, де цей газ може служити сировиною [138, Niemelä, P. 1999].

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення загального споживання енергії.
- Зменшення викидів у повітря (у більшості випадків регенерована енергія замінює викопне паливо, таке як нафта або вугілля).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

- Виробництво пари: 35–40 т/год.
- Регенерація енергії: 70 ГВт-год/рік, що еквівалентно 13,5 % споживаної електроенергії.

У процесі відновлення утворюється 650–750 $Нм^3$ газу CO на тонну ферохрому з енергією реакції 7550–8300 МДж (2100–2300 кВт-год) за умови належної герметизації печі (Outokumpu). Зі споживаної електроенергії 66 % регенерується як енергія.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Ця технологія застосовується до нових та наявних заводів, що виробляють ферохром, феромарганець та силікомарганець в закритих печах.

Економічні аспекти
Витрати оцінюються приблизно в 0,025 євро за кВт-год (реальна процентна ставка 7 % та строк служби 15 років).

Різні технології рекуперації енергії, які слід враховувати, дуже залежать від місцевих умов, таких як ціни на енергію, строки будівництва та наявність потенційних клієнтів.

Стимул до впровадження
Зменшення споживання енергії.

Приклади заводів
Заводи в Норвегії та Фінляндії.

Довідкова література
[148, Kolbeinsen, L. et al. 1995] [149, Schei, A, et al. 1998], [154, Lindstad, T. et al. 1994], [233, COM 2008], [255, VDI 2010], [371, Pekka et al. 2014]

8.3.8.3 Регенерація енергії з інших печей

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є регенерація гарячої води.

Технічний опис
У виробництві ферованадія (зокрема, у виробництві оксиду нікелю та оксиду ванадію в Австрії) гаряча вода з процесу може бути відновлена для опалення офісів та робочих місць, а також може використовуватися для обробки гарячою водою та частково для захисту від замерзання.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення загального споживання енергії.
- Зменшення викидів у повітря (у більшості випадків регенерована енергія замінює викопне паливо, таке як нафта або вугілля).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення споживання енергії.

Приклад заводу
Завод в Австрії.

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

8.4 Перспективні технології

Наступні технології є перспективними технологіями, що означає, що ці технології не повністю впроваджені у феросплавній промисловості:

- використання обертової подової печі для попереднього відновлення хроміту;
- процеси відновлювальної виплавки з використанням вугілля з киснем або повітря, збагаченого киснем, для забезпечення всієї енергії, необхідної для виплавки хроміту у ферохром;
- експлуатація закритих печей для виробництва феросиліцію та металевого кремнію (ще не є успішно освоєною);
- використання печі для випалювання молібденіту із псевдозрідженим шаром;
- переробка шлаків процесів виробництва кремнію для зниження споживання енергії та сировини у виробництві силікомарганцю; [244, France 2008]
- попередня обробка руд (сушіння, попереднє відновлення тощо) у марганцевій промисловості перед їхнім поданням у піч [407, Euroalliages 2013].

9 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА НІКЕЛЮ ТА КОБАЛЬТУ

9.1 Прикладні процеси та технології

Нікель отримують з окисних (латеритних і сапролітових) або сульфідних руд, близько 60 % нікелю надходить із сульфідних родовищ та 40 % з оксидних родовищ. Існує кілька варіантів процесів, що використовуються для виробництва нікелю з цих руд, і ці варіанти залежать від якості концентрату, а також від інших металів, присутніх у матеріалі [92, Laine et al. 1998].

Кобальт зазвичай присутній у нікелевих та мідних рудах і вилучається в процесі їх виробництва. Рафінування вилученого побічного продукту, що містить кобальт, здійснюється комбінацією процесів, що визначаються складом концентрату та фізичними та хімічними характеристиками кінцевого продукту. Кобальтові арсенідні руди є також джерелами кобальту. Ці руди випалюють, щоб видалити більшу частину миш'яку у вигляді оксиду миш'яку [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]. Проте, цей процес не використовується у ЄС.

У Таблиці 9.1 показаний склад деяких руд.

Таблиця 9.1: Склад деяких руд

Джерело руди	Тип	Ni (%)	Cu (%)	Co (%)
Муррін-Муррін (Австралія)	Латерит	1,07	НД	0,08
Серро Матосо (Колумбія)	Латерит	2,16	НД	НД
Селебі-Пхікве (Ботсвана)	Сульфід	0,77	НД	НД
Зона Садбері (Канада)	Сульфід	1,18	1,73	НД
Раглан (Канада)	Сульфід	2,56	0,71	НД
Вале, Коппер Кліфф (Канада)	Сульфід	1,55	2	0,04
Космос (Австралія)	Сульфід	5,7	0,2	0,1
Маунт-Кіт (Австралія)	Сульфід	0,6	0	НД
Примітка: НД = немає даних.				

Вторинний нікель та кобальт споживаються безпосередньо у вигляді переплавленого брухту та інших перероблених продуктів, як правило, у виробництві феронікелю та неіржавкої сталі [92, Laine, L. 1998]. Інші вторинні матеріали, такі як каталізатори та пил з осаджувачів відновлюються в процесі первинної плавки, зазвичай в шлаковій печі.

Оскільки ці метали тісно пов'язані, процеси їх виробництва розглядаються, наскільки це можливо, разом [92, Laine, L. 1998].

9.1.1 Виробництво нікелю

9.1.1.1 Окисні руди

У латеритних рудах нікель і кобальт зв'язані з оксидами заліза і марганцю або сполуками кремнезему, і їх важко переробити в концентрат. Можна використовувати плавку цих руд із джерелом вуглецю в електричній печі. Після додавання сірки можна отримати феронікель або нікелевий штейн. Загальна схема показана на Рисунку 9.1.

Перед плавкою руду зазвичай підігрівають або обпалюють в обертовій печі [106, Raffinot, P. 1993]. Для плавки зазвичай використовується електрична піч.

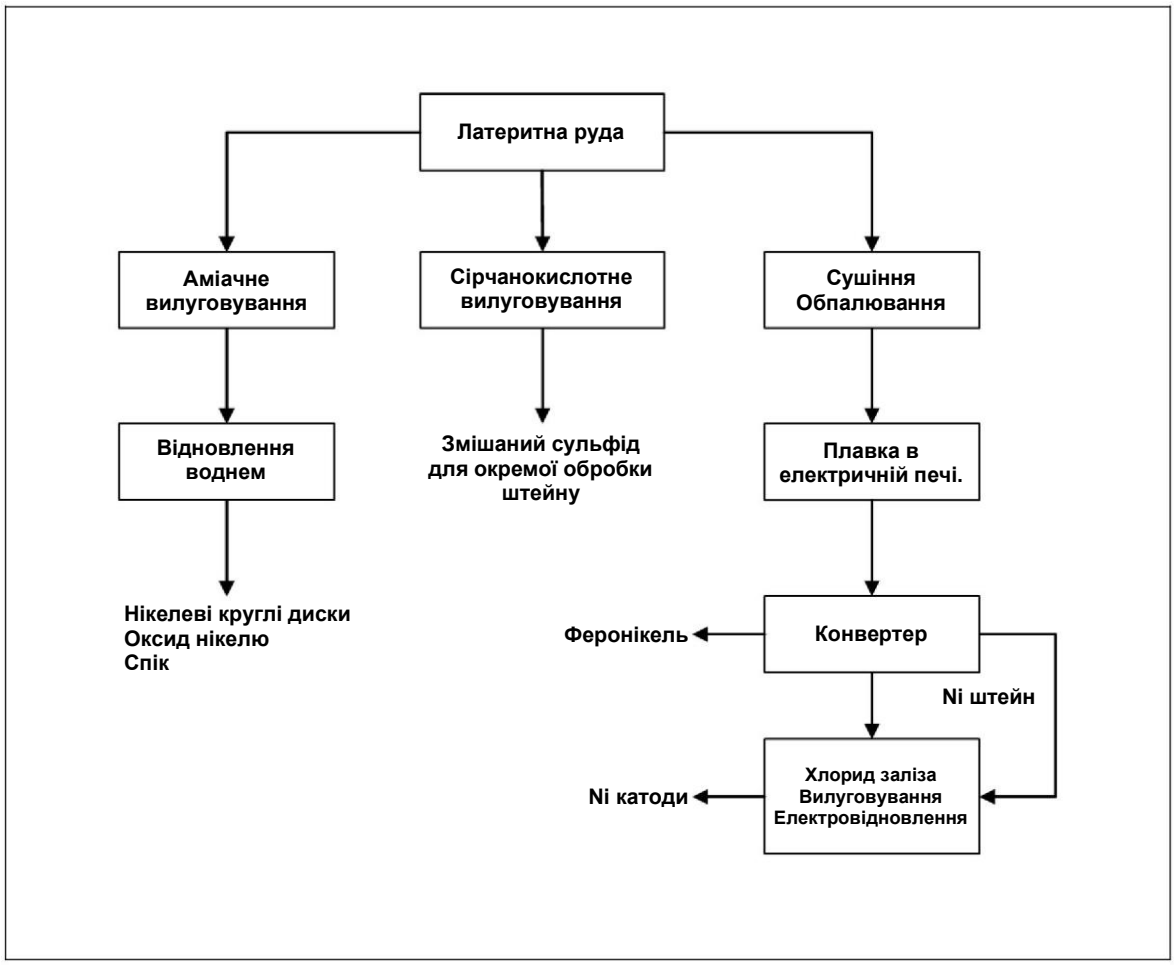


Рисунок 9.1: Загальна схема виробництва нікелю з латеритних руд

Сапролітові руди можна плавити із сіркою, щоб оксид нікелю перетворювався на сульфідний штейн, а залізо видалялося у вигляді шлаку [106, Raffinot, P. 1993]. Штейн обробляється так само як і штейн, отриманий із сульфідних руд.

Виплавка феронікелю становить більшу частину виробництва нікелю з латеритних руд. Ці процеси описані у Розділі 8.1.4, присвяченому ферosплавам. Вилуговування латериту аміаком також використовується для вилучення нікелю [19, HMIP (UK) 1994], [56, Knuutila, K. 1997], [94, Laine, L. 1998] і цей процес стає все більш поширеним. Хоча перетворення оксиду нікелю на нечистий нікель, а потім карбоніл нікелю, який є летким, використовується для отримання рафінованого нікелю, оксид нікелю отримують від плавки сульфідної руди. Латеритні руди зазвичай мають максимальний вміст нікелю 3 % і тому не використовуються у цьому процесі.

Вилуговування латеритів під тиском сірчаною кислотою за принципом є простим і зрозумілим процесом. Температура, тиск та інші параметри можуть змінюватися в залежності від випадку для досягнення найкращих можливих металургійних умов залежно від руди та продуктів, про які йде мова, та інших цілей. Температура автоклавів вилуговування зазвичай становить від 230 °C до 260 °C, і використовується тиск до 43 бар. Кисень також може використовуватись у процесі.

Отриманий розчин очищають або сучасними методами вилучення розчинником або традиційними методами осадження. Наприклад, сірководень використовується для селективного осадження сульфідів нікелю та кобальту, які спрямовуються на подальше вилучення металів. Розчин можна нейтралізувати, щоб залізо осіло. Нікель і кобальт осаджуються і повторно вилуговуються аміаком.

Вилучення розчинником використовується для розділення хлоридів або сульфатів нікелю та кобальту. Металевий нікель можна отримати шляхом електровідновлення, а кобальт може бути осаджений як сульфіду кобальту. У якості альтернативи нікель і кобальт можуть бути вилучені у вигляді металевих порошків за допомогою відновлення воднем.

У Таблиці 9.2 показані процеси, які використовуються в ЄС-28.

Таблиця 9.2: Процеси, що використовуються в ЄС-28

Найменування компанії	Місце-знаходження	Промисловий сектор	Опис процесу
Eramet	Сандувіль, Франція	Виробник металевого Ni, Виробник Ni солей (Хлорид Ni, Гідроксокарбонат Ni)	Рафінування нікелю за допомогою гідрометалургійного процесу, отримання імпортного нікелевого штейну, який подрібнюють, розчиняють за допомогою хлору, очищають, рафінують шляхом електровідновлення (виробництво солі $NiCl_2$ та металевого Ni)
Xstrata Nickel	Крістіансанн, Норвегія	Виробник металевого Ni	Рафінування нікелю за допомогою гідрометалургійного процесу, отримання нікелевого штейну, який роздроблюють, розчиняють за допомогою хлору, очищають та рафінують шляхом електровідновлення (виробництво металевого Ni)
Norilsk Nickel	Гар'явалта, Фінляндія	Виробник металевого Ni, Виробник Ni солей (Сульфат Ni, Гідроксокарбонат Ni)	Рафінування нікелю шляхом електровідновлення та відновлення воднем
Boliden	Гар'явалта, Фінляндія	Виплавка нікелю	На завод доставлені сульфідні рудні концентрати. Процес прямої зваженої плавки нікелю Outotec (процес DON). Виробництво нікелевого штейну з сульфідних концентратів. Boliden також експлуатує завод зі зваженої плавки міді на тому ж об'єкті, виробляючи мідні аноди із сульфідних концентратів. Викиди заводу з виплавки нікелю та заводу з виплавки міді нероздільні, і, таким чином, повідомлені викиди походять з обох заводів. Здійснюється моніторинг викидів пилу у трьох димових трубах: для вентиляційних газів, установки з сушіння Ni та установки з сушіння Cu.
Vale	Клайдах, Суонсі, Велика Британія	Виробник металевого Ni, Виробник сульфату Ni (в Китаї, не Клайдаху), Виробник хлориду Ni (в Китаї, не Клайдаху)	Імпортний оксид нікелю. Рафінування нікелю з використанням карбонільного процесу

9.1.1.2 Сульфідні руди

Сульфідні руди, що містять нікель, можна збагачувати, наприклад, флотацією для підвищення вмісту нікелю. Як правило, нікелеві концентрати виробляються із вмістом нікелю 7–25 %, що полегшує подальшу обробку. Сульфідні концентрати також можна сушити в обертових сушарках, парових сушарках зі змійовиком або в сушарках з псевдозрідженим шаром. Подання сухого сульфідного концентрату в піч для виплавки первинного металу, таку як піч зваженої плавки, підвищує продуктивність процесу і знижує споживання енергії та потік вихлопних газів. Концентрати та пісок, що використовується як флюс, сушать для зниження вмісту вологи із 7–8% до приблизно 0,2 % перед процесом виплавки. Нікелеві концентрати зазвичай плавлять в умовах окиснення для видалення з концентрату сульфіду заліза та інших пустих порід для отримання нікелевого штейну. Піч зваженої плавки Outotec використовується в Європі; печі зваженої плавки Outotec та INCO, а також електричні або шахтні печі використовуються у всьому світі.

Нікель вилучається у вигляді сульфідного штейну, що містить 35–70 % нікелю, кобальт та мідь. Штейн можна обробляти в конвертері Пірса-Сміта або його можна гранулювати або повільно охолоджувати перед етапом гідрометалургійного відновлення [139, Riekkola-Vanhanen, M. 1999]. Етап конвертування не використовується у Європі.

Важливими компонентами нікелевих штейнів є кобальт, мідь та дорогоцінні метали. Шлак, що утворюється під час виплавки, також містить відновлювальний метал і обробляється в електричній печі для отримання більшої кількості нікелевого штейну. Його можна гранулювати та обробляти окремо [92, Laine et al. 1998], [94, Laine, L. 1998]. Вторинні матеріали іноді відновлюються в електричних печах. На Рисунку 9.2 наведено огляд варіантів процесу.

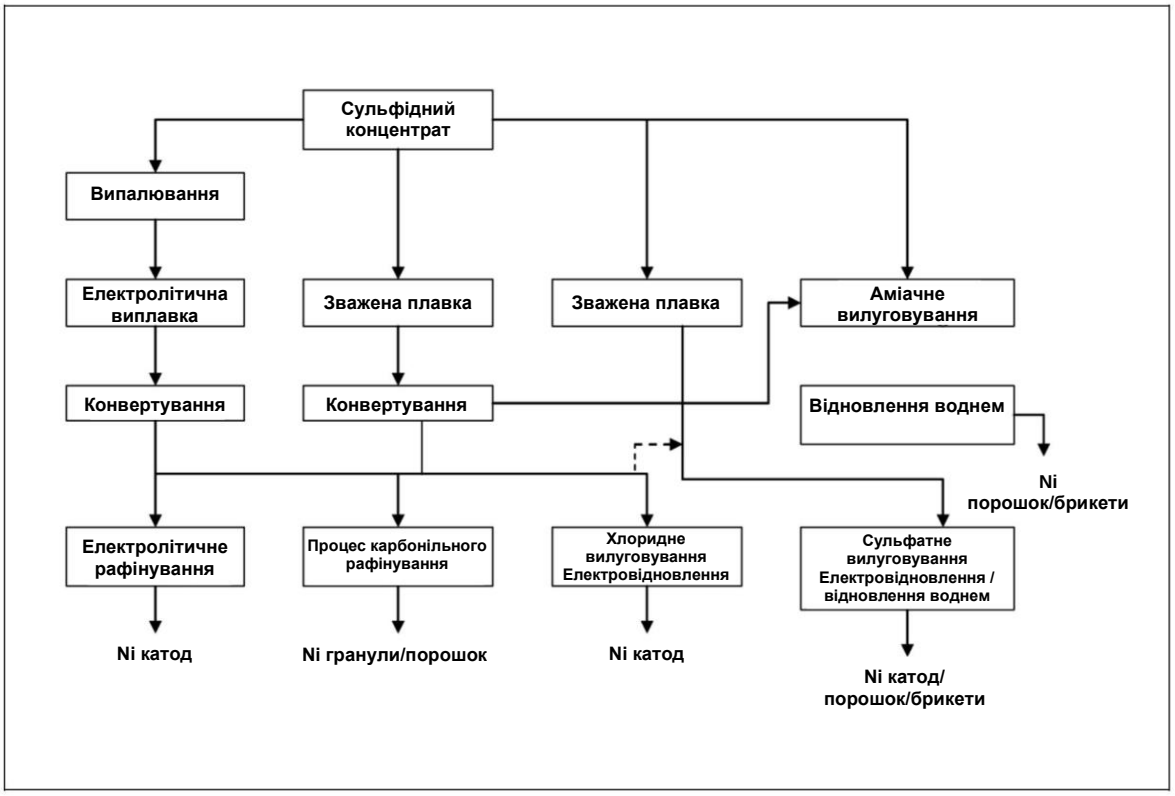


Рисунок 9.2: Загальна схема виробництва нікелю із сульфідних концентратів

9.1.1.2.1 Традиційний процес зваженої плавки

Звичайні процеси виплавки використовуються для видалення заліза та інших пустих порід із сульфідних концентратів для отримання нікелевого штейну. У всьому світі є п'ять плавильних заводів, які використовують цей процес. У двох із них використовується піч зваженої плавки, розроблена BHP Billiton (раніше Western Mining Corporation), де плавильна піч та піч для очищення шлаку були побудовані разом, щоб утворити одну велику установку.

Існують відмінності у роботі плавильних заводів. Найбільш помітною є якість штейну, але відмінності у складі сировини також викликають деякі відмінності. Загальна схема показана на Рисунку 9.3.

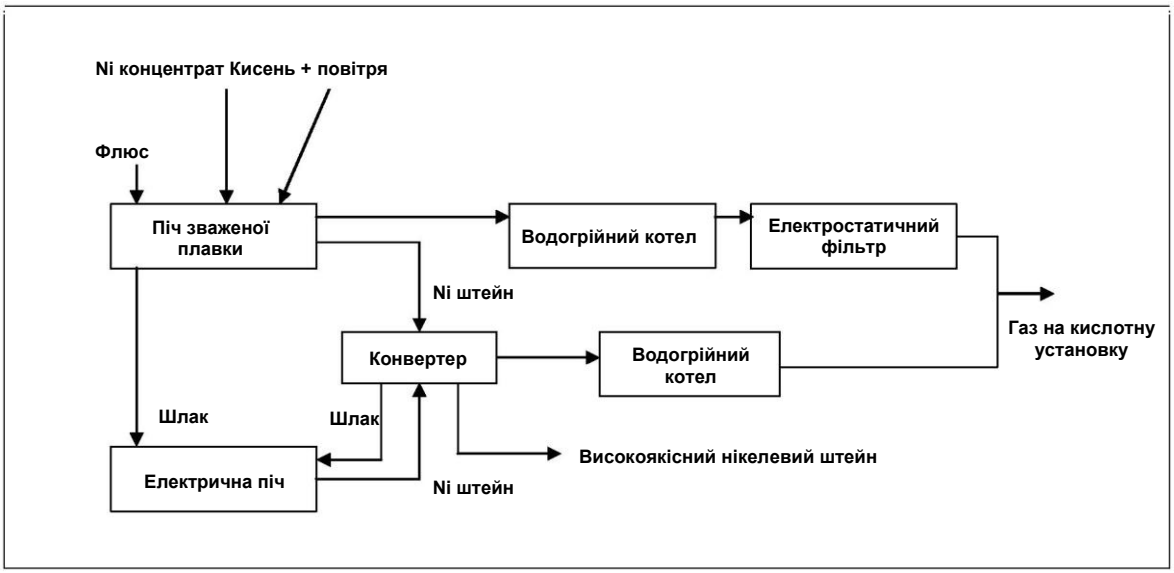


Рисунок 9.3: Традиційний процес зваженої плавки

9.1.1.2.2 Процес прямої зваженої плавки нікелю Outotec (процес DON).

Процес DON поєднує як плавку, так і конвертування для отримання високоякісного штейна, який потім піддається гідрометалургійній обробці [310, Makinen T., Taskinen P. 2006]

Піч зваженої плавки заснована на використанні енергії, що міститься в самій сировині, для запуску процесу виплавки. Висушена суміш концентрату та флюсу безперервно подається з повітрям, збагаченим киснем, через пальник концентрату у вертикальну реакційну шахту герметизованої печі, де у зваженому стані швидко протікає реакція між киснем та частками концентрату. Деякі з сульфідних сполук у сировині запалюються, окиснюються і виділяють тепло, діючи таким чином як паливо для процесу. В операції використовується збагачення киснем для досягнення рівня вмісту кисню у технологічному повітрі приблизно 30–90 %. Ступінь збагачення киснем визначається якістю концентрату та вимогами до теплового балансу. Нафтові пальники використовуються для отримання додаткової енергії, коли це необхідно.

Розплавлені фази збираються в горизонтальній частині відстійника печі зваженої плавки, де шлак і штейн утворюють окремі шари. Шлак напівбезперервно переноситься в електричну піч для очищення шлаку, де він обробляється коксом і сульфідувальним агентом для вилучення цінних металів, що залишилися в шлаку. Штейн періодично випускають і гранулюють шляхом швидкого охолодження розпиленого розплаву водою. Тверді гранули штейну осідають у нижній секції резервуара, звідки перекачуються водою на зневоднювальне сито. Гранули підіймаються у ковшовому елеваторі в проміжний бункер і далі стрічковим конвеєром подаються на подрібнення і на гідрометалургійний завод з виробництва нікелю.

Процес показано на Рисунку 9.4.

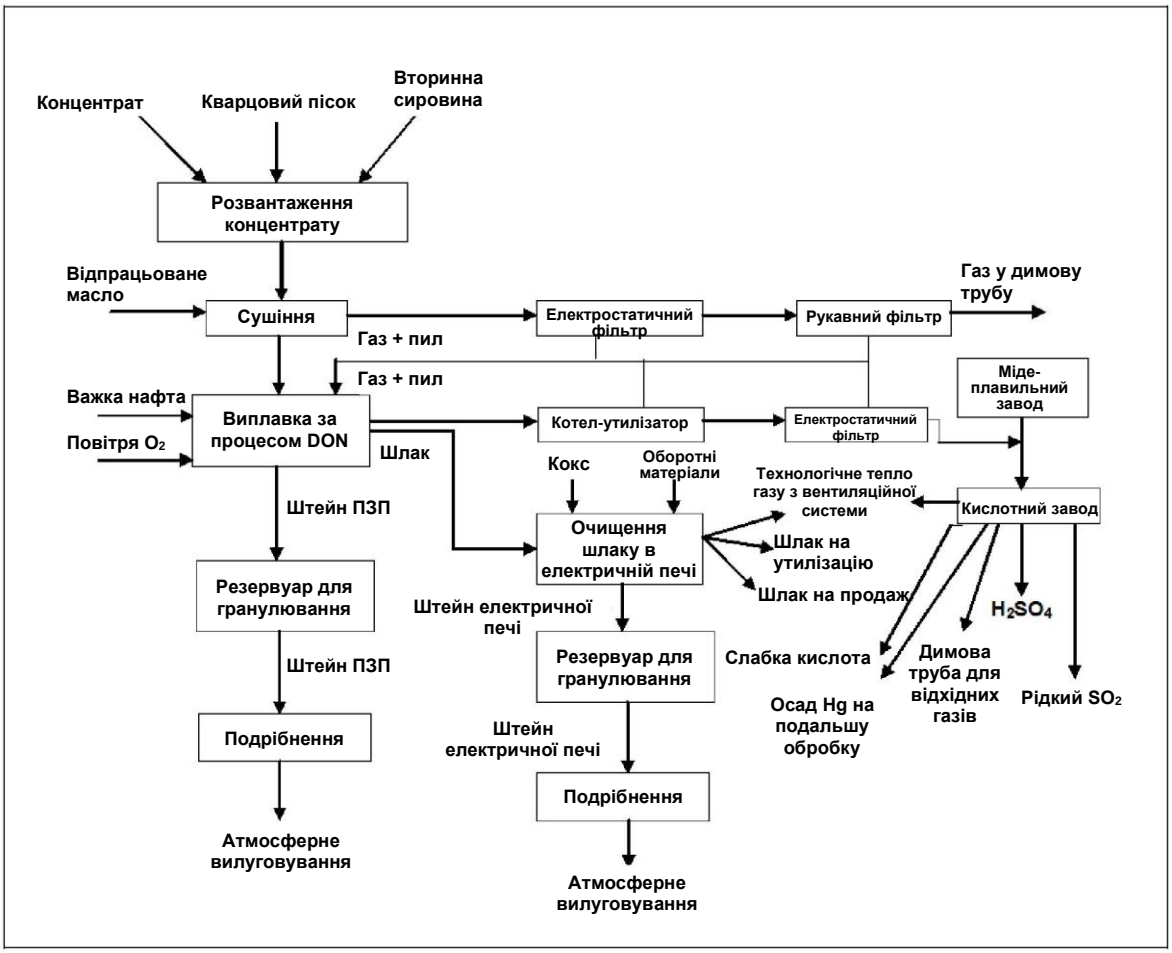


Рисунок 9.4: Процес DON

9.1.1.3 Процеси рафінування штейну

Штейн, отриманий у процесі виплавки, повинен бути додатково оброблений для вилучення та рафінування вмісту металу. Нікелевий штейн повинен пройти багатоетапний процес рафінування для усунення заліза та вилучення міді, кобальту та дорогоцінних металів. Штейн можна обробляти пірометалургійним способом, але частіше використовуються гідрометалургійні процеси. Проводяться різні процеси електролітичного рафінування, вилуговування, відновлення та осадження. Нікель вилучають з очищених розчинів шляхом електровідновлення або відновлення воднем.

На Рисунку 9.5 показано загальні способи обробки.

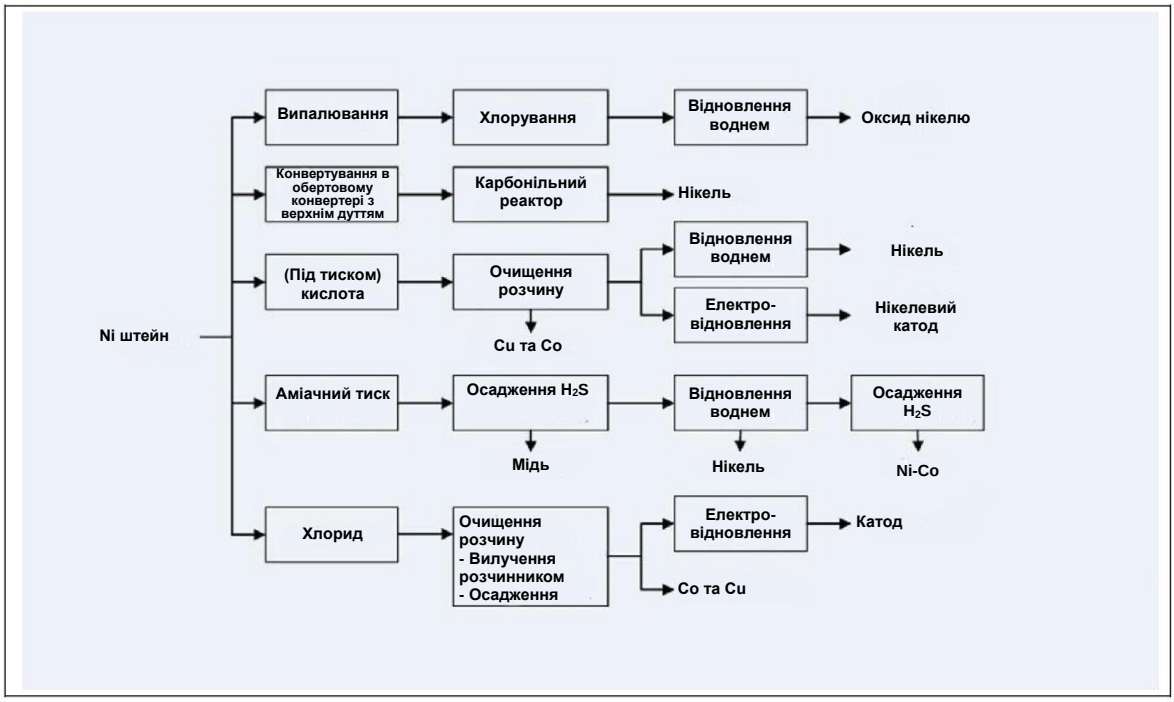


Рисунок 9.5: Загальна схема процесу рафінування нікелевого штейну

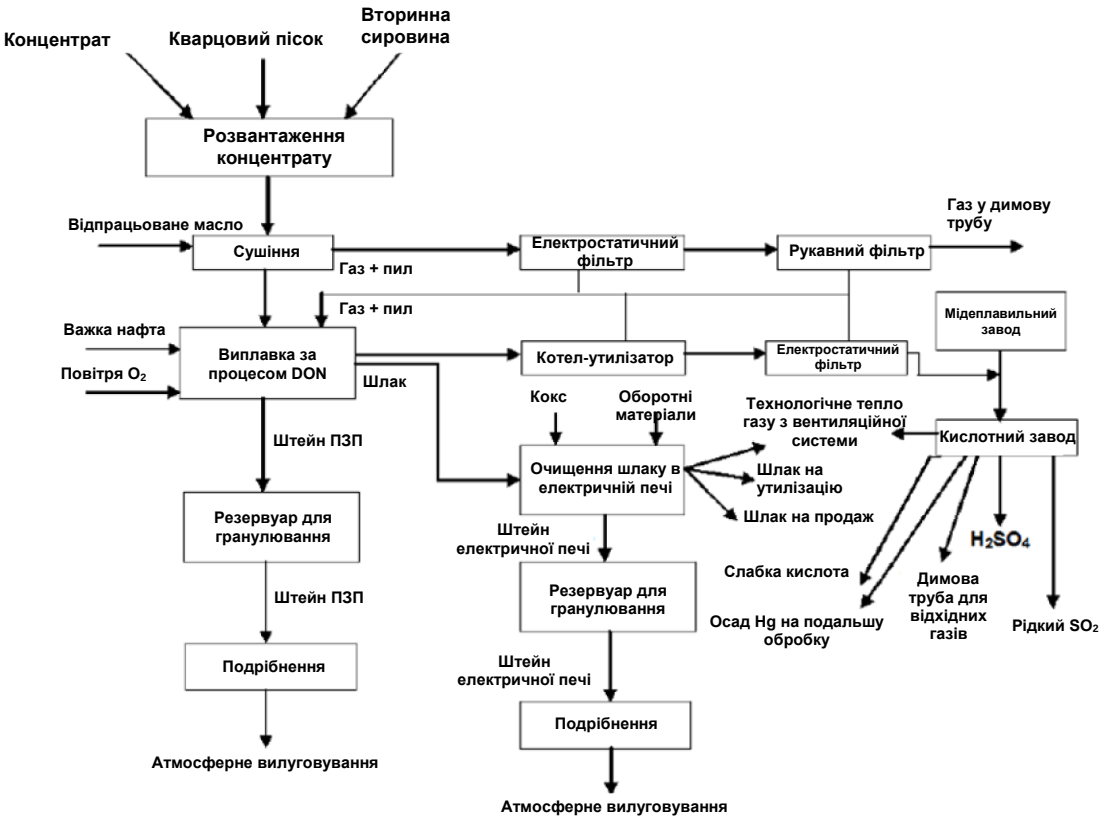
Сировину, що містить нікель, вилуговують в реакторах (атмосферних, температура < 110 °C та тиск 1 бар) і/або автоклавах під тиском (температура > 100 °C та тиск > 1 бар). Вилуговування здійснюють у розчинах на основі хлоридів (див. Розділ 9.1.1.3.1), сульфатів (див. Розділ 9.1.1.3.2) або аміаку (див. Розділ 9.1.1.3.3), а як окиснювач використовується кисень та газоподібний хлор. Такі домішки, як мідь та залізо, осаджуються. У більшості випадків мідний осад піддається подальшому переробленню, а залізний осад відправляється на перероблення на плавильний завод або відправляється в зони утилізації відходів. Розчин нікелю очищають поєднанням процесів вилучення розчинником та осадження для видалення кобальту та інших домішок. Такі домішки, як свинець, марганець та гіпс, відкладаються у спеціально призначених зонах утилізації відходів.

9.1.1.3.1 Хлоридне вилуговування штейну з наступним електровідновленням

Штейн вилуговують у розчині хлориду в кілька етапів за високої температури та тиску з використанням газоподібного хлору як окиснювача. Газоподібний хлор утворюється в камерах електровідновлення і повертається в цикл вилуговування. Мідь осаджується у вигляді сульфіду, а потім залізо та миш'як осаджуються у вигляді гідроксидів та арсенатів для очищення продукту вилуговування. Сульфід міді випалюється у печі з псевдозрідженим шаром, а отриманий обпалений матеріал вилуговують відпрацьованим мідним електролітом. Потім мідь піддається електровідновленню.

Кобальт видаляють шляхом вилучення розчинником з розчину хлориду з використанням органічного розчинника та піддають електровідновленню. Розчин нікелю піддається подальшому очищенню з використанням хлору для видалення свинцю та марганцю з подальшим електровідновленням нікелю з використанням незношуваного анода, виготовленого з титану, поміщеного в діафрагмовий мішок для збору газоподібного хлору.

Цей процес відомий як процес Falconbridge і показаний на Рисунку 9.6.



Джерело: [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]

Рисунок 9.6: Процес Falconbridge

9.1.1.3.2 Вилуговування на основі сульфату під атмосферним тиском з подальшим електровідновленням/відновленням воднем

Штейн вилуговують в аноліті на основі сульфату, переробленому після електровідновлення нікелю [57, Knuutila, K. et al. 1996], [58, Kojo, I.V. et al. 1997] Штейн сульфіду нікелю вилуговують на етапі атмосферного вилуговування з використанням ємностей для вилуговування з кисневим або повітряним барботажем за допомогою іонів міді. Розчинене залізо окиснюється з утворенням оксиду заліза, що осаджується (див. Рисунок 9.7).

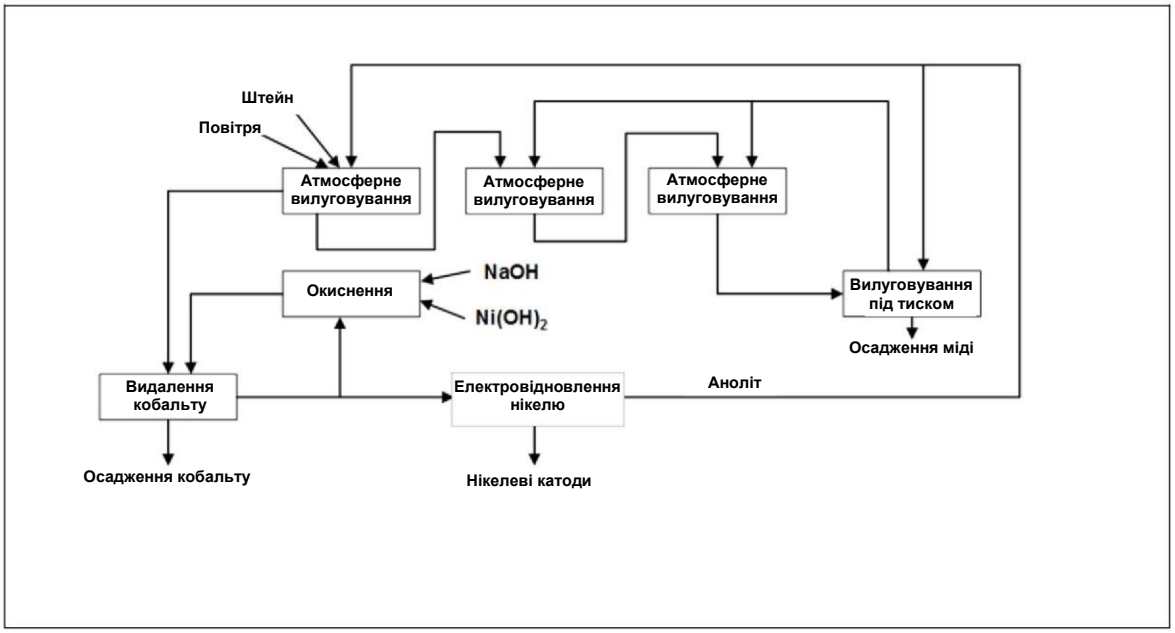


Рисунок 9.7: Процес вилуговування на основі сульфату

Залишок від атмосферного вилуговування прямує на етап вилуговування під тиском, де вміст нікелю розчиняється, а мідь осаджується у вигляді сульфіду міді, який повертається на мідеплавильний завод. Осад оксиду заліза повертається на завод з виплавки міді. У якості альтернативи залишки заліза утилізуються. Розчин нікелю після атмосферного вилуговування очищають шляхом вилучення розчинником для видалення кобальту та домішок. Кобальт можна отримати шляхом електровідновлення або відновити до кобальтового порошку за допомогою водню. Нікель отримати шляхом електровідновлення з очищеного розчину сульфату для виробництва катодів. [310, Makinen T., Taskinen P. 2006].

Порошок нікелю можна отримати шляхом додавання до розчину аміаку та сульфату амонію. Потім суміш відновлюється автоклаві в атмосфері водню. Порошок продається або може бути спечений у брикети. Присутня сірчана кислота нейтралізується аміаком. Сульфат амонію вилучається для продажу або повторного використання у процесі.

Цей процес був перетворений на двопотоковий, щоб забезпечити окрему обробку штейну, отриманого в плавильному заводі та печах для очищення шлаку. Схему процесу рафінування DON показано на Рисунку 9.8.

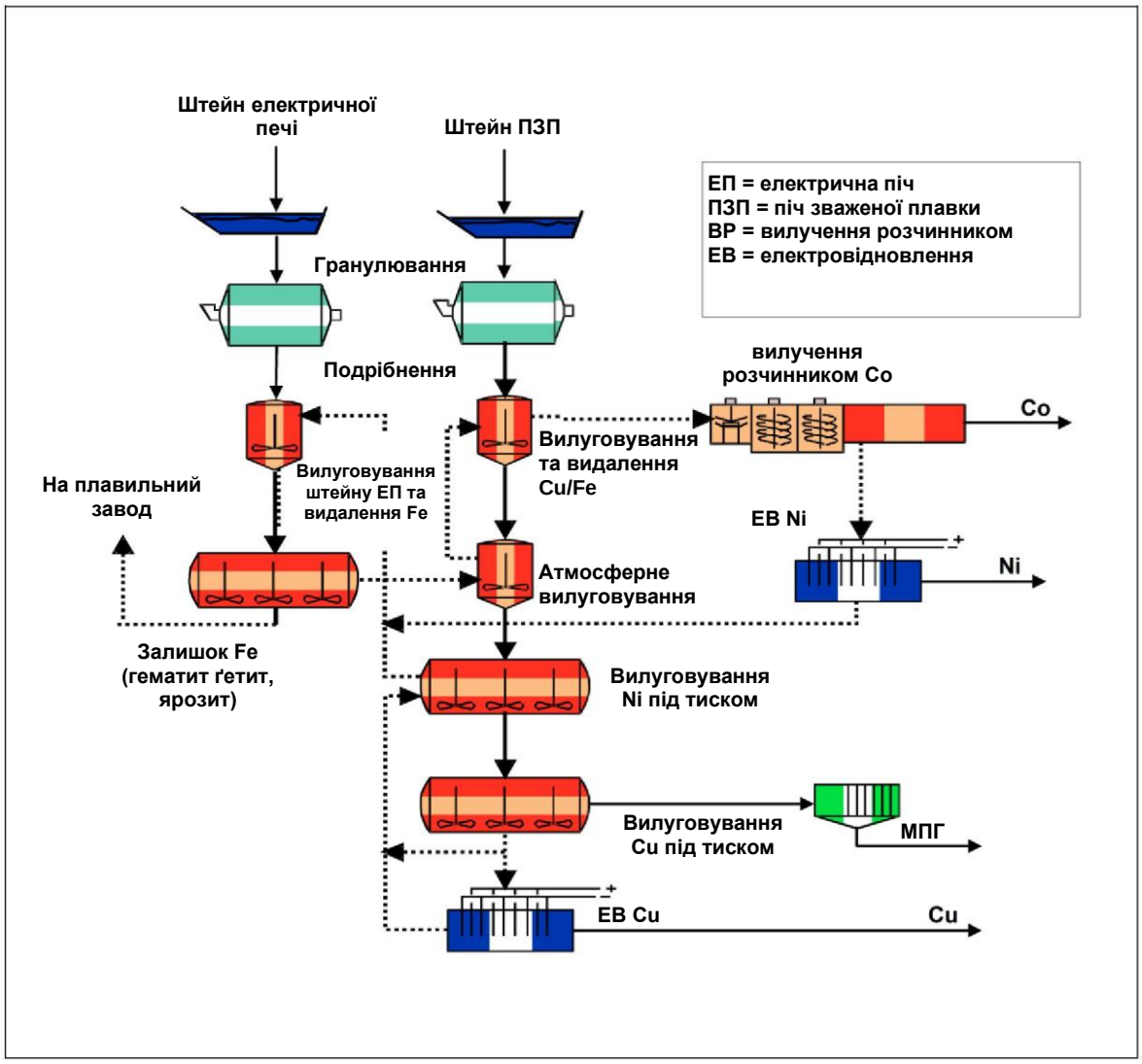
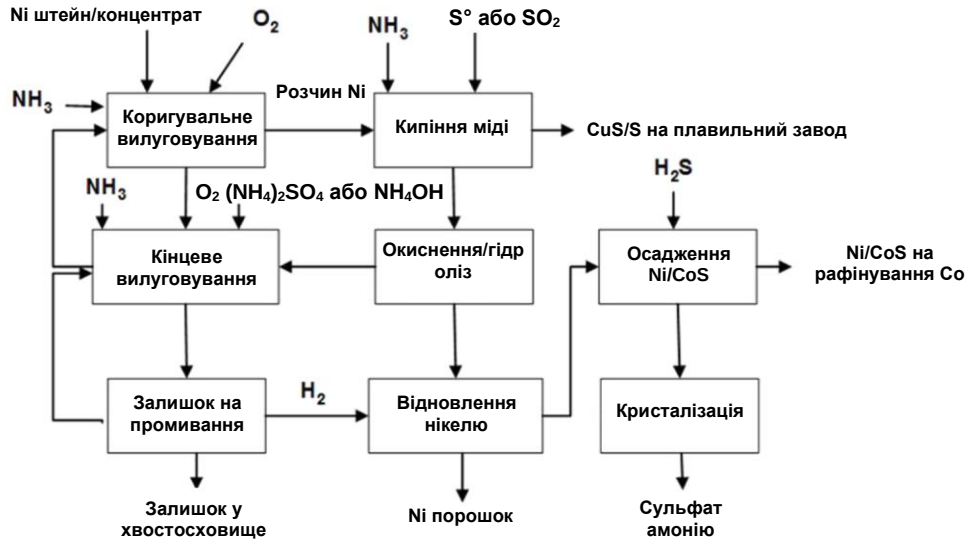


Рисунок 9.8: Схема процесу рафінування DON

9.1.1.3.3 Вилуговування під тиском аміаком та відновлення воднем

Штейн вилуговують в аміачний розчин сульфату амонію в автоклавах під тиском з використанням повітря як окиснювача. Після осадження сульфіду міді розчин нікелю відновлюється воднем в автоклавах з отриманням порошку металевого нікелю. Сульфат амонію, що утворюється на етапі відновлення воднем, вилучається шляхом кристалізації та сушіння. Після відновлення воднем залишок розчиненого нікелю і весь кобальт осаджуються сірководнем для подальшої обробки [92, Laine et al. 1998] [94, Laine, L. 1998]. Цей процес відомий як процес Шеррітта і показаний на Рисунку 9.9.



Джерело: [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]

Рисунок 9.9: Процес вилуговування аміаком Шеррітта

9.1.1.3.4 Вилуговування хлоридом заліза

Штейн вилуговується в кілька етапів з використанням рециркульованого хлориду заліза в присутності хлору (який утворюється в камер електровідновлення) за температури, близької до температури кипіння. Сірка залишається в елементарному стані та відфільтровується з кінцевого розчину. Потім залізо видаляють шляхом вилучення розчинником із використанням трибутилфосфату, що дозволяє відновити хлорид заліза. Кобальт видаляють на наступному етапі вилучення розчинником з використанням тризооктиламіну. Розчин хлориду кобальту продається [92, Laine et al. 1998] [94, Laine, L. 1998].

Інші незначні домішки, такі як хром, алюміній та свинець, видаляються за допомогою комбінації електролізу, іонного обміну та активованого вугілля. Потім нікель отримують шляхом електровідновлення з очищеного розчину у камерах з діафрагмою з використанням титанових анодів та нікелевих катодів. Хлор збирається і повертається в цикл вилуговування.

9.1.1.3.5 Карбонільний процес

У карбонільному процесі низького тиску як сировина для рафінування нікелю використовується нечистий оксид, отриманий в результаті плавки сульфідної руди. Цей оксид відновлюється до нечистого металу за допомогою водню, а потім метал активується. Карбоніл нікелю потім утворюється в результаті реакції металу з чадним газом за низької температури та тиску. Карбоніл нікелю є летким і рафінується шляхом відокремлення від твердих домішок. Твердий залишок повертається для подальшої обробки на завод з

виплавки первинного металу для вилучення інших присутніх металів [19, HMIP (UK) 1994], [25, OSPARCOM 1996].

Газ з вмістом карбонілу нікелю виходить із реактора і потім розкладається за допомогою тепла з утворенням порошків та гранул. Він також може бути розкладений на інші субстрати, такі як вуглецеві волокна, для отримання матеріалів з нікелевим покриттям. Під час розкладання виділяється чадний газ, який вилучається та повторно використовується для виробництва більшої кількості карбонілу нікелю. Чисті солі нікелю утворюються в результаті реакції нікелевих гранул із кислотами. Будь-які вихлопні гази з процесу спалюються для знищення карбонілу нікелю та чадного газу. Пил із допалювача видаляється за допомогою рукавного фільтра.

9.1.1.3.6 Електролітичне рафінування штейну

Нікелевий штейн можна відливати в аноди. Вони розчиняються в електролітичній камері з діафрагмою з використанням хлоридного/сульфатного електроліту. Електроліт з анодного відділення очищується та циркулює через катодний мішок. Аноди також розміщуються в мішки для збору шламу, що містить сірку. Зі шламу виділяють елементарну сірку та дорогоцінні метали. Цей процес обмежений штейном із низьким вмістом міді [94, Laine, L. 1998]

9.1.1.3.7 Вилучення розчинником

У більшості процесів, описаних вище, використовується етап вилучення розчинником для видалення заліза, кальцію та цинку, а також для розділення нікелю та кобальту перед електровідновленням або перетворенням. Іонно-металеві комплекси утворюються з використанням хелатних агентів, щоб потрібні іони металів можна було вилучити в органічну фазу. Потрібні іони потім повторно вилучають у другу водну фазу шляхом зміни умов цієї другої водної фази.

Вибір розчинника та хелатного (комплексоутворювального) агента дозволяє видалити певні іони металів з водного розчину та концентрувати їх. Суміш розчинника та хелатного агента рециркулює між ваннами для вилучення та електровідновлення. Ванни мають мішалку/відстійник, що забезпечує контакт розчинника з водою та подальше розділення фаз. Герметизовані або закриті системи використовуються для запобігання викиду парів розчинника. На Рисунку 9.10 показано загальну схему процесу [239, ENIA 2008].

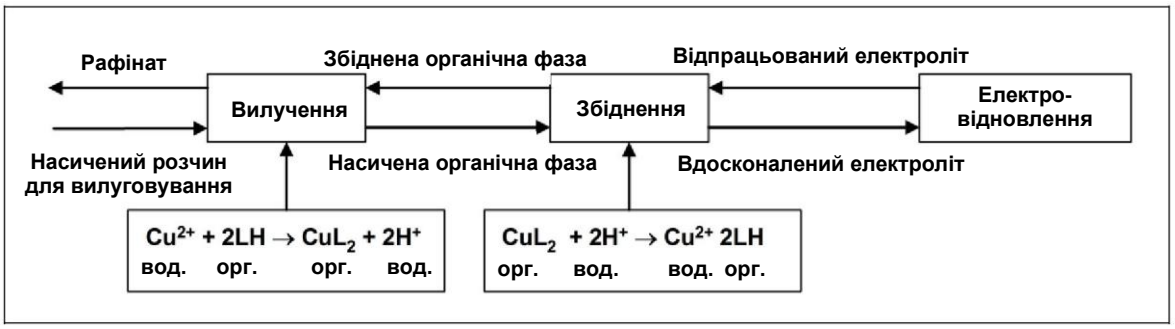


Рисунок 9.10: Схема процесу вилучення розчинником (ВР)

9.1.1.3.8 Процес рафінування нікелевого штейну

Компанія Eramet розробила процес рафінування, що з'явився у 1970-х роках, який здатний (див. Рисунок 9.11) [239, ENIA 2008].

- отримати металевий нікель дуже високої чистоти;

- відновити усі побічні продукти;
- мінімізувати утворення твердих залишків.

Пірометалургійний нікелевий штейн вилуговується хлором у хлоридному середовищі в присутності рециркульованого хлориду заліза близько до температури кипіння. Основним компонентом залишку вилуговування є елементарна сірка. Цей побічний продукт після випалювання дозволяє виробляти сірчану кислоту.

Основними компонентами розчину для вилуговування є хлориди нікелю, кобальту і заліза. Також присутні домішки, такі як алюміній, хром, марганець та свинець.

Після додаткового окиснення розчину залізо спочатку вилучають за допомогою процесу вилучення розчинником з використанням трибутилфосфату в якості екстрагенту. Збіднення здійснюється за допомогою води. Розчин хлориду заліза продається з концентрацією $FeCl_3$ до 40 % мас. Він використовується у процесах обробки води.

Кобальт вилучають із збідненого залізом розчину шляхом вилучення розчинником з використанням триізооктиламіну у якості екстрагенту. Збіднення здійснюється за допомогою води. Хлорид кобальту продається після додаткового очищення з концентрацією $CoCl_2$ до 27 % мас. як сировина для виробництва хімічних продуктів спеціального призначення.

Незначні домішки, що залишилися, такі як алюміній, хром і свинець, видаляються з використанням комбінації осадження, електролізу та активованого вугілля для отримання дуже чистого розчину хлориду нікелю, який використовується як сировинний матеріал для отримання різних продуктів, в тому числі наступних:

- Розчин або кристали хлориду нікелю після концентрування, кристалізації та сушіння.
- Гідроксокарбонат нікелю шляхом осадження, фільтрування та розпилювального сушіння.
- Металевий нікель (чистота > 99,99 %) шляхом електролізу у хлоридному середовищі на титановому та нікелевому катодах. Хлор, що утворюється на анодах, перероблюється на етапі вилуговування штейну.

Енергія, що використовується для цього процесу виробництва нікелю, знаходиться в межах 20 ГДж на тонну нікелю, що відповідає споживанню енергії на етапах рафінування.

<u>Викиди в повітря</u>
У процесі виникають такі викиди в повітря:

- Ni: 0,025 кг/т Ni;
- Cl_2: 0,010 кг/т Ni;
- ЛОС: 3,6 кг/т Ni;
- SO_2: 3,7 кг/т Ni;
- CO_2: 600 кг/т Ni.

<u>Викиди у воду</u>
У процесі виникають такі викиди у воду:

- Ni: 0,017 кг/т Ni;
- Завислі тверді речовини: 0,18 кг/т Ni;
- Хімічне споживання кисню: 2,0 кг/т Ni.

<u>Залишки та відходи виробництва</u>
Завод з рафінування нікелю Eramet, що використовує описаний процес, не утворює твердого залишку для утилізації.

Кількість відходів, що утворюються, становить 22 кг/т Ni. До цих даних не відносяться відходи, не пов'язані з самим виробничим процесом.

Схема процесу рафінування Eramet показана Рисунку 9.11.

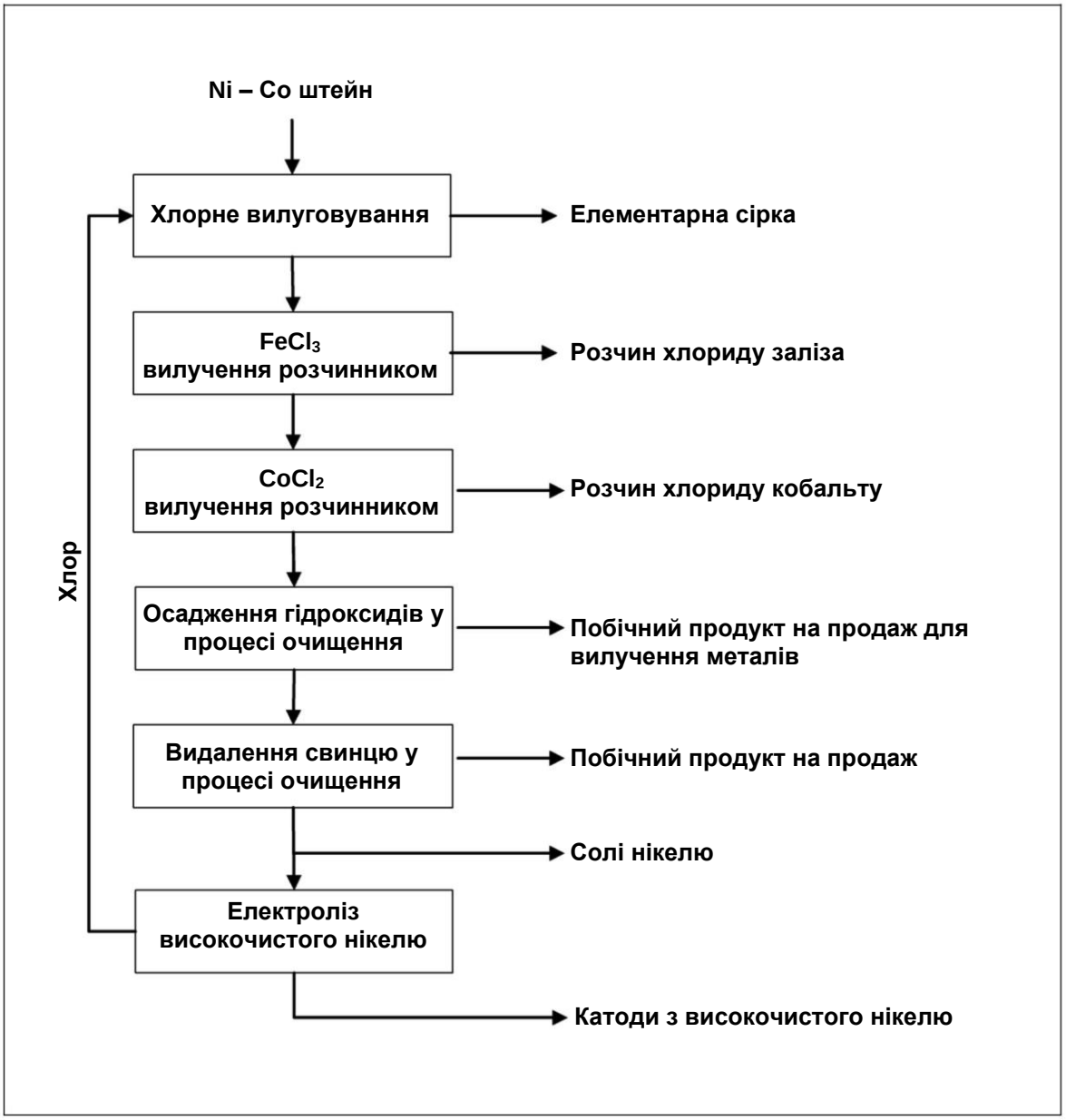


Рисунок 9.11: Схема процесу рафінування Eramet

9.1.1.4 Виробництво нікелевих сплавів із вторинних матеріалів

Процес передбачає підготовку сировини, плавлення (в тому числі випускання і лиття), стриперування та зачистку виливків, переробку брухту та «електрошлакову переплавку» з продуктивністю близько 7000 т/рік.

Сировина для процесу складається з переробного брухту, покупного брухту та первинного матеріалу. Брухт у вигляді стружки, обрізків стружки тощо обробляється для видалення мастила шляхом центрифугування та/або знежирення. Сировина дозується шляхом зважування у завантажувальних ємностях до необхідного складу металу. Потім завантажувальні ємності транспортуються у відповідну піч.

Плавлення здійснюється в індукційній печі, а дим вловлюється однією із двох витяжних систем, обладнаних тканинними фільтрами. Частина металу піддається подальшому рафінуванню у вакуумних рафінувальних печах. Вакуумне індукційне плавлення здійснюється у печі місткістю 7,5 тонн. Лиття з печі здійснюється або у вакуумі або з

аргоном. Вакуумно-дугове переплавляння здійснюється з отриманням твердих виливків у вакуумі. Вакуум створюється паровими ежекторами, а гази від ежекторів охолоджуються за допомогою струменевих конденсаторів. Шлак очищують в електричній печі.

Використовуються три технології лиття: лиття зверху, лиття висхідним струменем та лиття методом Дюрвіля. Під час лиття використовуються ливарні флюси та антиусадні сполуки. Ковші, що використовуються для лиття, підігріваються газовими пальниками.

Виливки після лиття очищаються від будь-якого залишкового вогнетривкого матеріалу. Тверді відходи ливарних процесів, ливарні/ковшові вогнетриви, шлаки тощо збираються для вилучення залишкового металу. Потім очищені виливки можуть бути піддані різним процесам: механічній обробці, розпилюванню, шліфування і дробоструминній обробці. Брухт з цих процесів у вигляді пилу та стружки збирається для вторинної обробки або продажу.

9.1.2 Виробництво кобальту

Кобальт виробляється в процесі вилучення нікелю після розділення шляхом вилучення розчинником та описаний вище у Розділі 9.1.1.3.7. Кобальт може бути отриманий шляхом електровідновлення з розчину для виробництва товарних катодів з використанням камер з діафрагмою таким же чином, як і нікель [233, COM 2008]. Процес електровідновлення може бути на основі сульфату або хлориду.

Кобальт також може бути вилучений із розчину у вигляді порошку шляхом відновлення воднем. У якості альтернативи розчин можна обробити для осадження нечистого кобальтового побічного продукту для подальшого рафінування або продажу.

Подальше рафінування цих та інших побічних продуктів, що містять кобальт, проміжних продуктів та переробних матеріалів здійснюється з використанням атмосферного вилуговування та кисневого вилуговування під тиском у середовищі сірчаної або соляної кислоти. Також використовується розділення з використанням гідроксидів, карбонатів та комплексів аміну або амонієвих комплексів [104, Ullmann's Encyclopedia 1996].

Для очищення розчинів використовуються технології осадження, вилучення розчинником та іонного обміну. Потім кобальт вилучають у вигляді металевого порошку, оксиду металу або солей. Продукти виготовляються у широкому спектрі дуже специфічних фізичних та хімічних характеристик. Піроліз карбоксилатів, високотемпературне відновлення оксидів, технології осадження та кристалізації використовуються залежно від розміру часток або інших необхідних характеристик [104, Ullmann's Encyclopedia 1996]

Ці процеси є комерційною таємницею та дуже залежать від конкретного об'єкта. Загальна схема показана на Рисунку 9.12, а більш специфічний процес показаний на Рисунку 9.13.

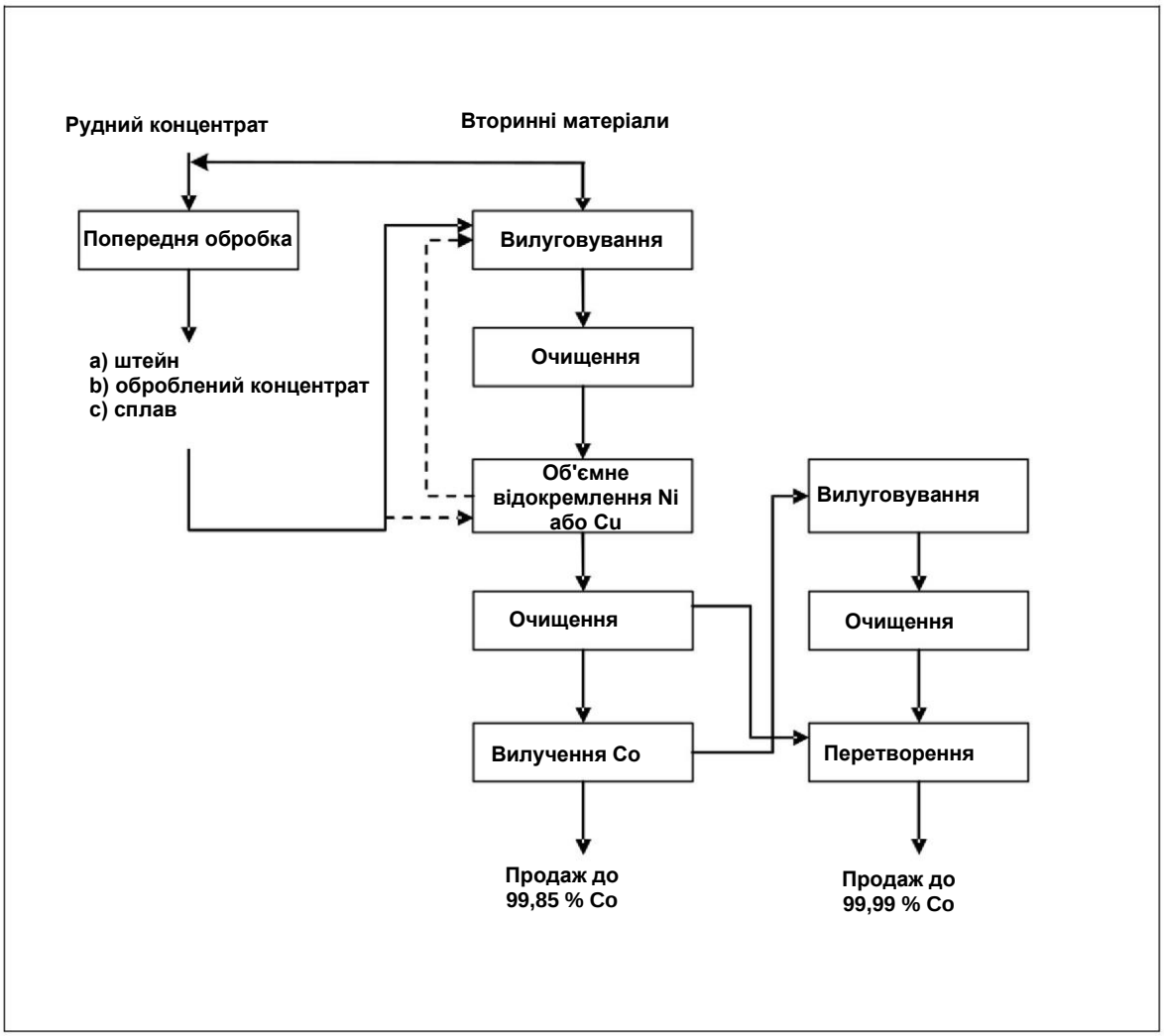
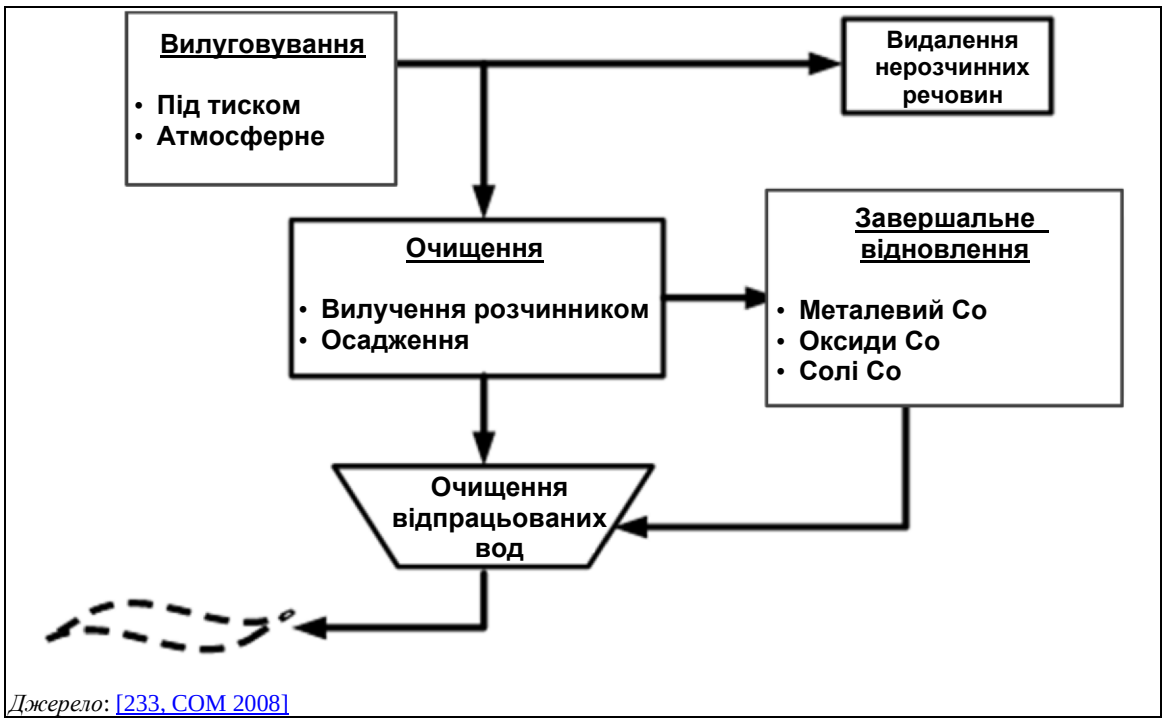


Рисунок 9.12: Загальна схема виробництва кобальту



Джерело: [233, COM 2008]

Рисунок 9.13: Практична схема виробництва кобальту

9.2 Поточні рівні викидів та споживання

9.2.1 Споживання енергії

Повідомляється, що енергія, що споживається для виробництва штейну із сульфідних концентратів, знаходиться в діапазоні 25–65 ГДж на тонну нікелю для концентратів, що містять 4–15% нікелю. Повідомляється, що енергія, яка споживається на різних етапах рафінування, становить 17–20 ГДж на тонну нікелю.

9.2.2 Викиди в повітря

Потенційними викидами у повітря від виробництва нікелю та кобальту, що викликають занепокоєння, є:

- діоксид сірки (SO_2) та інші кислі гази;
- оксиди азоту (NO_X) та інші сполуки азоту;
- метали та їхні сполуки, в тому числі миш'як;
- пил;
- хлор;
- ЛОС та запахи;
- CO та карбоніли (сигнальні рівні зазвичай встановлюються на рівні 80 мг/т).

Значущість речовин, що потенційно викидаються з основних джерел, наведено в Таблиці 9.3 та обговорюється далі у цьому розділі

Таблиця 9.3: Значущість потенційних викидів у повітря від виробництва кобальту та нікелю

Компонент	Випалювання або виплавка	Вилуговування та очищення	Електроліз	Вилучення розчинником	Установка з виробництва сірчаної кислоти	Завершальний етап відновлення та перетворення
Діоксид та триоксид сірки ([1]) HCl	••• ([1])	•	•	•	•••	НЗ
ЛОС (в тому числі CO та запахи)	•	•	НЗ	••	НЗ	НЗ
Хлор	НЗ	••	••	НЗ	НЗ	НЗ
Оксиди азоту	• ([1])	НЗ	НЗ	НЗ	•	НЗ
Пил і метали	••• ([1])	•	•	НЗ	НЗ	••

([1]) Прямі викиди з етапів випалювання або виплавки сульфідних руд обробляються та/або перетворюються на етапах газоочищення та на установці з виробництва сірчаної кислоти; решта викидів діоксиду сірки й оксидів азоту з установки з виробництва сірчаної кислоти залишаються актуальними. Дифузні та невловлені викиди також є актуальними для цих джерел.
Примітка: ••• Більш значущі — • Менш значущі
НЗ = не застосовується.

Джерелами викидів від процесу є:

- випалювання;
- інші види попередньої обробки;
- виплавка, конвертування та обробка шлаку;
- вилуговування та очищення;
- вилучення розчинником;
- електроліз;
- завершальний етап відновлення або перетворення;
- установка з виробництва сірчаної кислоти.

9.2.2.1 Діоксид сірки та інші кислі гази

Основними джерелами викидів діоксиду сірки є дифузні викиди з печі для випалювання та плавильного заводу. Також значними є невловлені викиди з ковша та етапів продування у конвертері, а також прямі викиди з установки з виробництва сірчаної кислоти. Належна витяжна система та герметизація печей запобігає дифузним викидам, а уловлені гази прямують на установку з очищення газу, а потім на установку з виробництва сірчаної кислоти.

Після очищення діоксид сірки в газі з етапів випалювання перетворюється на сірчану кислоту. У Розділі 2.7.2 надана додаткова інформація про технології та викиди установок з виробництва сірчаної кислоти в цьому секторі.

Під час операцій запуску та зупинки можливі випадки виділення слабких газів без перетворення. Ці випадки повинні визначатися для кожної окремої установки, багато компаній забезпечили значні вдосконалення системи управління технологічним процесом, щоб зменшити ці викиди. Викиди діоксиду сірки від деяких процесів продемонстровані в Таблиці 9.4.

Таблиця 9.4: Виробництво діоксиду сірки від деяких процесів виробництва нікелю та кобальту

Процес	Продукція	Виробництво металу (тонн/рік)	Діоксид сірки (кг на тонну металевого продукту)
Помел/вилуговування	Co та сполуки	5000	0,01
Завод з виплавки Ni	Ni, Co, Cu	200 000	18
Примітка: дані стосуються конкретної сировини, подрібнення штейну, виробленого з сульфідної руди та плавки сульфідних концентратів Cu/Ni. *Джерело:* [239, ENIA 2008]			

В процесі електролізу відбуваються викиди аерозольних часток (розведених соляної та сірчаної кислот та солей металів) у цех електролізу. Ці викиди виходять із цеху електролізу через (природну) вентиляцію або з градирень і класифікуються як дифузні викиди. Камери можуть бути покриті піною або пластмасовими гранулами, щоб зменшити утворення туману. Вентиляційне повітря корпусу камери може бути очищене від туману, а розчин повернений на етап електролізу.

Хлор утворюється в процесі електролізу розчинів хлориду. Він збирається в герметичному анодному відділенні та повертається на етап вилуговування. Системи контролю хлору використовуються для виявлення витоків, а скрубери використовуються для видалення слідів хлору з вентиляційного повітря та інших джерел.

9.2.2.2 ЛОС

ЛОС можуть виділятися на етапах вилучення розчинником. Використовуються різні розчинники, і вони містять різні комплексоутворювальні агенти для утворення комплексів з потрібним металом, розчинних в органічному шарі. Викидам можна запобігти або

мінімізувати їх, використовуючи закриті або герметизовані реактори, і в цьому випадку повідомляється про викиди близько 30 мг/Нм^3.

Розчинники можуть бути аліфатичними або ароматичними за своєю природою, але зазвичай використовують суміш. ЛОС можна класифікувати залежно від їх токсичності, але ароматичні та хлоровані ЛОС зазвичай вважаються шкідливішими та потребують ефективного видалення. Пари розчинника виділяються в залежності від температури етапу вилучення та тиску пари компонентів розчинника за цієї температури. Повідомляються концентрації ЛОС до 1000 мг/Нм^3 (~ 1 кг/ч), але робочі умови невідомі [92, Laine et al. 1998]. Необхідно визначити природу розчинників та умови їх використання, щоб можна було оцінити шкідливість.

ЛОС можна видалити за допомогою конденсаторів або шляхом охолодження вентиляційного повітря та відновлення розчинника для подальшого використання. Повідомлялося про масові викиди обсягом 0,2 кг на тонну виробленого металу після конденсації [92, Laine et al. 1998]. Вугільні фільтри або біофільтри можна використовувати для подальшого зниження викидів ЛОС, але вони не дозволяють відновити розчинник.

9.2.2.3 Пил і метали

Перенесення пилу з процесів випалювання, виплавки та конвертування є потенційним джерелом прямих та дифузних викидів пилу та металів. У деяких процесах гази вловлюються та обробляються в скруберах і тканинних фільтрах або процесах газоочищення на установці з виробництва сірчаної кислоти. Пил видаляється і повертається у процес вилуговування. Тканинні фільтри та скрубери використовуються для видалення пилу та грубодисперсних часток. Викиди пилу та металів від деяких процесів продемонстровані в Таблиці 9.5 та Таблиці 9.6, але слід зазначити, що йдеться про різні процеси та етапи процесу, та дані не можна порівнювати [260, Nyberg et al. 2000].

Таблиця 9.5: Викиди пилу та металів з деяких процесів на європейських підприємствах

Процес	Продукція	Виробництво (тонни)	Пил (кг на тонну металу)	Ni (кг на тонну металу)
Подрібнення штейну	Ni	12 000	0,02	0,005
Рафінування нікелевого штейну	Ni		0,04	НД
Карбонільний процес	Ni	40 000	0,01	0,005
Процес DON та мідеплавильний завод ([1])	Ni, Cu	240 000	0,25	0,02

([1]) Процес DON та мідеплавильний завод мають майданчик, на якому передбачені процеси сушіння, виплавки (Cu+Ni), конвертування Cu, очищення шлаку (Cu+Ni), всі процеси рафінування Ni штейну та інші процеси боротьби з викидами.
НД = немає даних.
Джерело: [239, ENIA 2008]

Таблиця 9.6: Викиди у повітря на деяких етапах виробництва кобальту

Процес	Продукція	Виробництва (тонни)	Co (кг на тонну металу)	Ni (кг на тонну металу)	ЛОС (кг на тонну металу)
Помел/вилуговування	Co	10 000	0,1	НД	НД
Вилучення розчинником	Co	10 000	НД	НД	4,0
Завершальний етап відновлення або перетворення	Co	10 000	0,8	0,1	НД
Всього	**Co**	**10 000**	**0,9**	**0,1**	**4,0**

Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [239, ENIA 2008]

9.2.2.4 Хлор

Хлор використовується на деяких етапах вилуговування та утворюється в процесі подальшого електролізу розчинів хлориду. Ємності для вилуговування герметизуються, і для видалення невловленого хлору використовується скруберне очищення газоподібного хлору.

Аноди в електролітичних камерах розміщені в мембрану та закриті ковпаком-уловлювачем. Хлор, що утворюється, уловлюється і повторно використовується на етапі вилуговування. Системи герметизовані, і дифузні викиди утворюються у разі несправності мембрани або трубопроводу. Сигналізатори хлору широко використовуються в приміщеннях для вилуговування і корпусів електролітичної камери для виявлення таких несправностей, і зазвичай викиди хлору не утворюються [233, COM 2008].

Наявність хлору в стічних водах може призвести до утворення органічних сполук хлору, якщо у змішаних стічних водах також присутні розчинники тощо.

9.2.2.5 Водень, чадний газ та карбоніли

Чадний газ та водень використовуються у пірометалургійному рафінуванні нікелю для отримання чорнового нікелю, а потім карбонілу нікелю. Ці гази вибухонебезпечні або дуже токсичні, тому для запобігання викидам використовуються складна герметизація реактора та контрольно-вимірювальне обладнання. Використовуються комплексні системи моніторингу та системи сигналізації. Водень також використовується як відновник у гідрометалургійних або пірометалургійних процесах відновлення або перетворення. Чадний газ також утворюється в електричних відновлювальних печах, якщо не використовується допалювання. Надійна конструкція процесу, що передбачає великогабаритне обладнання та відповідні системи видалення газів, дозволяє уникнути утворення вибухонебезпечних газових сумішей.

Чадний газ вилучається, а відпрацьовані технологічні гази остаточно спалюються для знищення будь-якого чадного газу або карбонілу, які можуть бути присутніми. Карбоніл нікелю перетворюється на оксид нікелю, який відновлюється.

9.2.2.6 Оксиди азоту

Етапи випалювання та плавки є потенційними джерелами утворення оксидів азоту (NO_X). NO_X можуть утворюватись з компонентів азоту, присутніх у концентратах, або у вигляді термічних NO_X. Отримана сірчана кислота може поглинати значну частину NO_X, що може вплинути на якість сірчаної кислоти. Якщо після етапу випалювання присутні високі рівні NO_X, може знадобитися очищення газів від процесу випалювання для забезпечення якості продукту та з екологічних причин. Для прямої виплавки використовується збагачення киснем, за винятком випарювання шлаку, і вона може знизити викиди термічних NO_X. В інших печах, в яких використовуються киснево-паливні пальники, також спостерігається зниження викидів NO_X, але можливий зворотний ефект за нижчих рівнів збагачення киснем, коли підвищення температури та вміст азоту є значними. Діапазон для всіх процесів становить 20–400 мг/Нм^3.

9.2.2.7 Дифузні викиди

Крім технологічних викидів, виникають дифузні викиди. Основними джерелами дифузних викидів є:

- пил від зберігання та поводження з концентратами;
- виток з печей для випалювання, плавильних печей та конвертерів;
- пил від вихлопних газів з ємностей для вилуговування та очищення;
- вихлопні гази (в тому числі HCl, Cl_2 та ЛОС) з установок вилучення розчинником та електровідновлення;
- пил від вихлопних газів ливарних печей;
- інші викиди, в тому числі вентиляційне повітря будівлі.

Хоча дифузні викиди важко виміряти та оцінити, для цього успішно використовуються деякі методи (див. Розділ 2.3.5.)У Таблиці 9.7 наведено деякі оцінки із заводу з виплавки первинного металу, де вентиляційні гази плавильної печі та конвертера уловлюються та обробляються з газами сушарки.

Таблиця 9.7: Значущість вторинного уловлювання диму та дифузних викидів

Викиди	Первинне уловлювання (тонн/рік)	Вторинне уловлювання (тонн/рік)	Дифузні (тонн/рік)
Діоксид сірки (1999)	523	2242	147
Діоксид сірки (2004)	630	1976	248
Джерело: [239, ENIA 2008]			

У Таблиці 9.7 продемонстровано, що дифузні викиди можуть бути значними у первинній виплавці, якщо вентиляційні гази не уловлюються та не обробляються. У цьому випадку вони будуть набагато вищими, ніж піддані очищенню викиди. Повідомляється, що процеси рафінування мають нижчі дифузні викиди, а карбонільний процес особливо добре герметизований. Заходи з боротьби з дифузними викидами можуть знадобитися у багатьох процесах.

Дифузні викиди, що виникають від диму з процесу гранулювання можна зменшити шляхом обробки димів розчином NaOH. Ще один спосіб зменшити їх — закривати жолоби вентильованими кришками. Ці жолоби можна нагрівати за допомогою палива або краще за допомогою кришок з електричним нагрівом, що потім дозволяють ефективно вловлювати дифузні викиди завдяки невеликій кількості газу, що виділяється.

Дифузні викиди від транспортування розплавленого матеріалу також є значними. У процесі DON, а також у процесах зваженої плавки та зваженого конвертування немає ковшового транспортування розплавленого матеріалу, і тому дифузні викиди набагато легше контролювати.

Уловлювання дифузних викидів описане у Розділі 2.12.4.

9.2.3 Викиди у воду

Метали, їх сполуки та завислі матеріали є основними забруднювальними речовинами, що викидаються у воду. Йдеться про такі метали, як мідь, нікель, кобальт, миш'як та хром. Іншими важливими речовинами є фториди, хлориди та сульфати.

Можливими джерелами стічних вод є:

- процеси гідрометалургійного очищення;
- гранулювання штейну;
- відпрацьовані води з мокрих скруберів;
- відпрацьовані води з електростатичних фільтрів;
- відпрацьовані води з процесу гранулювання шлаку;
- рідкі відходи від промивання анодів та катодів;
- ущільнювальна вода від насосів;
- загальні операції, в тому числі очищення обладнання, підлог тощо;
- скидання з циклів циркуляції охолоджувальної води;
- стік дощової води з поверхонь (зокрема зон зберігання) та дахів;

Найважливішими джерелами є стічні води від мокрого газоочищення (якщо використовується) плавильного заводу, конвертера та етапів випалювання в псевдозрідженому шарі. Також джерелами є очищення та інші джерела. Етапи вилуговування зазвичай працюють у замкнутому циклі, а дренажні системи ізольовані, але існують потенційні проблеми, якщо не використовуються надійні системи запобігання та виявлення витоків. Зливи електроліту використовуються на етапі вилуговування.

9.2.3.1 Відпрацьовані води з установок з очищення

Якщо після процесів вилуговування та випалювання використовуються мокрі скрубери, утворюється кислий розчин. Скрубер видаляє фториди, хлор, хлориди, більшу частину ртуті та селену, і навіть деякі частки, які пройшли механічне очищення газів. Щоб уникнути накопичення забруднювальних речовин зі скрубера необхідно постійно зливати деяку кількість рідини, а потім обробляти. Розчинений SO_2 видаляють перед скиданням. Слабку кислоту можна обробляти шляхом її концентрування і подання назад в шахту аптейку шахтної печі зваженої плавки.

Мокрі електростатичні фільтри також утворюють кислотну змочувальну рідину. Вона рециркулюється після фільтрування або після концентрування повертається до шахти аптейку печі зваженої плавки. Деяку кількість рідини необхідно відводити з цього контуру, щоб видаляти накопичені забруднювальні речовини. Ця злита рідина обробляється і аналізується перед скиданням.

У Таблиці 9.8 вказано склад стічних вод з процесу газоочищення до обробки.

Таблиця 9.8: Типовий склад стічних вод з процесу газоочищення

Забруднювальна речовина	Концентрація (розчинений компонент)	Процент завислих речовин
Тверді речовини		250-1500 мг/л
Сульфат Хлориди Фториди	13–25 г/л 1,3–1,8 г/л 0,3–0,5 г/л	
Кобальт Нікель Мідь Цинк Кадмій Свинець	0,1–9 мг/л 0,1–10 мг/л 5–15 мг/л 0,1–2,5 г/л 1–5 мг/л 1–3 мг/л	5–30 10–60 < 0,05 2–6 5–50

9.2.3.2 Інші джерела

Електроди мембранні мішки, які використовуються під час електролізу, необхідно періодично промивати, щоб видаляти матеріал, що осів на поверхні. Діоксид марганцю може утворюватись на поверхні анодів внаслідок реакції кисню з розчиненим марганцем. Після промивання анодів марганець відокремлюється від води для промивання для повторного використання за межами об'єкта. Катоди очищають після видалення кобальтових або нікелевих основ. Рідкі відходи для промивання анодів та катодів є кислими та можуть містити мідь, нікель, кобальт та завислі речовини.

Охолоджувальна вода від гранулювання штейну або шлаку зазвичай рециркулюється в системі замкнутого контуру. Повідомлювалось про утворення стійких органічних сполук хлору та ПХДД/Ф у деяких контурах охолодження процесів хлорного вилуговування.

Фільтри та стічні води процесів гідрометалургійного розділення та перетворення обробляються для видалення металів та завислих речовин. Продукти цієї обробки можуть бути повернені в попередні операції в залежності від їх складу та цінності. Для цього можна використовувати мокрий електростатичний фільтр. Потенційні джерела стічних вод повідомлені у Таблиці 9.9.

Таблиця 9.9: Короткий огляд потенційних джерел стічних вод та варіантів очищення

Технологічна установка	Операція/джерело	Варіанти використання/обробки
Технологічний процес взагалі	Дощова вода з доріг, дворів, дахів Мокре очищення доріг Очищення вантажівок тощо	Установка з очищення відпрацьованих вод/повторне використання Установка з очищення відпрацьованих вод Рециркуляція, установка з очищення відпрацьованих вод
Операція виплавки	Охолоджувальна вода з печі, машин та обладнання	Рециркуляція
Гранулювання штейну або шлаку	Стічні води з мокрого електростатичного фільтра (якщо він необхідний) Вода від процесу гранулювання	Рециркуляція, установка з очищення відпрацьованих вод Рециркуляція
Система очищення газу	Конденсат від охолодження газу, мокрого електростатичного фільтра Конденсат від видалення ртуті Витік	Видалення завислого пилу та повторне використання у якості сировини, або на установку з очищення відпрацьованих вод Після видалення ртуті на установку з очищення відпрацьованих вод Рециркуляція
Установка з виробництва сірчаної кислоти	Обладнання з охолоджувальною водою Витік	Рециркуляція Установка з очищення відпрацьованих вод
Зберігання сировинного матеріалу	Поверхневі води (дощові/змочування)	Установка з очищення відпрацьованих вод
Агломераційний завод	Скрубер (охолодження спеченої дрібнодисперсної фракції)	Установка з очищення відпрацьованих вод
Очищення газів печі для випалювання	Мокре очищення газу	Установка з очищення відпрацьованих вод
Вилуговування	Загальні операції включно з мокрим очищенням газу	Вилучення металів
Очищення	Загальні операції Осади з фільтру	Вилучення металів Протитечійне промивання
Електроліз	Очищення камер, анодів та катодів	Вилучення металів
Усі технологічні установки	Технічне обслуговування	Установка з очищення відпрацьованих вод
Установка з очищення відпрацьованих вод	Обробка стічних вод	Повторне використання для певних галузей застосувань/скидання

У Таблиці 9.10 та Таблиці 9.11 наведено дані щодо викидів у воду та масових викидів нікелю на вироблену тонну для деяких європейських підприємств [239, ENIA 2008].

Таблиця 9.10: Приклади аналізу стічних вод

Процес	Стічні води ($м^3$/день)	Потік ($м^3$/т)	Основні компоненти (мг/л)					
			Cu	Zn	As	Co	Ni	ХСК
Co	НД	200	< 0,1	< 1,5	< 0,1	< 1,5 ([1])	< 1,0	25
Cl вилуговування	НД	55	0,1	НД	НД	0,2	0,7	НД
Cl вилуговування	НД	НД	1,0	1,0	НД	0,25	1,0	НД
Карбонільний	НД	450	0,4	НД	НД	0,1	1,4	НД
Плавильний завод + вилуговування ([2])	10 900	НД	10 г/т	4 г/т	2 г/т	НД	10 г/т	НД

([1]) Викиди Co становлять 0,5 кг на тонну виробленого Co.
([2]) Дані щодо Плавильного заводу + вилуговування охоплюють технологічні води, охолоджувальну воду, воду з кислотної установки та дощову воду з комбінованого заводу з виплавки Cu та Ni та вилуговування нікелю.
Примітка: НД = немає даних.
Джерело: [239, ENIA 2008]

Таблиця 9.11: Масові викиди нікелю на вироблену тонну для європейських процесів

Процес	Обсяг стічних вод ($м^3$/день)	Викиди нікелю (г Ni на вироблену тонну)
Помел та вилуговування штейну	1640	15,7
Помел та вилуговування штейну	3233	16
Виплавка нікелю та рафінування штейну ([1])	1900	29,6
Карбонільний процес	6615	30
([1]) Дані щодо виплавки нікелю та рафінування штейну охоплюють як завод з виплавки Cu та Ni, так і процес вилуговування нікелю. *Джерело:* [239, ENIA 2008]		

9.2.4 Технологічні залишки

Виробництво металів пов'язане з утворенням кількох побічних продуктів, залишків та відходів, які також перелічені у Європейському каталозі відходів (Рішення Ради 94/3/ЄС). У цьому розділі перелічені найважливіші характерні для процесу залишки.

Залишки утворюються в результаті очищення рідких відходів. Основними залишками є відходи гіпсу ($CaSO_4$) та гідроксиди металів, які утворюються на установці з нейтралізації відпрацьованих вод. Ці відходи вважаються наслідком впливу на різні компоненти довкілля цих технологій обробки, але багато з них повертаються в металургійний процес для вилучення металів, залежно від їхньої цінності.

Пил та/або осад від обробки газів використовуються як сировина для виробництва інших металів, таких як дорогоцінні метали та мідь тощо, або вони можуть бути повернені на плавильний завод або в цикл вилуговування для вилучення.

9.2.4.1 Осади внаслідок процесів очищення

Утворення твердих речовин на основі заліза становить значний обсяг відходів, залежно від процесу, що використовується. Приклади складу різних типів залишків показані у Таблиці 9.12.

Таблиця 9.12: Приклади складу різних типів залишків

Процес	Fe (%)	Zn (%)	Co (%)	Cu (%)	Ni (%)
Залишки гідроксиду заліза у процесі хлоридного вилуговування	40	НД	0,1	< 0,1	1–2
Залишки гіпсу	НД	25	2–3	НД	НД
Установка з очищення відпрацьованих вод	< 10	< 10	< 0,5	< 1	< 0,05
Примітка: НД = немає даних.					

Утилізація цих залишків може викликати значні витрати, оскільки для утримання матеріалу використовуються спеціально сконструйовані, футеровані ємності. Особлива увага приділяється витокам, і оператори цих ємностей повинні здійснювати моніторинг підземних вод. Це становить значний вплив на різні компоненти довкілля. На одному об'єкті відходи розміщуються у підземних кавернах гірських порід.

9.2.4.2 Пірометалургійні шлаки та залишки

Шлаки від процесів виплавки зазвичай містять дуже низькі концентрації вилужних металів після очищення шлаку. Тому вони придатні для використання у будівництві, у якості абразивних матеріалів та для інших цілей. Вихідний потік шлаку у чотири-десять разів перевищує масу виробленого металу залежно від джерела концентрату.
У Таблиці 9.13 наведено приклади складу деяких нікелевих шлаків. Точний склад також залежатиме від джерела концентрату [139, Riekkola-Vanhanen, M. 1999].

Таблиця 9.13: Приклади складів типових нікелевих шлаків

Компонент	Відбивна піч	Електрична піч	Зважена плавка Outotec ([1])
Нікель (%)	0,2	0,17	0,1–0,3
Кобальт (%)	0,1	0,06	0,1–0,25
Мідь (%)	0,08	0,01	0,05–0,25
Залізо (%)	38	НД	35–43
Кремнезем (%)	36	35	30–-39
Вапно (%)	2	НД	0,5–7
([1]) Після очищення в електричній печі. НД = немає даних.			

Країни-члени використовують низку стандартних тестів на вилуговування, і вони є специфічними для кожної конкретної країни. Нікелеві шлаки занесені до ЄС до помаранчевого списку Правил транскордонного перевезення відходів. Дрос та тверді частки, що видаляються на етапах плавлення та рафінування, містять метали, придатні для відновлення.У Таблиці 9.14 показано деякі варіанти обробки або повторного використання твердих залишків процесів виробництва нікелю та кобальту.

Таблиця 9.14: Деякі варіанти обробки або повторного використання твердих залишків процесів виробництва нікелю та кобальту.

Етап процесу	Вихідний потік твердого матеріалу	Варіанти використання/обробки
Автоклав	Залишки	Піч для виплавки
Видалення заліза	Осад	Плавильна піч або утилізація
Система боротьби з викидами	Пил із фільтра	Піч для виплавки
Вилуговування під тиском	Залишок сульфіду	Вилучення Cu
Знеміднення	Цементний cu	Завод з виплавки Cu
Утворення нікелю та кобальту	Нечистий карбонат нікелю	Виробництво чистого сульфату нікелю
Обробка шлаку	Очищення шлаку	Будівництво
Видалення As тощо	Гіпс, арсенат заліза	Спеціальна утилізація або видалення As
Обробка стічних вод	Осад	Вилучення інших металів або утилізація

9.2.4.3 Інші матеріали

Залежно від їх складу та цінності інші залишки або осади, що утворюються на різних етапах процесу або від загального очищення стічних вод, можуть бути перероблені або відправлені на остаточну утилізацію.

9.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ

У розділах цього документа під назвою «Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ» викладено технології, які зазвичай мають потенціал для досягнення високого рівня захисту довкілля в галузях, що охоплюються цим документом. Передумови способу опису технологій надано у Розділі 2.12 та Таблиці 2.10.

У цьому розділі наведено ряд технологій запобігання або зменшення викидів та залишків, а також технологій зниження загального споживання енергії. Усі вони представлені на ринку. Приклади наведено для демонстрації технологій, що демонструють хороші екологічні показники. Технології, наведені у якості прикладів, ґрунтуються на інформації, наданій галуззю, країнами-членами ЄС, а також на оцінці Європейським бюро з комплексного запобігання та контролю забруднення. Загальні технології, описані у Главі 2 стосовно загальних технологічних процесів, значною мірою застосовні до процесів у цьому секторі та впливають на те, як контролюються та керуються основні та супутні процеси. Технології, що використовуються в інших секторах, також застосовні, особливо ті, що пов'язані використанням систем вилучення сірки.

9.3.1 Виробництво нікелю

9.3.1.1 Процес приймання, зберігання та поводження з матеріалом

9.3.1.1.1 Технології зменшення та запобігання викидам від приймання, зберігання та поводження з матеріалами

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від отримання, зберігання та поводження з сировиною для виробництва нікелю, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006].

Опис
Технології, які слід розглянути:

- збирання та безпечне зберігання шкідливих матеріалів;
- витяжні системи для газу за якими знаходяться рукавні фільтри (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Сировиною є концентрати, хлор, інші гази, проміжні продукти, флюси та паливо, а іншими важливими матеріалами є продукти, сірчана кислота, шлаки та технологічні залишки.

Перелік проблем та їх вирішення, пов'язаних з технічними процесами, наведено нижче.

- З проміжними продуктами, такими як штейн, який може утворювати пил, необхідно поводитись з використанням відповідних систем вентиляції та уловлювання пилу, зазвичай в ізольованому та спеціально відведеному приміщенні.
- З хлором, киснем та іншими газами слід поводитись відповідно до особливих вимог безпеки для запобігання витоку та уловлювання газів.
- Технологічні гази, такі як кисень та хлор, збираються та зберігаються у стандартних ємностях під тиском. Ці гази зазвичай регенеруються та рециркулюються, тобто, безпосередньо повертаються у процес або зберігаються для подальшого повторного використання.
- Кислота, отримана в ході процесу, повинна зберігатися в резервуарах з подвійними стінками та/або резервуарах, поміщених у хімічно стійкі утримувальні обвалування. Кислі шлами з установки з виробництва сірчаної кислоти та слабка кислота зі скруберних систем очищуються або обробляються на місці та можуть бути використані як вторинна сировина для інших цілей.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу.

- Повторне використання пилу у технологічному процесі, де це можливо.
- Запобігання витоку матеріалу.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про ефективність та функціонування наведено у Таблиці 9.15.

Таблиця 9.15: Викиди пилу від завантаження та транспортуванні на заводі з виробництва нікелю

Завод	Технології	Походження викидів	Пил (мг/нм^3)			Періодичність моніторингу
			Мін.	У середньому	Макс.	
Завод E	Рукавний фільтр	Завантаження та транспортуванні на місці Ni штейну	0,1	2,1	15,6	Безперервні вимірювання (середньодобові значення)
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]						

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Відновлення сировини.
- Вимоги екологічних норм та норм у галузі охорони здоров'я.

Приклади заводів
Завод D (Велика Британія) та Завод E (Норвегія).

Довідкова література
[291, COM 2001]

9.3.1.2 Процеси попередньої обробки матеріалу

9.3.1.2.1 Технології запобігання та зменшення викидів під час підготовки та збагачення

Опис
Технології, які слід розглянути:

- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4) та розпилення води;
- седиментація та флотація (згущувач);
- дренажна система.

Технічний опис
Під час підготовки та збагачення можуть використовуватися процеси, що виконуються на сухій або вологій руді. Скорочення викидів зосереджено на пригніченні пилу, усуненні розливів та відновленні води з метою зменшення кількості залишків та рециркуляції води на переробний завод.

Пригнічення пилу може здійснюватися за допомогою пиловловлювачів із тканинними фільтрами або шляхом боротьби з викидами за допомогою систем розпилення води.

Відновлення води здійснюється за допомогою згущувачів. Для оцінки того, яка конструкція найкраще підходить для характеристик матеріалу, потрібні спеціальні випробування. Принцип полягає у використанні гравітації, щоб дозволити часткам вільно осідати. Флокулянти та/або коагулянти можуть бути використані для сприяння відновленню води.

З сухими залишками або залишками з обмеженим вмістом води можна легко поводитись у зоні зберігання залишків на об'єкті.

Для контролю за наслідками можливих розливів завод повинен бути обладнаний дренажною системою, щоб поверхневі стоки збиралися у відстійнику.

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання та зменшення викидів пилу та металів.
- Збереження сировини, оскільки пил з фільтра повторно використовується у технологічному процесі.
- Зменшення споживання води.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Використання згущувача зазвичай пов'язане із застосуванням флокулянтів та/або коагулянтів. Флокулянти зазвичай є органічними полімерами, а коагулянти — або органічними, або мінеральними. Дозування зазвичай становить від 5 г/т до 50 г/т сухого залишку, але в деяких випадках може досягати кількох сотень грамів на тонну. Якщо на цьому етапі не вдається досягти достатнього відновлення води, ефективність процесу можна покращити шляхом використання центрифуг або фільтрів. Центрифугування посилить дію гравітації та покращить швидкість осадження.

Для відокремлення твердих часток від рідини можна використовувати два типи фільтрів: фільтри вакуумного типу і фільтрпреси, при цьому останні більш ефективні для обробки матеріалів з вищим вмістом дрібних часток/глини, які утримують воду і можуть блокувати продукти вакуумного фільтра. Використання цих технологій має забезпечувати воду з низьким вмістом завислих речовин, яку можна рециркулювати у виробничі процеси.

Вплив на різні компоненти довкілля
Використання хімічних речовин.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Техніко-економічна оптимізація процесів.

Приклад заводу
Завод F (Франція).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.3.1.2.2 Технології запобігання та зменшення викидів від сушіння нікелевої руди та концентратів

Опис
Технології, які слід розглянути:
- гарячий електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1);
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
У обертових сушарках гарячий газ, що утворюється в результаті згорання палива в окремій камері, або газ, що рециркулює, контактує з вологим концентратом або сировинною сумішшю, а вміст води випаровується в газ. Полум'я пальника не має прямого контакту із сировинною сумішшю. Перед поданням в сушильний барабан газоподібні продукти згорання охолоджуються до температури 500 °C. Охолодження необхідно виконувати для запобігання запалюванню сульфідів. Якщо сульфіди запалюються та окиснюються, теплотворна здатність концентратів знижується та утворюється діоксид сірки. Таким чином, запалюванню необхідно запобігти шляхом охолодження сушильного газу, щоб мінімізувати утворення діоксиду сірки.

Запобігання окисненню сірки також може здійснюватися за допомогою азотного захисту та з використанням низьких температур та рециркуляційних газів, наприклад, з анодної печі. Димовий пил з відхідних газів після барабанної сушарки видаляється за допомогою електростатичного фільтра і рукавного фільтра. Уловлений пил повертається в технологічний потік як сировина.

У парових сушарках робоча температура пари становить 130–214 °C. Продуктивність парової сушарки залежить від тиску/температури пари; збільшивши тиск до 18–20 бар, можна збільшити продуктивність Невелика кількість повітря-носія або азоту (для запобігання окисленню) вводиться в сушарку для вилучення води з концентрату. Кількість повітря/відхідних газів, що виходять із парової сушарки, набагато менша, ніж з обертової сушарки, і вони обробляються для видалення пилу в рукавному фільтрі.

Електростатичні фільтри є найбільш поширеним пристроєм для зниження викидів пилу для очищення гарячих відпрацьованих газів процесу плавки, а рукавний фільтр — для охолодженого газу.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу та металів.
- Відновлення сировини, оскільки уловлений пил повторно використовується у технологічному процесі.
- У випадку використанні сушарки з паровим змійовиком непрямого нагріву температура настільки низька, що займання не відбувається, і таким чином запобігають утворенню SO_2.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Для зменшення використання викопного палива обертова барабанна сушарка з прямим нагрівом може використовувати рециркуляційний газ з інших частин процесу, але також потребує спалювання деякої кількості палива для генерації тепла, необхідного для сушіння.

У сушарках з паровим змійовиком використовується пара, рекуперована в котлі-утилізаторі від первинної плавки і перетворення відхідних газів. Споживання пари становить близько 150—180 кг на тонну концентрату залежно від вологості концентратів та можливої вторинної сировини.

Відхідні гази сушарки Заводу A очищаються від пилу за допомогою електростатичного фільтра і рукавного фільтра, щоб зменшити викид твердих часток в атмосферу. Дані про ефективність та функціонування наведено у Таблиці 9.16.

Таблиця 9.16: Викиди від обертової сушарки на заводі з виробництва нікелю

Завод	Тип сушарки	Потужність	Нагрівання	Очищення відхідних газів	Викиди (Мін.–Сер.–Макс.)
Завод A	Обертова сушарка	60 т/год	Важка нафта ~ 10 кг/т сировини	Гарячий електростатичний фільтр та рукавний фільтр	Безперервні вимірювання Потоки газу: 53 070–66 350–75 510 $Нм^3$/год в середньому за день Пил: 0,02–0,21–3,59 мг/$Нм^3$ в середньому за день SO_2: 8–188–481 мг/$Нм^3$ в середньому за день
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]					

Вплив на різні компоненти довкілля
Рукавний фільтр та електростатичний пиловловлювач
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Гарячі електростатичні фільтри та рукавні фільтри, як правило, застосовні до нових і наявних установок з урахуванням відхідних газів сушарки. Типи сушарок, що використовуються, залежать від умов на окремих об'єктах, таких як надійність подання пари. Зазвичай плавильні заводи є надійними постачальниками пари, тому що процеси виплавки є безперервними процесами.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Вимоги екологічних норм.
- Відновлення сировини.

Приклад заводу
Завод A (Фінляндія).

Довідкова література
[378, Industrial NGOs 2012]

9.3.1.3 Процеси пірометалургійного перетворення

9.3.1.3.1 Технології зниження викидів від завантаження печей у виробництві первинного нікелю

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання закритих систем транспортування, таких як пневматичний конвеєр транспортування в щільній фазі та аерожолоб; система завантаження, що працює за принципом втрати ваги та пальник концентратів.

Технічний опис
У процесах виплавки кольорових металів дуже важливо покладатися на систему подання, щоб забезпечити максимально стабільне подання.

У пневматичному конвеєрі для транспортування в щільній фазі матеріал транспортується партіями без зрідження. Ця система транспортування має низькі вимоги до повітря транспортування.

Системи завантаження, що працюють за принципом втрати ваги забезпечують стабільний масовий потік на аерожолоб, який транспортує матеріал у пальник концентратів. Система завантаження, що працює за принципом втрати ваги є гравіметричною системою подання, що складається з живильного бункера і бункера-дозатора зі шнековим конвеєром під ним. Сировинна суміш падає з системи завантаження, що працює за принципом втрати ваги через завантажувальний жолоб на аерожолоб. Аерожолоб транспортує сировинну суміш у герметичному просторі до пальника концентратів печі зваженої плавки та вирівнює невеликі коливання кількості подання. Робота аерожолобу безшумна і не утворює пилу. Кут нахилу аерожолобу можна регулювати, а аерожолоб забезпечений автоматичним купольним клапаном. Зріджувальне повітря надходить разом із сировинною сумішшю в піч зваженої плавки. Система аерожолобів також може працювати у два етапи, при цьому перші аерожолоби збирають сировинну суміш з установок, що працюють за принципом втрати ваги та вивантажують її в завантажувальний жолоб, куди подається пил. Завантажувальний жолоб призначений для належного перемішування сировини перед транспортуванням через кінцевий аерожоблоб до пальника.

Пальники для концентратів спеціально розроблені для високого збагачення киснем та рівномірного розподілу концентрату у полум'ї реакції. Основною функцією пальника для концентратів є належне змішування твердої сировини та технологічного газу. Повне згорання сировинної суміші у суспензії забезпечується точним та одночасним регулюванням швидкості подання суміші та технологічного газу за допомогою сучасного пальника для концентратів.

Досягнуті екологічні переваги
Зменшення дифузних викидів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На заводі А газ-носій з пневматичного конвертера спрямовується на обробку відпрацьованих газів сушарки концентрату (гарячий електростатичний фільтр та рукавний фільтр), див. дані щодо викидів у Розділі 9.3.2.2.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Споживання енергії та витрати на вентиляцію дуже низькі.

Стимул до впровадження
Профілактика запилення на робочому місці.

Приклад заводу
Завод А (Фінляндія).

Довідкова література
[310, Makinen T., Taskinen P. 2006]

9.3.1.3.2 Технології запобігання та зменшення викидів від процесу DON

Опис
Технології, які слід розглянути:

- котел-утилізатор та гарячий електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1) з подальшим використанням мокрого електростатичного фільтру (див. Розділ 2.12.5.1.2), система видалення ртуті та миш'яку (див. Розділ 2.12.5.5) та установка з виробництва сірчаної кислоти (див. Розділи 2.12.5.4.1 та 2.12.5.4.2);
- мокрий скрубер (див. Розділи 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2) або рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4) з вдуванням вапна;

- гарячий циклон та скрубер Вентурі з розчином гідроксиду натрію;
- криті та обладнані ковпаками жолоби.

Технічний опис

Безперервний потік відхідних газів виходить з печі через шахту аптейку і охолоджується в котлі-утилізаторі з примусовою циркуляцією (також званим утилізаційним паровим котлом), що складається з радіаційної секції, за якою знаходиться конвективна секція. Утилізаційний паровий котел є котлом з примусовою циркуляцією, що утворює насичену пару. Частина димового пилу осідає у котлі. Решта димового пилу видаляється в електростатичному фільтрі. Пил, видалений у котлі-утилізаторі та в електростатичному фільтрі, повертається у піч зваженої плавки з первинною сировиною.

Відхідні гази мають високу та незмінну концентрацію діоксиду сірки, а SO_2 вилучається з газу переважно шляхом перетворення на сірчану кислоту на установці з виробництва сірчаної кислоти після знепилення та очищення газу. Можна повернути слабку кислоту, зібрану в секції промивання газу, назад у піч, вводячи її в шахту аптейку, щоб розкласти її назад на SO_2, кисень і воду, щоб утворений SO_2 можна було відновити на кислотній установці.

Шлакові та штейнові жолоби, випускні отвори та грануляційні ванни закриті ковпаками для уловлювання дифузійних газів. Вентиляційні гази очищають за допомогою мокрого скрубера або шляхом вдування сухого вапна перед рукавними фільтрами.

Газ грануляції очищається за допомогою розчину гідроксиду натрію та скрубера Вентурі високого тиску з великою кількістю труб. Ефективність видалення SO_2 переважно залежить від pH та співвідношення розчину і газу, а ефективність видалення пилу переважно залежить від тиску розчину в соплі скрубера. Якщо газ містить CO_2, pH має бути нижче 7, але якщо газ не містить CO_2, pH може бути вищим. Злив розчину від скрубера використовується для нейтралізації грануляційної води, а злив з процесу грануляції спрямовується на установку очищення стічних вод.

Розподільні системи управління (РСУ) використовуються для контролю швидкості подання вихідного матеріалу, критичних умов процесу та горіння, а також додавання газів. Декілька параметрів, таких як температура, тиск у печі (або розрідження) та обсяг або потік газу, вимірюються, щоб дозволити контролювати процеси, а для критичних параметрів передбачені аварійні сигнали.

Шлак і штейн аналізуються на основі проб, відібраних через певні проміжки часу, щоб регулювання умов процесу було якомога більш плавним.

Процес виплавки DON є безперервним, і транспортування в ковші не потрібно, а штейн та шлак передаються через криті та оснащені ковпаками жолоби.

Досягнуті екологічні переваги

- Зменшення дифузних викидів.
- Зменшення викидів пилу, металів та діоксиду сірки.
- Тепло, що регенерується котлом-утилізатором, використовується як пара та електроенергія. Тепло, що регенерується котлом-утилізатором, використовується як пара та електроенергія. Пара, отримана з котла-утилізатора, використовується для сушіння, інших виробничих потреб або виробництва електроенергії або централізованого теплопостачання.
- SO_2 відновлюється у вигляді продукту сірчаної кислоти на кислотній установці з використанням процесу подвійного контактування/подвійної абсорбції.
- Димовий пил, зібраний в системах видалення пилу (котел і електростатичний фільтр), повертається у плавильну піч.
- Збагачення киснем і використання властивої сировинному матеріалу хімічної енергії для виплавки дозволяє скоротити кількість палива, що використовується, і у зв'язку з цим зменшити викиди парникових газів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Технологічні відхідні гази плавильної печі Заводу А охолоджуються в котлі-утилізаторі; тепло регенерується у вигляді пари високого тиску, що розподіляється для використання в

інших процесах. Охолоджені відхідні гази потім спрямовуються в гарячий електростатичний фільтр для вловлювання пилу перед надходженням на кислотну установку і фіксацію SO_2.

На шлакових льотках застосовуються вентиляційні ковпаки; вентиляційне повітря перед випусканням в атмосферу спрямовується у централізований рукавний фільтр. Безперервне вдування сухого вапна використовується для зниження викидів SO_2 та для посилення процесу видалення пилу. Шлаковий жолоб закривається кришками для зменшення впливу на довкілля (дим). Шлак далі переробляється в дуговій електропечі для вилучення металів.

Вентиляційні гази штейнових льоток спрямовуються в скрубер Вентурі для зменшення викидів SO_2 за допомогою гідроксиду натрію. Гарячий циклон уловлює грубодисперсний пил перед скрубером; дрібнодисперсна фракція уловлюється в промивному розчині.

Дані про ефективність та функціонування наведено у Таблиці 9.17.

Таблиці 9.17: Викиди від процесу DON

Завод	Тип печі	Потужність	Уловлювання первинного газу	Очищення первинного газу	Джерела уловлювання вторинного газу	Очищення вторинного газу	Викиди (Мін.–Сер.–Макс.)
Завод A	Піч зваженої плавки DON, односопловий пальник, збагачення киснем 80–90 %	1320 т/день	Пара з котла-утилізатора та електростатичного фільтра 40 т/год	Кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції	Вентиляційні гази зі шлакових льоток	Рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна	Пил: 0,01–0,14–5 мг/нм^3 (безперервні) SO_2: 40–337–721 мг/нм^3 (безперервні)
					Вентиляційні гази зі штейнових льоток	Гарячий циклон скрубер Вентурі з NaOH	SO_2: 50–100–300 мг/нм^3 (періодичні вимірювання)

Джерело: [378, Industrial NGOs 2012], [409, Finland 2013] [378, Industrial NGOs 2012], [409, Finland 2013]

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії.
- Використання хімічних речовин.
- Системи вологого очищення газу утворюють відходи та стічні води, які потребують очищення перед скиданням.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зниження викидів пилу, металів та SO_2.

- Відновлення сірки.

Приклад заводу
Завод A (Фінляндія).

Довідкова література
[310, Makinen T., Taskinen P. 2006], [410, Mäkinen et al. 2005], [411, Taskinen et al. 2001]

9.3.1.3.3 Технології запобігання та зменшення викидів від дугових електропечей

Опис
Технології, які слід розглянути:

- допалювач (див. Розділ 2.12.5.2.1);
- мокрий скрубер (див. Розділи 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2) або рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4) з вдуванням вапна;
- гарячий циклон та скрубер Вентурі з розчином гідроксиду натрію;
- криті та обладнані ковпаками жолоби.

Технічний опис
Шлак періодично випускається з плавильної печі в охолодженому і покритому шлаковому жолобі через вже завантажений коксовий шар в електричну піч.

Шлак з електричної печі випускається, гранулюється, транспортується у зони зберігання шлаку та використовується у цивільному будівництві.

Відхідні гази електричної печі, що містять чадний газ, спочатку спалюють у камері згорання з водяним охолодженням з надлишком повітря, а потім охолоджують. Перед потраплянням у димову трубу газ очищається за допомогою введення $Ca(OH)_2$ та рукавного фільтра або шляхом скруберного очищення.

Досягнуті екологічні переваги
- Утворюється побічний продукт інертного шлаку.
- Зниження викидів CO та SO_2 у повітря за рахунок очищення газів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Технологічні відхідні гази печі для очищення шлаку Заводу A спалюються та охолоджуються повітрям для розбавлення перед спрямуванням у централізований рукавний фільтр. На шлакових льотках застосовуються вентиляційні ковпаки; вентиляційне повітря перед випусканням в атмосферу спрямовується у той самий централізований рукавний фільтр. Безперервне вдування сухого вапна використовується для зниження викидів SO_2 та для посилення процесу видалення пилу.

Жолоб для шлаку, що скидається, закривається кришками для зменшення впливу на довкілля (дим). Шлак, що скидається, гранулюється водою.

Вентиляційні гази штейнових льоток спрямовуються в скрубер Вентурі для зменшення викидів SO_2 за допомогою гідроксиду натрію. Гарячий циклон уловлює грубодисперсний пил перед скрубером; дрібнодисперсна фракція уловлюється в промивному розчині.

Дані про ефективність та функціонування наведено у Таблиці 9.18 та Таблиці 9.19 [378, Industrial NGOs 2012].

Таблиця 9.18: Викиди від дугової електричної печі

Завод	Тип печі	Сировинний матеріал	Очищення відхідних газів	Викиди (Мін.–Сер.–Макс.)
Завод A	Дугова електропіч, 3 електроди (Сьодерберга)	Шлак печі зваженої плавки	Допалювання після централізованого рукавного фільтра	Пил: 0,01–0,14–5 мг/Нм^3 (безперервні) SO_2: 40–337–721 мг/Нм^3 (безперервні)

Таблиця 9.19: Викиди газу грануляції зі шлакової льотки та штейнової льотки

Завод	Піч	Джерело вентиляції	Очищення відхідних газів	Викиди (Мін.–Сер.–Макс.)
Завод A	ДЕП	Шлакова льотка	Централізований рукавний фільтр із вдуванням сухого вапна	Пил: 0,01–0,14–5 мг/Нм^3 (безперервні) SO_2: 40–337–721 мг/Нм^3 (безперервні)
		Газ грануляції зі штейнової льотки	Гарячий циклон Скрубер Вентурі з NaOH	SO_2: 20–80–250 мг/Нм^3 (періодичні вимірювання)

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Використання хімічних речовин.
- Системи вологого очищення газу утворюють відходи та стічні води, які потребують очищення перед скиданням.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Завод A (Фінляндія та завод у Форталезі (Бразилія).

Довідкова література
[310, Makinen T., Taskinen P. 2006], [410, Mäkinen et al. 2005], [411, Taskinen et al. 2001]

9.3.1.3.4 Технології запобігання та зменшення викидів від процесу конвертування нікелю

Опис
Технологіями, які слід розглянути, є використання ковпаків-вловлювачів, виконання операцій під негативним тиском (див. Розділ 2.12.4.3) та використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Процес конвертування нікелю на Заводі F у Франції складається з окиснення та сульфідування сирого феронікелю з плавильної печі з отриманням нікелевого штейну. Для цієї операції використовуються два конвертери Пірса-Сміта у двоетапному режимі з переробленням шлаку. Штейн з вмістом нікелю далі обробляється на іншому французькому заводі з виробництва високочистих солей нікелю і металевого нікелю за допомогою хлоридного вилуговування й електровідновлення. Залізо видаляють у вигляді хлориду заліза шляхом вилучення розчинником, а також вилучають деяку кількість хлориду кобальту.

Під час продування технологічний газ викидається з конвертера та вловлюється. Витяжний вентилятор регулюється таким чином, щоб підтримувати тиск у горловині конвертера нижче за атмосферний тиск, щоб уникнути виходу газу за межі системи видалення диму. Система видалення диму підключена до рукавних фільтрів, розташованих після неї. Під час періодів випускання обладнання для видалення газу також регулюється таким чином, щоб запобігти викиду в конвертерний проліт.

Потім вихлопний газ охолоджується теплообмінником із природною або примусовою конвекцією, а уловлений пил фільтрується рукавним фільтром.

Викиди SO_2 не становлять проблему, тому що їх концентрація в димі незначна через термодинамічну рівновагу процесу.

Досягнуті екологічні переваги
- Пил з високим вмістом металів може вловлюватися з викидів у повітря і перероблятися в процесі плавки руди.
- Викиди твердих часток у повітря значно зменшуються.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Повідомляється про рівні викидів пилу нижче 15 мг/Нм^3.

Рідкі відходи не є значними, оскільки процес очищення газу є сухим процесом і утворення рідких відходів відбувається лише внаслідок охолодження певних частин обладнання (конденсація).

Найбільшу кількість відходів складає твердий шлак, який становить близько 75 000 тонн з річним виробництвом нікелевого штейну 15 000 тонн. Шлак випускається з 60-тонного конвертера, а потім транспортується до спеціально відведеного місця, де йому дають охолонути до температури навколишнього середовища. Нарешті, цей шлак (віднесений до категорії відходів) передається на спеціально відведену зону для зберігання.

Пил від операцій регулювання викидів в атмосферу вловлюється на наступних етапах. Цей пил, що складається переважно з оксидів металів та неметалів (FeO, NiO, MgO та SiO_2), вловлюється у рукавних фільтрах. Пил потребує спеціальної обробки для зв'язування для подальшого повторного введення в процес (на ранньому етапі на заводі з плавки руди). Серед різних варіантів в'язкої речовини можна використовувати бетон, оскільки він простий в поводженні та експлуатації.

Іншими твердими відходами, що утворюються в процесі конвертування, є охолодь в ковші та брухт. Ці матеріали переробляються у 60-тонному конвертері.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Вимоги екологічних норм.

Приклад заводу
Завод F (Франція).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.3.1.4 Гідрометалургійні процеси рафінування нікелю

9.3.1.4.1 Технології зниження викидів від атмосферного вилуговування та вилуговування під тиском

Опис
Технології, які слід розглянути:

- герметизоване або закрите технологічне обладнання (реактори, відстійники та автоклави/ємності під тиском);
- кисень або хлор замість повітря на етапах вилуговування для мінімізації потоку технологічного газу та максимізації відновлення сировини;
- рукавні фільтри (див. Розділ 2.12.5.1.4) або мокрі скрубери (див. Розділи 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2);
- безперервний моніторинг та контроль критичних параметрів обладнання для вилуговування та очищення.

Технічний опис
Технологічне обладнання для вилуговування (реактори, відстійники, автоклави/ємності під тиском, промивні баки) герметизується, а технологічні гази вловлюються та обробляються в обладнанні для боротьби з викидами, такому як рукавні фільтри або мокрі скрубери (див. Розділ 2.12.5), перед викидом в атмосферу Залишки з обладнання для боротьби з викидами повторно вилуговуються, а стічні води подаються на етапи вилуговування, щоб замінити або зменшити споживання води.

Безперервний моніторинг та контроль критичних параметрів процесу вилуговування та обладнання для боротьби з викидами необхідні для максимального вилучення нікелю та водночас для мінімізації викидів.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу та металів.
- Більш ефективне вилучення нікелю шляхом рециркуляції залишків з операцій очищення.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Основні дані про ефективність та функціонування установок атмосферного вилуговування та вилуговування під тиском наведені у Таблиці 9.20 та Таблиці 9.21.

Таблиця 9.20: Викиди від атмосферного вилуговування та вилуговування під тиском на основі сульфатів

Завод	Тип процесу	Потужність	Метод усунення забруднення довкілля	Нікель (мг/Нм^3)			Метод отримання даних	Тип середнього значення
				Мін.	У середньому	Макс.		
Завод C	Атмосферне вилуговування та вилуговування під тиском/сульфатне/кисневе	66 000 т Ni/рік	Мокрі скрубери для газу	0,01	0,2	1,3	Періодичний моніторинг (12 разів на рік)	Середнє значення за період відбору проб
				< 1000 кг/рік				
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]								

Таблиця 9.21: Викиди від атмосферного вилуговування та вилуговування під тиском з використанням газоподібного хлору

Завод	Тип процесу	Потужність	Метод усунення забруднення довкілля	Хлор (кг/год)			Метод отримання даних	Тип середнього значення
				Мін.	У середньому	Макс.		
Завод E	Атмосферне вилуговування та вилуговування під тиском — з використанням газоподібного хлору	92 000 т Ni/рік	Мокрі скрубери для газу	0,1	0,23	0,87	Періодичний моніторинг (52 рази на рік)	Середнє значення за період відбору проб
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]								

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії (незначне збільшення споживання енергії під час використання мокрих скруберів).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Використання рукавних фільтрів та мокрих скруберів є загальнозастосовним.

Економічні аспекти
У 2009 році Завод C ввів в експлуатацію нові мокрі газові скрубери вартістю близько 500 000 євро кожен.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія сировини.

Приклади заводів
Завод C (Фінляндія) та Завод E (Норвегія).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.3.1.4.2 Технології зниження викидів від рафінування шляхом вилучення розчинником (сульфатний спосіб)

Опис
Технологіями зниження викидів від вилучення розчинником (ВР) у процесі рафінування розчинів з етапу вилуговування є одна або комбінація технологій, зазначених нижче.

Для мішалок з малими зсувними зусиллями:

- використання мішалки з малими зсувними зусиллями для суміші розчинника/води для оптимізації розміру крапель і мінімізації контакту з повітрям для зменшення кількості розчинника, що випаровується, і сприяння розчинення комплексу металу.

- використання покриття для мішалки, сепаратора та етапів відстоювання для зниження викидів ЛОС у повітря та перенесення їх у водну фазу;
- використання обладнання для очищення вентиляційного повітря (конденсатори, холодильники, вугільні фільтри та біофільтри);
- використання мішалок з малими зсувними зусиллями та насосів із регульованою швидкістю для зниження споживання енергії системою.

Для мішалок з великими зсувними зусиллями:

- звичайні мішалки-відстійники з великими насосно-змішувальними турбінними мішалками з великими зсувними зусиллями;
- повністю герметизовані резервуари запобігають викидам і підключаються до центрального витяжного вентилятора;
- прості операції очищення за допомогою градирень з подальшим застосуванням відстійного каналу для вловлювання сконденсованих ЛОС перед вентилятором.

Технічний опис
Герметизовані або криті системи використовуються для запобігання викиду парів розчинника з гільзи вилучення розчинником.

Можливе також складна обробка вентиляційного повітря, але через великі обсяги повітря, низький вміст ЛОС і високу вартість вона зазвичай не застосовується. Градирня встановлена у вентиляційній трубі з зони завантаження та очищення. Вода, що містить ЛОС, потім може використовуватися як живильна вода в процесі ВР. Викиди ЛОС від операції вилучення приблизно пропорційні кількості вентиляційного повітря. Тому, щоб підтримувати потік повітря в системі вентиляції на якомога нижчому рівні без шкоди для робочого середовища для операторів, важливо підтримувати якомога нижчі рівні викидів.

Досягнуті екологічні переваги
- Мінімізація викидів ЛОС у повітря.
- Мішалки з малими зсувними зусиллями та насоси з регульованою швидкістю для зниження споживання енергії системою.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Основні дані про ефективність та функціонування установок для вилучення розчинником у виробництві нікелю наведено у Таблиці 9.22.

Таблиця 9.22: Викиди ЛОС від рафінування шляхом вилучення розчинником

Завод	Тип процесу	Потужність	Метод усунення забруднення довкілля	ЛОС (мг/Нм^3)			Метод отримання даних	Тип середнього значення
				Мін.	У середньому	Макс.		
Завод C	Co та CaSX/ сульфати	Для обробки до 140 м^3/год розчину сульфату нікелю	Герметизовані/ криті гільзи, мішалка з малими зсувними зусиллями, насос із регульованою швидкістю	3	42	134	Періодичний моніторинг (двічі на рік)	Середнє значення за період відбору проб
				< 100 т/рік				
				3,5 кг/год	4,9 кг/год	7,0 кг/год		
				< 70 т/рік				
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]								

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Кришки гільзи застосовні для нових та наявних гільз для вилучення.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів ЛОС.

Приклади заводів
- Мішалки з малими зсувними зусиллями: Завод C (Фінляндія).
- Мішалка з великими зсувними зусиллями: Завод E (Норвегія).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.3.1.4.3 Технології зниження викидів від процесу рафінування нікелевого штейну з використанням вилуговування хлоридом заліза з хлором (хлорний спосіб)

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис
Процес рафінування нікелевого штейну описаний у Розділі 9.1.1.3.8.

Досягнуті екологічні переваги
- Побічні продукти (або відходи) продаються як проміжні хімічні продукти для повторного використання.
- Утворення непридатних для повторного використання технологічних відходів мінімізоване.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Основні екологічні показники процесу рафінування на Заводі B продемонстровані нижче (середні дані за період із 2007 по 2011 рік).

Споживання енергії у процесі рафінування на Заводі B знаходиться в межах 20 ГДж на тонну виробленого нікелю.

Таблиця 9.23: Викиди пилу від процесу рафінування нікелевого штейну (хлорний спосіб) на Заводі B

Тип процесу	Метод усунення забруднення довкілля	Нікель (мг/Нм^3)			Метод отримання даних	Тип середнього значення
		Мін.	У середньому	Макс.		
Виробництво солей хлориду нікелю	Рукавний фільтр	0,04	0,53	1,4	Періодичний моніторинг	Середнє значення за період відбору проб
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]						

У процесі рафінування на Заводі B не утворюється значного обсягу твердих залишків. Загальний обсяг утворення твердих відходів становить 22 кг/т Ni.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Інформацію не надано.

Приклади заводів
Завод B (Франція).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.3.1.4.4 Технології зниження викидів, що утворюються під час електровідновлення

Опис
Технології, які слід розглянути:

- безперервний моніторинг критичних параметрів процесу, таких як температура, потік та використання електроенергії;
- вловлювання та повторне використання газоподібного хлору та використання незношуваного анода;
- покриття камер полістироловими гранулами для запобігання виходу аерозольних часток у повітря;
- використання піноутворювальних агентів для покриття камер стійким шаром піни.

Технічний опис
У процесі електровідновлення утворюються гази на аноді і може утворюватися туман, що містить метал, через бульбашки в електроліті, що лопаються на поверхні розчину.

Під час електровідновлення на основі хлориду іони хлориду будуть притягуватись до анодів та викидатися у вигляді газоподібного хлору. Анод, так званий незношуваний анод, поміщений в діафрагму та закритий ковпаком-уловлювачем. Газоподібний хлор, що збирається безпосередньо з анода, вдувається в центральну систему і повертається на етап вилуговування. Під час електровідновлення полістиролові гранули використовуються як покриття поверх камер, щоб запобігти попаданню туману від бульбашок у розчині електроліту, які лопнули на поверхні, в атмосферу корпусу та, нарешті, у повітря. Важливо, щоб вся камера була повністю покрита полістироловими гранулами. Електроліт розділяється на дві фази після проходження через резервуар електровідновлення. Аноліт, що містить хлор, з анодів транспортують у резервуар для видалення хлору, а потім змішують з анолітом, що не містить хлор, зі зливу в резервуарі електровідновлення. Зрештою, газоподібний хлор повторно використовується в процесі.

Під час електровідновлення на основі сульфату відбувається наступна реакція: $NiSO_4 + H_2O \rightarrow Ni + H_2SO_4 + ½\ O_2$. Розчин сульфату нікелю подається в діафрагмові мішки, де розташовані катоди. Нікель осідає на катодах. Іони сульфату вступають в реакцію з водою та утворюють сірчану кислоту, яку повертають на етап вилуговування. Газоподібний кисень з анода викидається в робоче середовище та через вентиляцію в атмосферу. Анодні гази містять нікель та кислотні тумани. Викиди цих речовин мінімізовані збереженням стабільного шару піни на поверхні розчину в камерах.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів газоподібного хлору, кислоти та металів у повітря.
- Зниження споживання енергії (безперервний моніторинг та оптимізація параметрів).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
На Заводі E газоподібний хлор збирається і повторно використовується без прямого викиду хлору в повітря в результаті електровідновлення (непрямі викиди в повітря матимуть місце в результаті повторного використання хлору на інших етапах вилуговування або очищення, і вони враховуватимуться на відповідному етапі процесу). Споживання енергії у процесі рафінування становить близько 20 ГДж/Мт виробленого нікелю.

Таблиця 9.24: Викиди від процесу електровідновлення

Завод	Тип процесу	Потужність	Метод усунення забруднення довкілля	Нікель (мг/Нм³)			Метод отримання даних	Тип середнього значення
				Мін.	У середньому	Макс.		
Завод C	Електровідновлення на основі сульфату	20 000 т Ni/рік	Стабільний шар піни на поверхні розчину в камерах	0,3 1500 кг/рік	0,5	0,8 2500 кг/рік	Періодичний моніторинг (24 рази на рік)	Середнє значення за період відбору проб
Завод E	Процес гідрометалургійного очищення та електровідновлення на основі хлору	92 000 т Металевий Ni/рік	Покриття камер електровідновлення полістироловими гранулами для запобігання викидам кислотного/металевого туману в повітря	0,3	880 кг/рік	0,5 1500 кг/рік	Періодичний моніторинг (3 рази на рік)	
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]								

Вплив на різні компоненти довкілля
Дуже незначне збільшення споживання енергії для вловлювання газоподібного хлору.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
У Європі існує дуже обмежена кількість підприємств, що виконують електровідновлення на основі хлору для виробництва нікелю (усі відомі підприємства надані в ДДНДТ). Це обмежить актуальність збору та повторного використання хлору в інших галузях промисловості або виробничих майданчиках.

Економічні аспекти
Незношувані аноди передбачають додаткові витрати на обслуговування та закупівлю.

Внутрішнє повторне використання газоподібного хлору та сірчаної кислоти знижує потребу в їх закупівлі для процесу.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів газоподібного хлору, кислоти та металів у повітря.

Приклади заводів
Завод C (Фінляндія) та Завод E (Норвегія).

Довідкова література
[412, Norwegian Environment Agency 2012]

9.3.1.4.5 Технології зменшення викидів у повітря від карбонільного процесу

Опис
Технології, які слід розглянути:

- вловлювання відпрацьованих газів (див. Розділ 2.12.4.3);
- допалювач (див. Розділ 2.12.5.2.1);
- рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4).

Технічний опис

Відхідні гази карбонільного процесу (що містять суміш чадного газу і карбонілу нікелю, а також водень), а також гази, що утворюються в результаті продування системи та продування заводу, вловлюються і направляються в центральний колектор відхідного газу. Потім колектор відхідного газу подає відпрацьовані гази під контролем в камеру згорання для термічного окиснення.

Камера згорання складається зі сталевого кожуха з повітряним охолодженням, футерованого теплостійким вогнетривким матеріалом. Камера згорання обігрівається двома високоінтенсивними пальниками, один з яких працює на природному газі (паливний пальник), а інший — на відпрацьованому газі (залишковий водень з етапу відновлення у печі). Газові пальники ідентичні за конструкцією та встановлюються тангенціально до печі; ця конструкція сприяє вихровій дії камери згорання, сприяючи повному згоранню. Кожен з пальників має концентричні кільця, одне для водяного охолодження пальника, а інше для подання припливного повітря для охолодження гарячих газів, якщо це необхідно. У процесі згорання чадний газ та карбоніл нікелю змішуються з повітрям у пальнику та спалюються.

Оксид нікелю, що утворився, є твердим і знаходиться у вигляді дрібних часток пилу в потоці газоподібних продуктів згорання. Нетоксичний відпрацьований (продувний) водень подається в колектор як допоміжне паливо для пальника на відпрацьованому газі. Здійснюється моніторинг тиску відпрацьованого водню, та він регулюється гідравлічним закривом на рівні землі. У разі згасання полум'я камера з закривом вентилюється в атмосферу через точку скидання. Газоподібний водень вступає в реакцію, як описано нижче.

Для знищення токсичних та легкозаймистих газів без перегрівання камери згорання застосовуються три основні елементи управління:

- Перший елемент контролю полягає у забезпеченні підтримання мінімальної температури для окиснення будь-яких присутніх токсичних газів; це робиться шляхом регулювання потоку газу на паливний пальник.
- Другий елемент контролю призначений для того, щоб максимальна робоча температура камери згорання не була надто високою для матеріалів, які використовуються для виготовлення печі. Для регулювання цієї температури збільшують подання первинного повітря у пальник циркуляційного чадного газу, і, якщо цього недостатньо, в пальник подають вторинне повітря.
- Третій елемент контролю призначений для забезпечення того, щоб максимально допустима температура газів, що виходять із камери згорання, не перевищувалась; коли температура наближається до максимального рівня, пара заслінок починає відкриватися, пропускаючи охолоджувальне повітря в піч і тим самим розбавляючи гарячий газ холодним повітрям.

Випускний канал камери згорання обладнаний заглушками із жаростійкої сталі. Кут заглушок можна змінювати, щоб регулювати потік газоподібних продуктів згорання з камери і, за необхідності, перекривати випускний канал. Випускний канал входить у витяжку. Газоподібні продукти згорання та тверді частки проходять через випускні заглушки у випускний колектор, який подає їх у систему газових фільтрів.

Потік газоподібних продуктів згорання проходить через систему фільтра зі зворотним продуванням, яка складається з баків фільтрів, кожен з яких має заслінку на вході та виході. Кожен фільтр містить рукавні фільтри, здатні утримувати частки пилу до субмікронного розміру, але дозволяють проходження основного газового потоку. Пилові фільтри оснащені системою виявлення розриву мішка і самоочищаються за допомогою системи зворотного імпульсного струминного очищення.

Вловлені частки опускаються в бункери, розташовані під фільтрами, які розвантажуються через поворотні клапани в резервуари для суспензії. Тут пил змішується з безперервним потоком води. Отримана суспензія випускається на установку з очищення стічних вод рафінувального заводу.

Досягнуті екологічні переваги

- Зниження викидів нікелю та вуглекислого газу в повітря.
- Вилучення нікелю з потоку відпрацьованих газів, вдосконалення використання

природних ресурсів.
- Повторне використання відпрацьованого газоподібного водню з карбонільного процесу у якості допоміжного палива для спалювання.
- Отримання стабілізованого залишку з печі, який можна обробити шляхом вилучення нікелю під високим тиском.
- Після вилучення нікелю під високим тиском можна виконувати вилучення кобальту/міді. Після вилучення міді/кобальту залишається висока концентрація МПГ (металів платинової групи). Потім можна виконувати вилучення МПГ, що призводить до повного вилучення металів з руди.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Дані про викиди карбонільного процесу на Заводі D наведено у Таблиці 9.25.

Таблиця 9.25: Викиди від карбонільного процесу

Завод	Тип процесу	Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Мін. ($мг/нм^3$)	У середньому ($мг/нм^3$)	Макс. ($мг/нм^3$)	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Завод D	Карбонільний процес	Допалювач з подальшим застосуванням рукавного фільтра	Пил	0,03	0,98	7,4	Безперервний моніторинг	Середньо-добове значення
			Ni	0,003	0,06	0,3	Періодичний моніторинг (двічі на рік)	Середнє значення за період відбору проб
			CO	265	297	329		
			SO_2	13,6	18,5	23,4		
			NO_X	4,9	6,3	7,7		
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]								

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії (споживання природного газу).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Повне окиснення токсичного газу карбонілу нікелю до часток оксиду нікелю.
- Високоефективне вилучення металів з первинного карбонільного процесу в поєднанні з подальшим вилученням металів з матеріалу, вилученого в процесах очищення відхідних газів і стічних вод.
- Вимоги екологічних норм.

Приклади заводів
Завод D (Велика Британія)

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.3.1.4.6 Технології зниження викидів від процесів відновлення воднем у виробництві нікелевого порошку та нікелевих брикетів (процеси під тиском)

Опис
Технології, які слід розглянути:

- герметизоване або закрите технологічне обладнання (реактори, відстійники та автоклави/ємності під тиском, конвеєр для порошку, силоси для продуктів);
- рукавні фільтри (див. Розділ 2.12.5.1.4) або мокрі скрубери (див. Розділи 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2);
- безперервний моніторинг та контроль критичних параметрів процесів відновлення та обладнання для очищення.

Технічний опис
В цілому процес відновлення воднем виглядає наступним чином (детальніший опис процесу наданий у Розділі 9.1.1.3). Очищений розчин нікелю після вилучення розчинником використовується як «сировина» для відновлення воднем. За необхідності до розчину сульфату нікелю додають аміак та сульфат амонію. Розчин змішаної сировини відновлюється воднем в автоклавах з отриманням порошку металевого нікелю. Порошок продається або може бути спечений у брикети. Сірчана кислота, що утворюється у процесі відновлення, нейтралізується аміаком. Розчин сульфату амонію, що утворився, має невелику кількість нікелю і кобальту, які осаджуються сірководнем для подальшої обробки. Сульфат амонію вилучається шляхом кристалізації та сушіння.

Процес відновлення є періодичним процесом і відбувається в різних автоклавах за високої температури (близько 200 °C) та під високим тиском (близько 30 барів). Гарячі гази автоклавів, що містять воду, обробляються в скруберах з використанням сірчаної кислоти у якості промивного реагенту. Умови процесу ускладнюють вилучення аміаку. Безперервний моніторинг та контроль критичних параметрів процесу та скрубера необхідні для зниження викидів аміаку в повітря.

Виробництво нікелевих брикетів із порошку передбачає кілька етапів, на яких можливе утворення та викид пилу в робоче середовище. Всі конвеєри, силоси та технологічне обладнання повинні бути закриті, а відхідні гази повинні очищатися за допомогою очисного обладнання.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання або зниження викидів нікелю та аміаку в повітря.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Основні дані про функціонування та ефективність щодо процесу відновлення воднем наведені у Таблиці 9.26.

Таблиця 9.26: Викиди від процесів відновлення воднем у виробництві нікелевого порошку та брикетів

Завод	Тип процесу	Потужність	Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Мін.	У середньому	Макс.	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Завод C	Відновлення воднем, виробництво нікелевого порошку та брикетів	40 000 т/рік	Рукавні фільтри (для нікелевого пилу) та мокрі скрубери (для аміаку)	Ni (мг/Нм^3)	0,05	0,6	3,7	Періодичний моніторинг (12 разів на рік)	Середнє значення за період відбору проб
					< 1000 кг/рік				
					< 200 т/рік				
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]									

Вплив на різні компоненти довкілля
Незначне збільшення споживання енергії під час використання очисного обладнання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології зниження викидів у повітря застосовні до нових та наявних заводів з відновлення воднем.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Зменшення викидів.

Приклади заводів
Завод C (Фінляндія).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.3.1.5 Стічні води

9.3.1.5.1 Технології запобігання утворенню стічних вод

Див. Розділ 2.12.6.1.

9.3.1.5.2 Очищення відпрацьованих вод

Опис
Технологіями, які необхідно, розглянути для обробки стічних вод, за винятком охолоджувальної води, перед скиданням, є:

- технології попередньої обробки в деяких випадках;
- хімічне осадження;
- седиментація та флотація;
- фільтрування.

Технічний опис
Виробництво кольорових металів пов'язане з утворенням різних рідких відходів.

Технології попередньої обробки
У деяких випадках, залежно від джерел, може знадобитися попередня обробка стічних вод.

Стічні води, зібрані в каналізаційну систему, зазвичай забруднені грубодисперсними та завислими частками, розчиненими металами та солями. Вони можуть складатися з дощової та зрошувальної води, що стікає з дахів, доріг та майданчиків для зберігання, дренажної води від відновлення підземних вод та градирень, води від операцій промислового очищення та нейтральних технологічних вод

Грубодисперсні фракції в каналізаційній воді, що плавають, повинні бути видалені за допомогою сит перед подальшим очищенням води. Грубодисперсні фракції, що осідають, у каналізаційній воді спочатку видаляють у буферному басейні або відстійнику шляхом відстоювання, можливо, з додаванням поліелектроліту. Скребок збирає осілі частки, а зібраний осад потім фільтрують у фільтрпресі або в відцентровому фільтрі. Оскільки цей осад зазвичай містить цінні метали, він повторно використовується у виробничому процесі. Вода, отримана в результаті цієї попередньої обробки, далі обробляється, як передбачено для стічних вод, що утворюються у виробництві та подальшій обробці металів.

Стічні води нікелевого виробництва можуть містити завислі частки, кислоти, розчинені метали та солі. Крім того, температура води може бути причиною для занепокоєння, як технологічної вихідної води, так і охолоджувальної води.

Хімічне осадження
Розчинені метали та інші розчинені елементи видаляються, з попереднім перевівши їх у нерозчинний стан.

- Додавання основи (наприклад, гідроксиду натрію або кальцію) сприяє осадженню нерозчинних гідроксидів металів, як правило, з pH 10-11,5.
- Додавання гідроксиду кальцію (вапняного молока) призведе до спільного осадження сульфатів, присутніх у стічних водах, у вигляді гіпсу та фторидів у вигляді фториду кальцію. У разі застосування за pH +/-1 можна отримати тип гіпсу, досить чистий для повторного використання.
- Додавання сульфіду (наприклад, динатрію сульфіду, гідросульфіду натрію, тримеркаптосульфотріазину (TMC)) у лужному середовищі призводить до осадження металів у вигляді нерозчинних сульфідів металів. Цю технологію можна використовувати після осадження гідроксиду для очищення стічних вод від Tl+.
- Додавання заліза (сульфату заліза або трихлористого заліза) забезпечує очищення води від миш'яку; одночасне додавання основи може бути необхідне підтримання оптимального pH на рівні +/- 10.
- Осадження можливе завдяки додаванню поліелектроліту, який змушує частки стикатися та об'єднуватися для утворення більших часток.

Для комплексних стічних вод може знадобитися багатоетапне очищення за різних рівнів pH та комбінація описаних вище технологій.

Седиментація/флотація та фільтрація
Завислі частки, осаджені метали, гіпс та фторид кальцію видаляються зі стічних вод за допомогою відстійників. Для стимуляції цього процесу додають поліелектроліт. Осад, який відокремлюють від очищеної води у відстійнику, фільтрують у фільтрпресі або відцентровому фільтрі, щоб отримати зневоднений осад, який можна або утилізувати, або повторно ввести у процес виробництва металів для вилучення цінних металів. На більших заводах очищення різних потоків стічних вод здійснюється в кінці виробничого циклу, де вони групуються та обробляються окремо, щоб максимізувати вилучення металів шляхом утворення двох різних осадів.

Перед скиданням pH очищеної води, можливо, буде потрібно відрегулювати шляхом додавання соляної кислоти або введення CO_2.

Коли температура очищених стічних вод або безконтактної охолоджувальної води зависока для скидання або повторного використання, воду слід охолодити (градирні, теплообмінники). Відкриті градирні не слід застосовувати для охолодження неочищених стічних вод, щоб запобігти утворенню металевого вмісту. З цієї причини необхідно враховувати провідність, щоб уникнути корозії та стирання.

Після обробки очищена вода може бути повторно використана для охолодження, зрошування та деяких технологічних процесів. Вміст солей в очищеній воді може створити проблеми для повторного використання, наприклад, осадження кальцію у теплообмінниках. Проте, необхідно звернути увагу на ризик розвитку легіонели у цій (зазвичай теплій) воді. Це може значно обмежити повторне використання води.

Процес очищення стічних вод повинен контролюватись належним вимірюванням відповідних параметрів, щоб дозувати добавки або регулювати швидкість потоку. Вимірювання можуть бути безперервними, наприклад, вимірювання pH, окисно-відновного потенціалу, швидкості потоку та провідності. Такі вимірювання допоможуть безпосередньо управляти дозуванням добавок. Вміст металу можна визначити з проби, відібраної пропорційно швидкості потоку, наприклад, з остаточного контролю стічних вод, або з випадкових проб, відібраних під час процесу управління технологічним процесом. Аналіз можна швидко провести за допомогою АА (атомної абсорбції) або ІПП (індуктивно пов'язаної плазми); остання технологія дозволяє нижчі границі виявлення та ширший діапазон параметрів. У разі наявності буферного резервуара і коли час перебування стічних вод в процесі відносно довгий, точкових проб і негайного аналізу може бути достатньо, щоб відреагувати та скоригувати процес.

Досягнуті екологічні переваги

- Видалення з відпрацьованих вод завислих та грубодисперсних часток, металів, кислот, сульфатів та фторидів, що робить їх придатними для скидання або повторного використання.
- Утворення осаду для повторного використання (чистий гіпс для продажу, осад із цінними металами, який можна повторно використовувати у виробничому процесі), що дозволяє уникнути утворення відходів, що підлягають утилізації.
- Утворення осаду з високою концентрацією шкідливих металів (кадмій, миш'як), що зменшує кількість відходів, що підлягають утилізації.
- Утворення води, придатної для повторного використання на заводі, наприклад, для зрошення, охолодження, промислового очищення та деяких технологічних процесів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Установка з очищення відпрацьованих вод на Заводі D призначена для очищення всіх технологічних стічних вод (поверхневі та дорожні дренажні води, розливи на заводі, промивні води, стоки з дахів та дощова вода), що збираються на вхідному відстійнику. Фільтрат з операцій разом з будь-яким поверненням з аварійного резервуара також збирається у цьому вхідному відстійнику.

Неочищені стічні води перекачуються до резервуара-дозатора каустичної соди, де pH підвищується до 10,2 додаванням каустичної соди. Потік стічних вод з відрегульованим рівнем pH надходить у згущувач, де тверді часткам дають осісти із суспензії на основу згущувача.

Очищена вода переливається через злив у резервуар для освітленої води, де рівень pH доводиться до 9,2 за допомогою введення вуглекислого газу. Потім вода фільтрується за допомогою неоднорідних піщаних фільтрів.

Кожен із піщаних фільтрів піддається процесу промиванню кожні 24 години з використанням зріджувального повітря для випускання зібраних твердих часток та забезпечення можливості промивання фільтра промивною водою з резервуара для освітленої води. Вода зворотного промивання піщаних фільтрів збирається в резервуарі для збору промивної води, а потім перекачується рециркуляційними насосами у вхідний відстійник. Фільтрована вода надходить у резервуар-дозатор кислоти, де її рівень pH доводиться до значення від 6 до 9 за допомогою вуглекислого газу або сірчаної кислоти перед скиданням в річку. У разі високого або низького рівня pH скидання здійснюється в аварійні резервуари для зберігання.

Осілі тверді частки зі згущувачів передаються в резервуари для зберігання суспензії перед

фільтруванням з використанням пластинчастого та рамного фільтрпреса. Фільтрат повертається у вхідний відстійник. Осад на фільтрі пресують і сушать у стрічковій сушарці з використанням гарячого повітря, що циркулює, на сушильній стрічці. Висушені тверді частки підіймаються в бункер для продукції, потім упаковуються в мішки для транспортування і подальшої обробки.

Завод D повідомляє про викиди, показані в Таблиці 9.27.

Таблиця 9.27: Викиди у воду від Заводу D

Забруднювальна речовина	Мін. (мг/л)	Сер. (мг/л)	Макс. (мг/л)	Метод отримання даних
Ni	0,1	0,56	3,2	Періодичний комплексний відбір проб та вимірювання (дві проби на добу для отримання одного композита)
Розчинний Ni	0,1	0,41	2,5	
Co	0,1	0,1	0,2	
Cu	0,1	0,1	0,2	
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]				

Заводи C та A працюють в одному районі. На Заводі A є заводи з виплавки міді та кобальту, а на Заводі C є завод з рафінування нікелю (вилуговування, вилучення розчинником, електровідновлення, відновлення воднем) та хімічний завод на території. Обидві компанії мають установки з очищення відпрацьованих вод. Завод A очищає частину поверхневих та стічних вод Заводу C.

Установка з очищення відпрацьованих вод Заводу A описана в Розділі 3.3.6.2. Значення викидів, пов'язаних з цим заводом, можна знайти у Таблиці 9.28.

Таблиця 9.28: Викиди у воду від Заводу A

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Мінімум (мг/л)	Середнє значення (мг/л)	Максимум (мг/л)	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Завод A (Завод з виплавки міді та нікелю)	1) Первинне відстоювання 2) Осадження: метали осаджуються у вигляді гідроксидів металів за допомогою гідроксиду натрію (pH приблизно 10,5) 3) Очищення Actiflo©: I) Додається сульфат заліза (коагулянт) II) Мікропісок вводиться у потік і перемішується до отримання однорідного розчину III) У потік додається флокулянт IV) Тяжкі пластівчасті згустки осідають на дно відстійника, а чиста вода виходить з відстійника у вигляді зливу. Відстійники обладнані тонкими шарами для поліпшення розділення. Осад з дна відстійника перекачується в гідроциклони, які відокремлюють пісок назад у процес, а металевий осад видаляється шляхом первинного відстоювання, звідки він перекачується у відстійник для осаду та транспортується на завод із концентрування шлаку.	Cu	< 0,01	0,0	1,8	Одноразовий комплексний відбір проб	Середньодобове значення
		Ni	< 0,01	0,06	1,9		
		Zn	< 0,01	0,02	0,4		
		Pb	< 0,008	0,009	0,05		
		As	< 0,01	0,02	0,4		
		Cd	< 0,001	0,003	0,08		
		Hg	< 0,0001	0,0002	0,006		
		Швидкість потоку	490 $м^3$/год	1348 $м^3$/год	3100 $м^3$/год	Безперервний моніторинг	В середньому за рік

Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вихідний матеріал на установку з очищення відпрацьованих вод Заводу C складається з технологічних вод хімічного заводу, поверхневих вод та технологічних вод рафінувального заводу. Очищення води полягає в наступному:

- контроль pH за допомогою гідроксиду натрію або карбонату натрію;
- за необхідності використовується флокулянт та коагулянт;
- відстоювання: тверді частки повертаються на етап вилуговування; вода проходить через піщаний фільтр перед надходженням у відстійники та скиданням у річку Кокемяенйокі.

Таблиця 9.29: Викиди від Заводу C

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Мін. (мг/л)	У середньому (мг/л)	Макс. (мг/л)	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Завод C (завод з рафінування нікелю та хімічний завод)	контроль рівню pH, флокуляція та коагуляція зі необхідності, відстійники, піщані фільтри	Ni	0,02	0,2	0,9	Одноразовий комплексний відбір проб	Середньод обове значення
		Cu	< 0,01	0,02	0,4		
		Zn	< 0,01	0,2	0,8		
		U	< 0,01	0,2	0,6		
		Pb	< 0,01	0,03	0,6		
		As	< 0,01	< 0,01	0,06		
		Швидкість потоку	33 $м^3$/год	86 $м^3$/год	115 $м^3$/год	Безперервний моніторинг	У середньому за місяць
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]							

Завод B повідомляє про наступні викиди після установки з очищення відпрацьованих вод (фізико-хімічна обробка).

Таблиця 9.30: Викиди від Заводу B

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Мін. (мг/л)	У середньому (мг/л)	Макс. (мг/л)	Метод отримання даних
Завод B	Фізико-хімічна обробка	Ni	0,02	0,55	1,5	Одноразовий випадковий відбір проб
		Fe	< 0,01	0,2	2	
		Co	< 0,005	0,05	0,5	
		Cu	< 0,005	0,03	0,5	
		Загальна кількість завислих твердих часток	НЗ	0,2 кг/т Ni	НЗ	НЗ
		ЗЛОС	НЗ	0,17 кг/т Ni	НЗ	НЗ
Примітка: присутність хлоридів у стічних водах заважає аналізу параметру хімічного споживання кисню; тому результати аналізу не є репрезентативними. В процесі рафінування на Заводі B аналізується параметр загального органічного вуглецю (ЗОВ) замість хімічного споживання кисню, щоб позначити можливу присутність органічних сполук у стічних водах. НЗ = Не зазначено *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]						

Викиди у воду від установки з очищення відпрацьованих вод Заводу E продемонстровані в таблиці.

Таблиця 9.31: Викиди від Заводу E

Завод	Метод усунення забруднення довкілля	Забруднювальна речовина	Мін. (мг/л)	У середньому (мг/л)	Макс. (мг/л)	Метод отримання даних	Тип середнього значення
Завод E	Перший етап — вентиляційний резервуар для видалення CO_2 шляхом змішування та аерації за низького рівня pH (нижче 5,5) Другий резервуар є резервуаром осадження, що використовує NaOH для осадження металів у формі гідроксидів. Тверда фаза відфільтровується і повертається в процес, фільтрат перемішується з охолоджувальною водою і спрямовується в море	Ni	0,06	0,10	0,13	Одноразовий комплексний відбір проб	Складена проба з щоденних проб протягом одного місяця
		Fe	0,02	0,06	0,13		
		Co	0,01	0,02	0,04		
		Cu	0,02	0,03	0,05		
		As	0,009	0,03	0,11		

Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Завод G є заводом з виробництва багатьох металів, що використовує централізовану установку з очищення відпрацьованих вод для стічних вод, що утворюються (суміш води системи комунально-побутового водопостачання та дощової води). Опис цієї установки з очищення відпрацьованих вод, а також значення викидів можна знайти в Розділі 3.3.6.2.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Використання реагентів.
- Утворення відходів для захоронення або перероблення у шахтній печі.
- Передача тепла від води в повітря.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Технології, що застосовуються, повинні враховувати специфіку виробничих процесів, сировини та місцеві умови. Крім того, розмір і швидкість потоку приймального водоймища можуть відігравати роль у виборі технологій, які будуть застосовуватись.

Слід уникати контакту сульфідів з кислотним середовищем, щоб запобігти утворенню сірководню. Сульфат заліза може бути доданий після осадження для видалення надлишку сульфіду.

Економічні аспекти
У 2002 році Завод C запустив свою установку з очищення відпрацьованих вод. Інвестиційні витрати склали близько 3,5 млн євро. Річні експлуатаційні витрати складають близько 400 000 євро.

Завод A запустив нову установку з очищення відпрацьованих вод у 2009 році. Інвестиційні витрати склали близько 4 млн євро. Річні експлуатаційні витрати складають близько 800 000 євро.

Стимул до впровадження
Скорочення викидів стічних вод відповідно до нормативних вимог.

Приклади заводів
Завод A (Фінляндія), Завод B (Франція), Завод C (Фінляндія), Завод D (Велика Британія), Завод E (Норвегія), Завод F (Франція), та Завод G (Бельгія).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.3.1.6 Технологічні залишки

9.3.1.6.1 Технології запобігання та мінімізації утворення залишків та відходів

Опис
Технології, які слід розглянути:
- повторне використання залишків та відходів у тому ж або іншому процесі вилучення металів;
- відновлення на зовнішніх заводах;
- обробка для інших корисних цілей, як показано в технічному описі нижче.

Технічний опис
Кількість залишків і відходів, що утворюються у виробництві нікелю, залежить переважно від складу використовуваної сировини. Сировина містить різні концентрації домішок, які необхідно осаджувати та вилучати на певних етапах процесу. Деякі залишки реєструються як проміжні продукти, що транспортуються або ізольовані на об'єкті, відповідно до регламенту REACH і використовуються як сировина або будівельні матеріали у внутрішніх або зовнішніх процесах. Залишки, не придатні до повторного використання, класифікуються як відходи та утилізуються після відповідної обробки (стабілізації) на полігон для захоронення відповідно до вимог екологічних норм.

Залишки, що утворюються в процесі виплавки, переважно є шлаком на основі заліза та кремнезему. Зазвичай шлаки містять дуже низькі концентрації вилужних металів, і тому їх можна використовувати в будівництві, у якості абразивних матеріалів та для інших цілей. Вихідний потік шлаку у чотири-десять разів перевищує масу виробленого металу. Шлак, який не може бути використаний повторно, утилізується шляхом захоронення.

Залишки, що утворюються в процесі гідрометалургійного вилуговування та очищення, осаджуються на різних етапах процесу. Кількість осадів залежить головним чином від якості сировини та ефективності осадження. Однією з основних фракцій залишку у гідрометалургійному процесі є залишок заліза (у вигляді ярозиту або ґетиту). Залишки заліза переважно утилізуються шляхом захоронення. Кількість залишку заліза, що утворюється, повністю залежить від концентрації заліза в сировині. Елементи, які крім нікелю присутні у сировині заводу, необхідно вилучати та видаляти, щоб отримати чистий нікелевий продукт та уникнути накопичення таких елементів у замкнутому гідрометалургійному циклі. Деякі з вилучених елементів концентруються у товарних ізольованих на об'єкті або транспортованих проміжних продуктах і зареєстровані відповідно до регламенту REACH.

Залишки від установки очищення газу змішуються з водою (дуже дрібнодисперсні порошки нікелю потенційно пірофорні, тому їх змочування є заходом безпеки) з утворенням суспензії, яка подається безпосередньо на установку з очищення відпрацьованих вод на місці для очищення та вилучення. Сухий залишок стічних вод з установки з очищення відпрацьованих вод спрямовується на плавильний завод для вилучення металу. Залишки з печей передаються в систему вилучення нікелю під тиском з подальшим вилученням міді та кобальту. Отриманий матеріал спрямовується на подальше вилучення металів платинової групи.

Досягнуті екологічні переваги
- Максимізація придатних для продажу проміжних продуктів для обробки та використання на об'єкті/за межами об'єкта.
- Мінімізація відходів, які необхідно зробити інертними та піддати захороненню.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Типові потоки відходів та залишків, що утворюються у виробництві нікелю на етапах плавки та рафінування, наведено в Таблиці 9.32.

Таблиця 9.32: Типові потоки відходів та залишків, що утворюються у виробництві нікелю на етапах плавки та рафінування

	Тип процесу	Залишок/відходи	Процес, у якому утворюється	Варіанти подальшої обробки
A	Виплавка у процесі DON та у дуговій електропечі	Гранульований шлак	ДЕП	Остаточна утилізація / будівництво / абразивні матеріали
		Пил відхідних газів	ДЕП	Сировина для виробництва цинку
		Пил відхідних газів від гранулювання штейну	процес DON та дугова електропіч	Сировина для заводу з рафінування / переплавляння нікелю
B	Хлорне вилуговування, електровідновлення та хімічне виробництво	Залишок сірки	Підготовка штейну (фільтрування)	Сировина для виробництва сірчаної кислоти
C	Сульфатне вилуговування, вилучення розчинником, електровідновлення, відновлення воднем та хімічне виробництво	Залишок заліза	Вилуговування	Стабілізація та остаточна утилізація / сировина для заводу з виплавки нікелю
		Залишок карбонату металу (Zn)	Вилучення розчинником	Стабілізація та остаточна утилізація / сировина для виробництва цинку
		Мідний залишок	Вилуговування	Сировина для виробництва міді
E	Хлорне вилуговування, вилучення розчинником, електровідновлення	Мідний залишок	Вилуговування	Сировина для виробництва міді

Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]

Вплив на різні компоненти довкілля
- Використання хімічних речовин для осадження.
- Збільшення енергоспоживання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Стабільність роботи заводу.

Приклади заводів
Завод A (Фінляндія), Завод B (Франція), Завод C (Фінляндія) та Завод E (Норвегія).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.3.1.7 Енергоефективність та зниження споживання

Опис
Технології, які слід розглянути:
- використання збагаченого киснем повітря у плавильних печах та кисню в конвертерах;
- котли-утилізатори, в яких пар високого тиску виробляється з гарячих газів, що містять SO_2, що утворюються на етапах виплавки та конвертування;
- використання енергії димових газів;

- теплообмінники для регенерації тепла з потоків теплого газу або розчину.

Технічний опис
Підвищення енергоефективності та зниження зовнішнього споживання палива може бути досягнуто шляхом використання технологій регенерації відпрацьованого тепла або зниження потреби в енергії.

Використання збагаченого киснем повітря у плавильних печах та кисню в конвертерах
Етапи виплавки та конвертування: у звичайному способі виплавки спочатку утворюється низькоякісний нікелевий штейн. Отриманий штейн у конвертері перетворюють на нікелевий штейн з низьким вмістом заліза. На обох етапах обробки збагачення киснем використовується для досягнення точки автогенної обробки. Використання збагачення киснем дозволяє плавити зворотні відходи, брухт та інші вторинні матеріали, особливо на етапі конвертування. Крім того, у міру зниження загального потоку газу знижується споживання електроенергії вентиляторами (технологічних газів, вентиляції тощо).

У технології прямої зваженої плавки нікелю (DON) високоякісний нікелевий штейн з низьким вмістом заліза отримують безпосередньо в печі зваженої плавки без подальшого конвертування. Висушена сировинна суміш, збагачене киснем технологічне повітря і розподільне повітря змішуються в пальнику концентратів. Концентрат запалюється і горить у турбулентній суспензії газу та твердих часток в реакційній шахті. Окиснення вихідного концентрату відбувається пізніше, ніж у традиційному процесі. Цей процес горіння генерує велику кількість енергії, викликаючи плавлення шихти. Зважена плавка є енергоефективним процесом, оскільки в ньому використовується теплота реакції концентрату, тому зовнішнє паливо потрібно лише час від часу. Використання збагачення киснем у печі зваженої плавки значно впливає на економію енергії і призводить до ефективнішої боротьби із забрудненням. Штейн, отриманий з використанням цього процесу, має низький вміст заліза та високий вміст нікелю. Процес DON зробив непотрібним етап окремого перетворення, що має важливий позитивний вплив з точки зору довкілля та споживання енергії.

Утилізаційний паровий котел
Гарячий газ з високим вмістом SO_2, що утворюється в плавильній печі або конвертерній ємності, прямує у котел-утилізатор. У котлі-утилізаторі газ охолоджується шляхом утворення пари, з якої регенерується енергія. Пара використовується, наприклад, для сушіння концентратів та для різних потреб у технологічному нагріві, наприклад, в автоклавах. Електроенергія та тепло для централізованого теплопостачання можуть бути отримані з додаткової пари на електростанції.

У випадку застосування сушарки з паровим змійовиком використовується насичена пара, що виробляється в котлі-утилізаторі, з'єднаному з плавильною піччю.

Використання енергії димових газів
У прямому сушінні гарячий газ утворюється шляхом спалювання палива в окремій камері. Для регенерації енергії, що міститься в гарячому газі з інших етапів процесу, вихлопні гази анодної печі можуть бути частково рециркульовані в сушарку.

Теплообмінники для регенерації тепла з потоків теплого газу або розчину
Що стосується очищення шлаку, метали в шлаку від процесу виплавки/конвертування видаляються в електричній печі у вигляді нікелевого штейну, що містить залізо. Гази електропечі спочатку допалюються, а потім охолоджуються. Тепло від охолодження газу видаляється теплообмінником і використовується для нагрівання та сушіння добавки або коксу для електричної печі.

У виробництві сірчаної кислоти з газу, що містить SO_2, утворюється додаткова енергія, що видаляється та використовується. Окиснення діоксиду сірки до триоксиду сірки є екзотермічною реакцією. Частина енергії, отриманої внаслідок цього окиснення, передається за допомогою теплообмінника у проміжну воду для нагрівання інших технологічних установок або спрямовується на другий теплообмінник для централізованого теплопостачання.

Охолодження кислоти здійснюється за допомогою теплообмінника, в якому енергія відводиться у проміжну воду. Енергія з проміжної води проходить через другий

теплообмінник до трубопроводу централізованого теплопостачання або для нагрівання інших технологічних установок.

Процес вилуговування хлором є сильно екзотермічним, і пара у відхідному газі з резервуарів вилуговування конденсується, а тепло регенерується в окремий контур гліколю, який розподіляється для опалення офісів і заводських будівель.

Перед рециркуляцією аноліту в цеху електролізу нікелю розчин необхідно охолодити. Встановлюється теплообмінник для охолодження аноліту перед повторним використанням, а нагріта вода розподіляється на інші процеси, що споживають гарячу воду, або використовується для очищення в інших зонах заводу.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення споживання енергії.
- Зменшення викидів у повітря (у більшості випадків регенерована енергія замінює викопне паливо).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Завод A: пряме споживання електроенергії заводом з виплавки нікелю становить 1400–1800 кВт-год/т виробленого металу, за винятком, наприклад, кисню та стисненого повітря (надмірне споживання матеріалів). Споживання мазуту на плавильному заводі становить 300–400 кг/т виробленого металу, включно з сушінням концентрату, паливо печі зваженої плавки та паливо для нагрівання печі зваженої плавки та електричної печі. Споживання коксу на заводі з виплавки нікелю становить 200–250 кг/т виробленого металу, включно з відновником коксу в електричній печі для очищення шлаку.

Завод C: споживання електроенергії рафінувальним заводом становить 3000–4000 кВт-год/т виробленого нікелю. Споживання тепла становить 7000–9000 кВт-год/т виробленого нікелю. Заводи з виплавки міді та нікелю Заводу A та рафінувальний завод Заводу C працюють на одному майданчику. Підприємства заводів мають спільні системи регенерації тепла. Близько 50–70% тепла, що використовується на об'єкті, регенерується з різних етапів технологічного процесу.

Завод E: споживання електроенергії на рафінувальному заводі становить близько 5 МВт-год/т виробленого нікелю, міді та кобальту. Цей завод забезпечує 40 000-45 000 МВт-год/рік для централізованого теплопостачання від установки з виробництва сірчаної кислоти. Процес екзотермічного вилуговування хлором забезпечує 12 МВт для опалення будівель на об'єкті. Теплообмінник, що використовується для охолодження аноліту для нагрівання води для очищення, має потужність 40 000-50 000 МВт-год/рік.

Вплив на різні компоненти довкілля
Інформацію не надано.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
Стабільність роботи заводу; технології є екологічними та економічними.

Приклади заводів
Завод A (Фінляндія), Завод C (Фінляндія) та Завод E (Норвегія).

Довідкова література
[413, Warner et al. 2007]

9.3.2 Виробництво кобальту

9.3.2.1 Технології зниження викидів від процесу вилучення розчинником кобальту

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Використання перекачування з малим зсувними зусиллями в контактних мішалках-відстійниках для рідких продуктів, що знижує випаровування органічного та водного розчину. Використання мішалки з малими зсувними зусиллями також знижує утворення стабільних відходів осаду емульсії, які називаються міжфазною завісю у процесах вилучення розчинником.
- Використання мішалки з великими зсувними зусиллями.
- Установки мішалки-відстійника герметизовані для запобігання викидам ЛОС у робоче середовище.

Технічний опис
Процес гідрометалургійного вилучення розчинником, у якому іони кобальту(II) у вихідному водному розчині селективно відокремлюються та концентруються з технологічного розчину, що зазвичай містить переважно нікель. Вихідний водний розчин, що містить кобальт, змішують в апараті для контактування рідин з органічним розчином, що містить вилучальну хімічну речовину, яка утворює металоорганічний комплекс з кобальтом, що призводить до його розчинення в органічному потоці. Оскільки хімічні речовини для вилучення кобальту зазвичай є кислотними йонообмінниками, під час реакції вилучення утворюється кислота, що потребує контролю рівню pH за допомогою лужного нейтралізаційного агента, наприклад аміаку або гідроксиду натрію. Органічна фаза, насичена кобальтом, міститиме деякі домішки, вилучені одночасно з ним, оскільки хімічні речовини для екстракції не є повністю селективними стосовно цільового металу, і далі відбувається етап скруберного очищення, де домішки видаляються шляхом змішування органічної фази з водним розчином, що зазвичай містить кобальт. Потім кобальт відокремлюють від органічної фази у водний розчин, виконуючи зворотну реакцію вилучення шляхом змішування з водним розчином за зниженого рівня pH, що руйнує органічний комплекс і вивільняє іони кобальту. Потім відділений органічний розчинник повертають на етап вилучення.

Досягнуті екологічні переваги
- Мінімізація викидів ЛОС у повітря.
- Зниження утворення твердих відходів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Інформацію не надано.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення споживання енергії.
- Використання аміаку для нейтралізації хімічних речовин для вилучення та утворення сульфату амонію. Необхідно приготувати очищену воду для етапів промивання та очищення.
- Використання кислоти для відділення кобальту.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Відділення кобальту шляхом вилучення розчинником застосовується в процесах обробки сировини, що містить нікель і яка також містить кобальт. Для отримання продукту високої чистоти цинк, залізо, кальцій, марганець та мідь повинні бути видалені з вихідного розчину перед вилученням кобальту розчинником. Етап хімічної нейтралізації використовується для регулювання рівня pH на етапах вилучення та промивання. Кобальт вилучають у вигляді висококонцентрованого високочистого розчину, придатного, наприклад, для використання у якості сировини для електровідновлення кобальту.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Селективне відділення кобальту з виходом продукту високої чистоти.
- Низький рівень споживання енергії та хімічних речовин
- Низький рівень утворення відходів.

Приклади заводів
Norilsk Nickel, Гар'явалта (Фінляндія), OMG Kokkola Chemicals (Фінляндія), Murrin Murrin (Австралія), Kasese Cobalt Company (Уганда), Knightsbridge Cobalt (Південна Африка) та Anglo Platinum Rustenburg Base Metals Refinery (Південна Африка).

Довідкова література
[414, Peek et al. 2009]

9.3.2.2 Технології зниження викидів від осадження змішаних гідроксидів та змішаних сульфідів

Опис
Технології, які слід розглянути:
- використання за необхідності закритого технологічного обладнання (реактори, відстійники, фільтри);
- використання закритих систем транспортування рідини та суспензії (труби та криті жолоби);
- використання високоефективних систем відділення твердих часток та промивання для уникнення надмірного використання промивної води;
- використання високоякісного газоподібного сірководню або інших осаджувальних середовищ, щоб уникнути великих обсягів газу та підвищити ефективність процесу осадження;
- використання очисного обладнання (рукавні фільтри, мокрі скрубери тощо) для очищення відхідних газів;
- рециркуляція залишків з операцій очищення та стічних вод;
- використання безперервного моніторингу та контролю критичних параметрів обладнання для вилуговування та очищення або іншого еквівалентного відповідного методу моніторингу або стандартної процедури виконання операцій;
- використання безперервного моніторингу та контролю критичних параметрів процесу (наприклад, коефіцієнта використання реагентів) для запобігання надлишковому споживанню реагентів та забезпечення ефективного вилучення металів.

Технічний опис
Процеси зі змішаними гідроксидами та змішаними сульфідами складаються з наступних етапів:

Процес зі змішаними гідроксидами:
- Осадження у процесі зі змішаними гідроксидами здійснюється в реакторі атмосферного тиску шляхом додавання основної хімічної речовини, наприклад гідроксиду натрію.
- Контроль осадження заснований на pH в реакторі осадження і, отже, концентрації металу у розчині, що виходить.
- Суспензію з реактора осадження згущують, а частину згущених твердих часток рециркулюють на етап осадження, щоб вони служили затравкою для подальшого осадження. Більша частина згущених твердих часток піддається подальшій обробці на етапі фільтрування.
- Осаджені тверді частки відокремлюють від нижнього зливу згущувача шляхом фільтрування, а осад з фільтра за необхідності промивають водою.
- Перед відправленням отримані тверді частки висушують (за необхідності) та відповідним чином упаковують.

Процес зі змішаними сульфідами:
- Може знадобитися попередня нейтралізація вихідного розчину процесу зі змішаними сульфідами.
- Осадження у процесі за змішаними сульфідами здійснюється в реакторі атмосферного

тиску шляхом додавання джерела сульфіду, такого як сірководень. Суспензію реактора осадження необхідно нейтралізувати, щоб видалити сірчану кислоту, яка утворюється в реакції осадження сульфідів.
- Контроль осадження заснований на pH в реакторі осадження і, отже, концентрації металу у розчині, що виходить; контроль pH необхідний, щоб уникнути утворення сірководню в газовій фазі.
- Суспензію з реактора осадження згущують, а частину згущених твердих часток рециркулюють на етап осадження, щоб вони служили затравкою для подальшого осадження. Рециркуляція затравки збільшує розмір часток осаду і покращує характеристики відокремлення твердих часток, тим самим знижуючи споживання води для промивання. Більша частина згущених твердих часток піддається подальшій обробці на етапі фільтрування.
- Осаджені тверді частки відокремлюють від нижнього зливу згущувача шляхом фільтрування, а осад з фільтра за необхідності промивають водою.
- Залежно від використання маточного розчину може знадобитися додатковий етап аерації для руйнування будь-якого залишкового вільного сірководню в розчині. Перед відправленням отримані тверді частки висушують (за необхідності) та відповідним чином упаковують.

У процесах осадження сульфідів вентиляційні гази від обладнання очищаються в лужному мокрому скрубері. Безперервне або інше належне вимірювання та контроль найважливіших параметрів процесу (температура, pH, концентрація металів) виконуються для забезпечення безпечних та надійних результатів роботи (мінімальні викиди газів, належне вилучення цінних компонентів та висока якість осаду).

Досягнуті екологічні переваги
- Запобігання або зменшення викидів пилу, металів та інших сполук.
- Більш ефективне вилучення нікелю та кобальту.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Таблиця 9.33: Викиди заводу з виробництва нікелю Kokkola

Процес	кг Co/т металу	кг Ni/т металу	кг VOC/т металу	кг H_2S/т металу
Помел/вилуговування	0,1	НЗ	НЗ	2
Вилучення розчинником	НЗ	НЗ	2	НЗ
Завершальний етап відновлення або перетворення	НД	0.0.81	НЗ	НЗ
Загальне виробництво кобальту	0,9	0,1	4	2
Примітка: виробництво: 10 000 т Co/рік. НД = немає даних. НЗ = не застосовується.				

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії під час використання мокрих газових скруберів.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інформацію не надано.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія сировини.

Приклад заводу
Kokkola (Фінляндія).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.3.2.3 Технології зниження викидів, що утворюються під час електровідновлення

Опис
Технологією, яку слід враховувати для процесів на основі сульфатів, полягає в покритті камер порожнистими пластмасовими сферами або гранулами з полістиролу для запобігання викиду аерозольних часток у повітря.

Технологіями, які слід враховувати для процесів на основі хлоридів, полягають в уловлюванні та повторному використанні газоподібного хлору в процесі вилуговування та використанні незношуваного анода.

Технічний опис
У розчинах на основі сульфатів у процесі основної анодної реакції утворюються бульбашки кисню, які можуть переносити аерозолі сірчаної кислоти у навколишнє повітря (кислотний туман). Залежно від заводу контактна поверхня повітря та електроліту фізично блокується за допомогою порожнистих пластмасових сфер або гранул з полістиролу.

Катоди в процесі на основі сульфатів зазвичай виготовляються з неіржавкої сталі, а желатиновий розчин часто використовується як «розділювальний агент», що полегшує обдирання. З іншого боку, деякі домішки можуть викликати самообдирання. Щоб подолати цей ризик, заводи виробляють менші круглі заготовини замість пластин з використанням мічених або рельєфних катодів. Найчастіше використовуваним анодним матеріалом є сплав свинцю з сурмою.

У розчинах на основі хлориду на аноді утворюється газоподібний хлор. Анодний мішок із проникної для електроліту діафрагмової тканини використовується для ізоляції анода, а пристрій для видалення газоподібного хлору зазвичай використовується для видалення (і вилучення) хлору з верхньої частини мішка для використання в процесі вилуговування.

У процесі на основі хлориду катоди можуть бути виготовлені з титану або кобальтових матриць, сформованих на титанових заготовинах. Матеріал анода — титан із покриттям (їх зазвичай називають незношуваними анодами). Зазвичай покриття містить RuO_2 у якості каталітичного компонента.

Досягнуті екологічні переваги
Запобігання дифузному туману сірчаної кислоти або викидам газоподібного хлору.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Єдиним заводом із виробництва кобальту шляхом електролізу в Європі є Завод Е у Норвегії (у 2010 році він виробив 3208 тонн кобальтових катодів). Це один із двох заводів у світі (разом з Sumitomo, Японія), який використовує процес на основі хлоридів.

Вплив на різні компоненти довкілля
Збільшення споживання енергії (для видалення кислотного туману з камери у випадку розчинів сульфату та видалення хлору у випадку розчинів хлориду).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Приклад заводу
Завод Е (Норвегія).

Довідкова література
Довідкової літератури не надано.

9.4 Перспективні технології

Повідомляється про різні розробки з використання вилуговування під низьким тиском та атмосферного вилуговування для виробництва нікелю з сульфідних руд. Основними процесами є: [139, Riekkola-Vanhanen, M. 1999]

- Вилуговування Activox: тонке подрібнення та вилуговування за 100 °C та 10 барів.
- Процес CESL: хлоридне вилуговування у розчині сульфатів з використанням хлориду заліза.
  Процеси було випробувано на експериментальному етапі.

- Розроблено та запатентовано гідрометалургійний процес виробництва сполук нікелю та кобальту з лимонітових та сапролітових руд для проєкту Eramet Weda Bay Nickel в Індонезії. Процес був спеціально розроблений для перероблення нікелевої латеритної руди із вмістом сапроліту від середнього до високого. Система здатна обробляти складну суміш різних літологічних горизонтів, що оптимізує вилучення рудного тіла і таким чином значно знижує утворення відходів.

Починаючи з 2005 року понад 35 кампаній (більше ніж 86 тижнів) безперервних промислових експериментальних випробувань (що дали хороші результати) було виконано в межах науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з включенням оцінювання екологічної ефективності у промисловий процес. Оптимізація інтегрованого оцінювання екологічної ефективності є останнім кроком перед повним повномасштабним запуском проєкту Weda Bay Nickel.
Гідрометалургійний процес відбувається у середовищі сірчаної кислоти під атмосферним тиском і за температури близько 100 °C. Тепло від установок з виробництва сірчаної кислоти використовується для виробництва пари, що значно зменшить обсяги використання викопного палива для вироблення енергії. Парникові гази, що утворюються в результаті всього процесу, оцінюються приблизно у 5,8 т/т нікелю.
У процесі утворюватимуться тверді залишки на основі заліза та марганцю. Обидва ці залишки класифікуються як безпечні для довкілля. Вони будуть складуватися окремо у спеціально призначених та спроєктованих зонах складування зневоднених залишків.
Рідкі відходи будуть нейтралізовані та пропущені через піщані фільтри на місці. Осади, що утворюються від очищення стічних вод, будуть повністю перероблятися в гідрометалургійному процесі [139, Riekkola-Vanhanen, M. 1999]

- Будуються або знаходяться на етапі введення в експлуатацію три нові заводи з вилуговування під тиском латеритів з використанням сірчаної кислоти [139, Riekkola-Vanhanen, M. 1999] Процеси аналогічні впровадженому процесу Moa Bay на Кубі, але використовуються різні етапи очищення для видалення інших металів. Також розробляється процес хлоридного атмосферного вилуговування латеритів

- У Німеччині вводиться в експлуатацію процес вилучення нікелю та цинку із залишків з використанням киснево-паливної печі та системи рафінування шляхом вилучення розчинником з розчинів сульфату. Жодних даних не повідомлено.

9.4.1 Термічне розкладання комплексів нікелю

Опис
Виробництво нікелевого порошку в інертній атмосфері в електричній печі зі зливу відпрацьованого електроліту з електролітичного рафінування мідного анода низької чистоти.

Технічний опис
Завод Metallo-Chimique виробляє нікель, використовуючи наступний процес.

Нікель вилучають із насиченого нікелем розчину електролізу шляхом осадження. Осадження нікелю (комплексу) здійснюється шляхом додавання органічного комплексоутворювального агента до зливу розчину сульфату нікелю в закритому баку реактора. Розчин отримується шляхом електролітичного рафінування мідних анодів

низької чистоти під час виробництва мідних катодів. Нерозчинний комплекс нікелю відокремлюється шляхом фільтрування.

Термічне розкладання комплексів нікелю на тонкодисперсні порошки здійснюють в інертній атмосфері в електричній печі. В результаті утворюється порошок нікелю, який охолоджується і подається конвеєром на прес для порошку для брикетування. Отримані брикети надходять у біг-беги.

Для зниження викидів встановлено двоетапний скрубер з NaOH. Його потужність становить 7500 $м^3$/год. У скрубері очищається повітря, що надходить з баків реактора та електричної печі.

Досягнуті екологічні переваги
- Вилучення металевого нікелю.
- Зменшення викидів.

Екологічна ефективність та інформація про функціонування
Дані про функціонування скрубера, засновані на точкових вимірюваннях у 2011-2012 рр., показують, що потік становив 1500-7500 $Нм^3$/год, а викиди пилу становили 0,7-2,5 мг/$Нм^3$.

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення інвестиційних витрат (завдяки встановленню додаткового обладнання).
- Збільшення споживання енергії.
- Збільшення експлуатаційних витрат внаслідок використання добавок.
- Вимоги щодо належного очищення водного потоку.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Інформацію не надано.

Економічні аспекти
Вартість встановлення скрубера становить приблизно 100 000 євро.

Стимул до впровадження
- Зменшення викидів.
- Економія сировини.
- Суворі стандарти щодо викидів та інші нормативні вимоги.

Приклад заводу
Metallo-Chimique (Бельгія).

Довідкова література
[415, Nickel Institute 2013]

10 ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА ВУГІЛЬНИХ І ГРАФІТОВИХ ЕЛЕКТРОДІВ, КАТОДІВ І ФОРМ

10.1 Прикладні процеси та технології

Існує ряд процесів, які використовуються для широкого спектру вугільних і графітових продуктів. Вугільні або графітові електроди та футерування печей виробляються для різних виробничих процесів, зокрема, для виплавки первинного алюмінію, виробництва феросплавів та сталі. Ця глава охоплює виробництво вугільних та графітових електродів, катодів та форм, не призначених для використання у виробництві алюмінію.

У всіх процесах використовується кокс, антрацит, графіт та інша сировина, така як пек, для виробництва паст, електродів та форм.

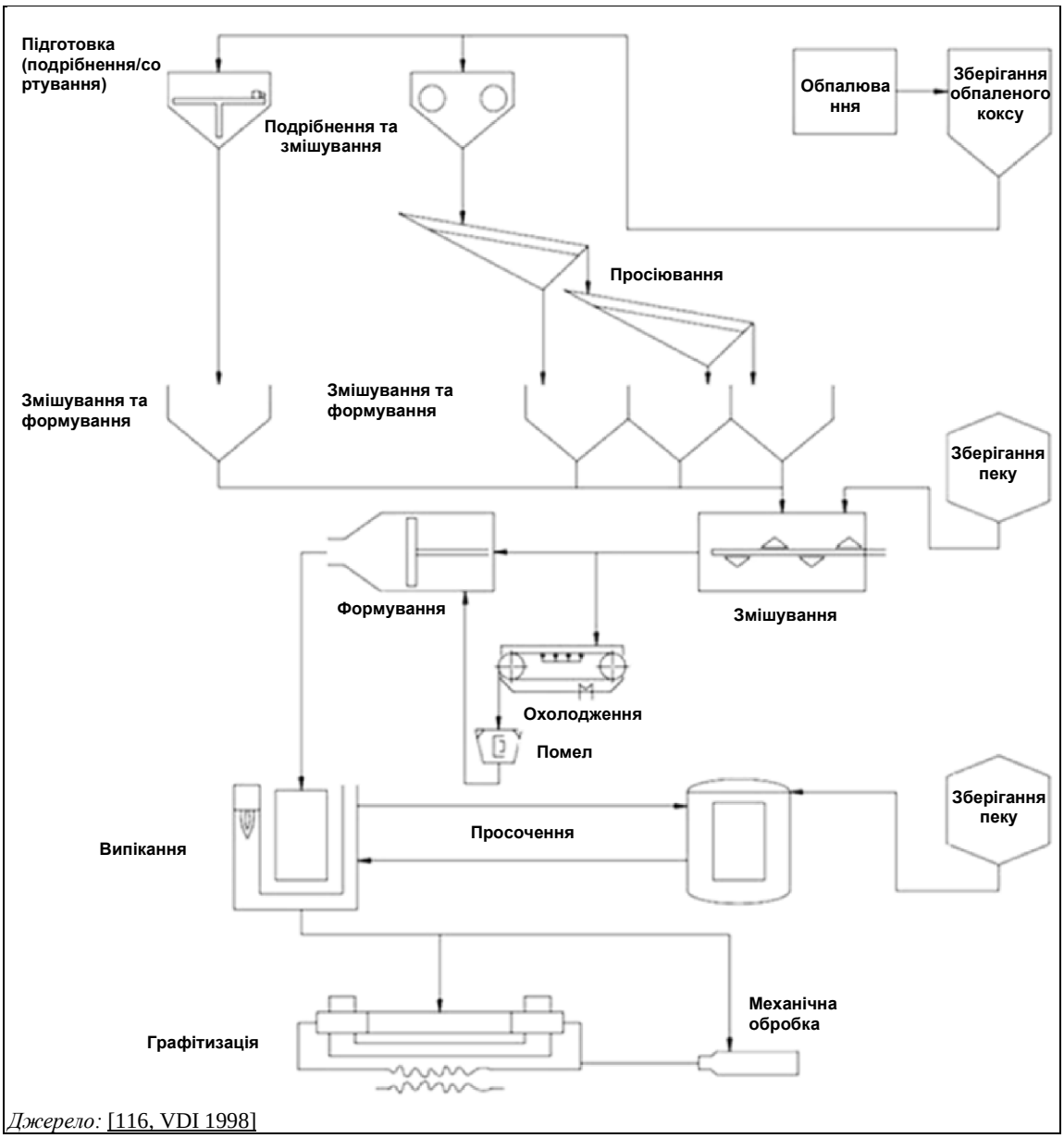
Традиційно сектор ділить свої технологічні етапи на:

- постачання, зберігання, підготовка, змішування та формування (так званий зелений відділ);
- випікання, просочення та повторне випікання (також відомі як установка випікання);
- графітизація;
- механічна обробка;
- пакування та відправлення.

Основні типи продуктів та етапи процесу показані в Таблиці 10.1 та на Рисунку 10.1.

Таблиця 10.1: Огляд матеріалів та етапів процесу для вугільних та графітових продуктів

Вхідні матеріали	Процес	Продукція
Антрацитове вугілля Необпалений кокс	Обпалювання	Обпалений антрацит Вугілля Кокс
Обпалений антрацит Кокс Графіт Пек, добавки, смоли (тверді речовини)	Зберігання, поводження, подрібнення, просіювання	
Пек, добавки, смоли (рідкі)	Зберігання, поводження	
Обпалений антрацит Кокс Графіт Пек, добавки, смоли (тверді речовини та рідкі)	Змішування	Паста
Паста та зелений порошок	Формування	Зелені форми та зелений порошок
Зелені форми	Випікання	Випечені форми
Випечені форми Графітові форми Пек, добавки, смоли	Просочення	Просочені форми
Просочені форми	Повторне випікання	Повторно випечені форми
Випечені або повторно випечені форми	Графітизація	Графітові форми
Випечені або графітизовані форми	Механічна обробка	Графітові та вуглецеві компоненти
Джерело: [116, VDI 1998].		



Джерело: [116, VDI 1998]

Рисунок 10.1: Огляд процесу виробництва вуглецю та графіту

10.1.1 Процеси виробництва обпалених матеріалів

Обпалювання — це процес термічної обробки, що використовується для видалення вологи та летких речовин із сировини. Придатні матеріали для обпалювання включають необпалене вугілля (наприклад, антрацит) та кокс (наприклад, пековий кокс, металургійний кокс та нафтовий кокс). Ця сировина подається у верхню частину печі, при цьому потік через піч регулюється швидкістю розвантаження у нижній частині печі. Під час цього процесу виділяються волога, сірка та леткі речовини.

Існує два типи процесу обпалювання: електричний процес в печі для обпалювання та газовий процес в кальцинаторі.

Електрична піч для обпалювання використовує електроенергію для нагріву. Необхідний електричний струм подається в піч через один вугільний електрод, розташований у верхній частині печі, і один вугільний електрод в нижній частині, або через два графітових електроди, розташованих у верхній частині печі, і одну вугільну футерівку печі в нижній частині. Матеріал у печі досягає температури в діапазоні 1200–3000 °C. Компоненти золи у вуглецевому матеріалі випаровуються в найгарячіших зонах печі і радіально переносяться назовні, де вони конденсуються на холоднішому матеріалі або футерівці печі.

Зрештою, компоненти золи вилучаються разом із обпаленим матеріалом в нижній частині печі. Всі гази, що утворюються, спалюються у верхній частині печі.
Газовий кальцинатор використовує всі леткі речовини, що виділяються в процесі обпалювання, як паливний матеріал для досягнення необхідної температури для термообробки. Температурний діапазон становить 1200-1350 °C.

В обох випадках спалювання вищезазначених газів призводить до викидів H_2O, CO_2, NO_X і SO_X. Обпалені матеріали зазвичай використовуються як сировина для зеленої пасти. Їх також можна використовувати у якості добавки для збільшення вмісту вуглецю для виробництва сталі та чавуну.

10.1.2 Процеси виробництва пасти, зелених порошків та зелених форм

Виробництво зеленої пасти є початковим етапом для виробництва всіх вугільних та графітових анодів. Усі зелені пасти виготовляються із суміші обпаленого коксу та вугілля різних типів із вмістом пеку до 40 %, що виконує роль в'язкої речовини. Для виробів із графіту спеціального призначення смоли також можуть використовуватися як в'язка речовина. Інші добавки, такі як сірка та метали, можуть бути додані до суміші сировинних матеріалів для надання необхідних фізичних властивостей виробам з графіту спеціального призначення.

Залежно від походження кокси можуть містити такі речовини, як метали (наприклад, нікель) та сполуки сірки. Як допоміжний матеріал для засипки використовується сильно відпалений металургійний і буровугільний кокс. Обпалений і відпалений кокс сам не містить вуглеводнів і ПАВ.

Тверда сировина зазвичай транспортується герметичними конвеєрами або системами пневматичного транспортування у щільній фазі та зберігаються в силосах. Рідкий пек транспортується в розплавленому стані та передається шляхом перекачування насосами, а зберігається в резервуарах, що обігріваються. Гази вентиляції резервуарів містять пари вуглеводнів і зазвичай очищаються. Використовуються допалювачі, конденсатори або скрубери та деаерація газів з резервуарів.

Підготовка сировини здійснюється механічним способом (подрібнення, помел, просіювання), і відбувається змішування у мішалках з обігрівом. Вміст смоли в суміші регулюється в залежності від галузі застосування та для забезпечення операцій поводження з пастою.

Етапи підготовки та змішування важливі, оскільки існує велика різноманітність графітових продуктів та специфікацій, і характеристики цих продуктів часто залежать від певного розміру зерна. Вибір технології подрібнення або помелу здійснюється залежно від розміру частинок вуглецю, необхідного для конкретного продукту.

Сировина змішується для отримання постійного подання, а системи дозування використовуються для приготування певної сировини в залежності від продукту. Залежно від необхідного продукту, розміру часток сировини та необхідної продуктивності використовуються різні мішалки. Мішалки з обігрівом та шнекові конвеєри (зазвичай за температури 200 °C) використовуються для запобігання затвердінню партій та забезпечення ефективного вивантаження вмісту. Застосовуються місильні машини, лопатеві мішалки та мішалки неперервної дії. Практикується безперервна чи періодична робота, що може залежати від масштабу операції.

Зелена суміш передається у процес формування для отримання необхідної форми. Використовуються системи лиття у форму, видавлювання та вібраційні системи. Під час виробництва спеціального вуглецю зелені форми можна промити спиртом, щоб видалити надлишки смоли. Великі форми можна також охолоджувати у водяній ванні замкнутого циклу.

У випадку з пастою Содерберга суміш виготовляється для того, щоб її можна було додати в кожух електрода. Паста Сьодерберга зазвичай використовується для виробництва

електродів у виробництві первинного алюмінію, але паста також може бути перетворена в електроди шляхом пресування і формування для інших галузей застосування, наприклад, для використання електричних печах для виробництва феросплавів. Електроди Сьодерберга також виготовляються із пасти методом формування. У цьому випадку зеленим електродам надають необхідний розмір та форму [75, Nordheim, E. 1998]. Ці електроди зазвичай використовують у дугових електропечах із зануреною дугою. Існує ряд варіантів, наприклад, порожнисті електроди можуть бути виготовлені для забезпечення подання в піч через електрод, а композиційні електроди можуть бути виготовлені для подолання виробничих проблем.
На етапах зберігання та поводження з сировиною використовуються закриті системи подання та транспортування та вбудовані пилові фільтри. У системах подання та зберігання рідкого пеку використовується деаерація резервуарів та конденсатори для дихання резервуарів під час зберігання. Твердий пек поставляється навалом у закритих контейнерах або закритих біг-бегах.

Пил з процесів поводження та механічної обробки уловлюється в рукавних фільтрах. Гази з усіх етапів обробки вловлюються та обробляються за допомогою різних систем боротьби з викидами, таких як допалювачі (ТО або РТО), мокрі або сухі скрубери, електростатичні фільтри або комбінацій систем. Розчинники з етапів промивання виробництва спеціального вуглецю вловлюються, вилучаються і наскільки можна використовуються повторно або видаляються в биофільтрах.

10.1.3 Процеси виробництва випечених форм.

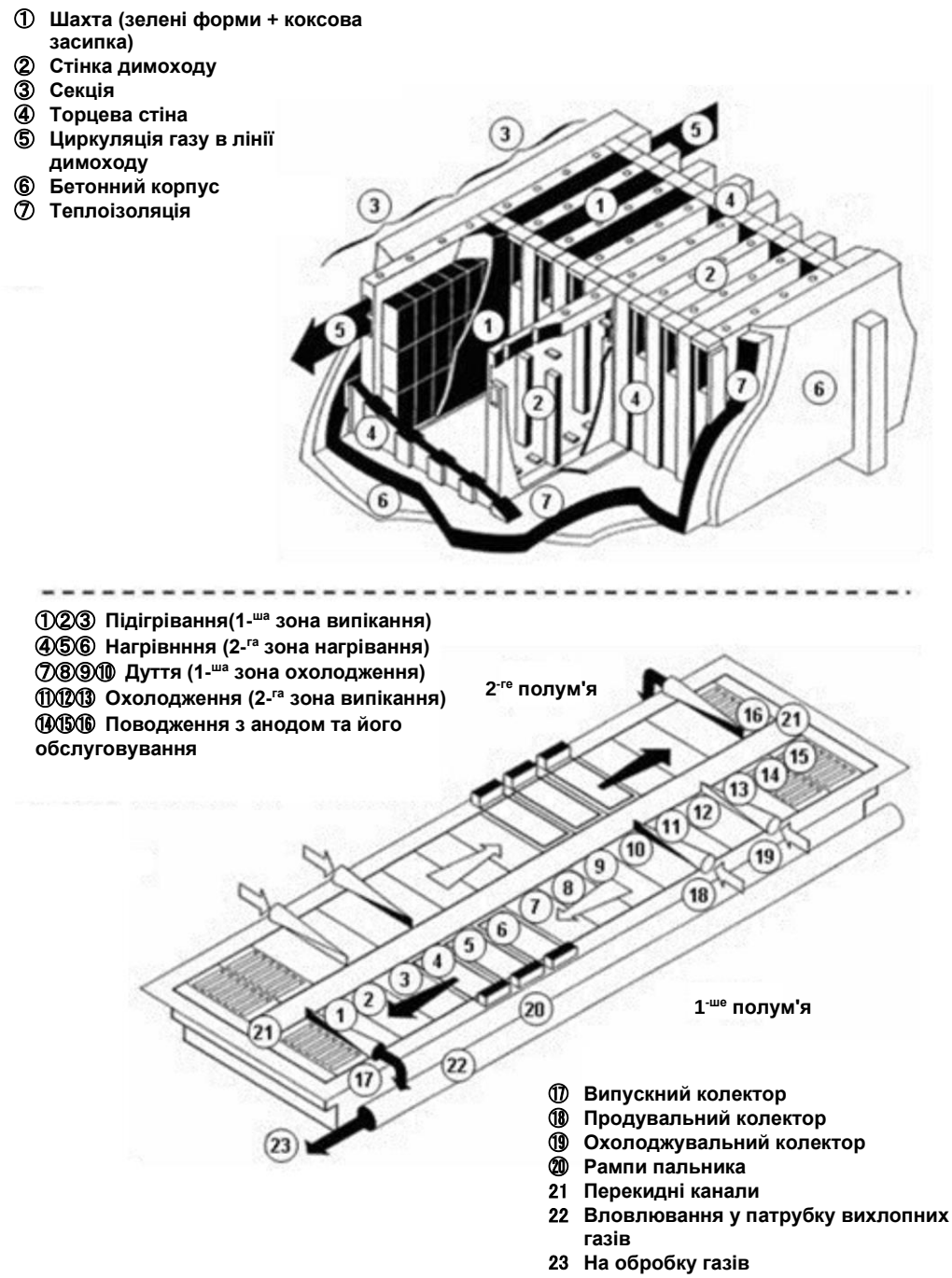
У процесі випікання, у якому випікаються зелені форми, пек перетворюється на пековий кокс, що робить матеріал електропровідним. Зелені форми випікають за температури від 700 ºC до 1300 ºC за відсутності повітря. Процес випікання може тривати до 28 днів. Цей термічний процес призводить до того, що форми втрачають до 20 % своєї ваги.

Багатокамерні печі (наприклад, закриті або відкриті кільцеві печі) та однокамерні печі (наприклад, печі з висувним подом або шахтні печі) використовуються для етапу випікання.

Кільцеві печі складаються з великої кількості шахт, у яких знаходяться зелені форми. Стіни з вогнетривкої цегли відокремлюють шахти, а для відведення димових газів створені повітропроводи. Зелені форми укладаються в установці з випікання рядами та створюються теплопровідні канали. Шари коксової засипки розділяють частини та запобігають окисненню. Цей кокс витрачається в циклі нагрівання та охолодження з розрахунку 14 кг на тонну зеленого матеріалу, а кокс, що залишився, використовується повторно. У будь-який момент колодязі в окремих секціях печі заповнюються, нагріваються, охолоджуються або спорожнюються. [91, OSPARCOM 1992]

Гаряче повітря пропускається повітропроводи за допомогою рухомих газових пальників, і форми випікаються. Повітроводи знаходяться під негативним тиском для утримування диму. У кінці циклу нагрівання повітропроводи підключаються до повітродувок для охолодження секції. Гаряче повітря, що виходить з секції печі, що охолоджується, потім рециркулює через пальники або інші секції печі для підігрівання цієї частини системи. [116, VDI 1998].

Для випікання використовуються два основних типи кільцевих печей: відкриті та закриті. У відкритих печах використовується горизонтальний повітровод, а у закритих — вертикальний. Горизонтальні повітроводи відкритої печі є окремими та паралельними, що дозволяє оптимізувати цикл нагрівання для кожного повітроводу та, таким чином, знизити витрати палива [91, OSPARCOM 1992]. Типову схему відкритої печі показано на Рисунку 10.2.



Джерело: [374, COM 2001]

Рисунок 10.2: Загальний вигляд багатокамерної печі (відкрита кільцева піч)

Використання декількох камер у печі дозволяє використовувати тепло однієї секції в інших секціях.

Піч з висувним подом є однокамерною піччю. У концепції висувного поду під (який є основою печі або дном) виконаний у вигляді рухомої платформи, встановленої на колесах залізничного типу. Його можна витягти з печі та перенести до зони завантаження або розвантаження.

Піч з висувним подом складається зі сталевого кожуха, побудованого над землею та футерованого вогнетривкою теплоізоляцією. Завантажувальна сторона печі закривається вертикальним рухомим вікном, що щільно прилягає до двох сторін і даху, коли

знаходиться в опущеному/закритому положенні. Під герметизується до трьох стінок корпусу та вікна за допомогою жолоба для відведення води (на поді) та ущільнювальних пластин (на корпусі). Вентилятори, встановлені на даху, переміщують повітря з верхньої частини печі до основи, розподіляючи тепло зверху вниз.

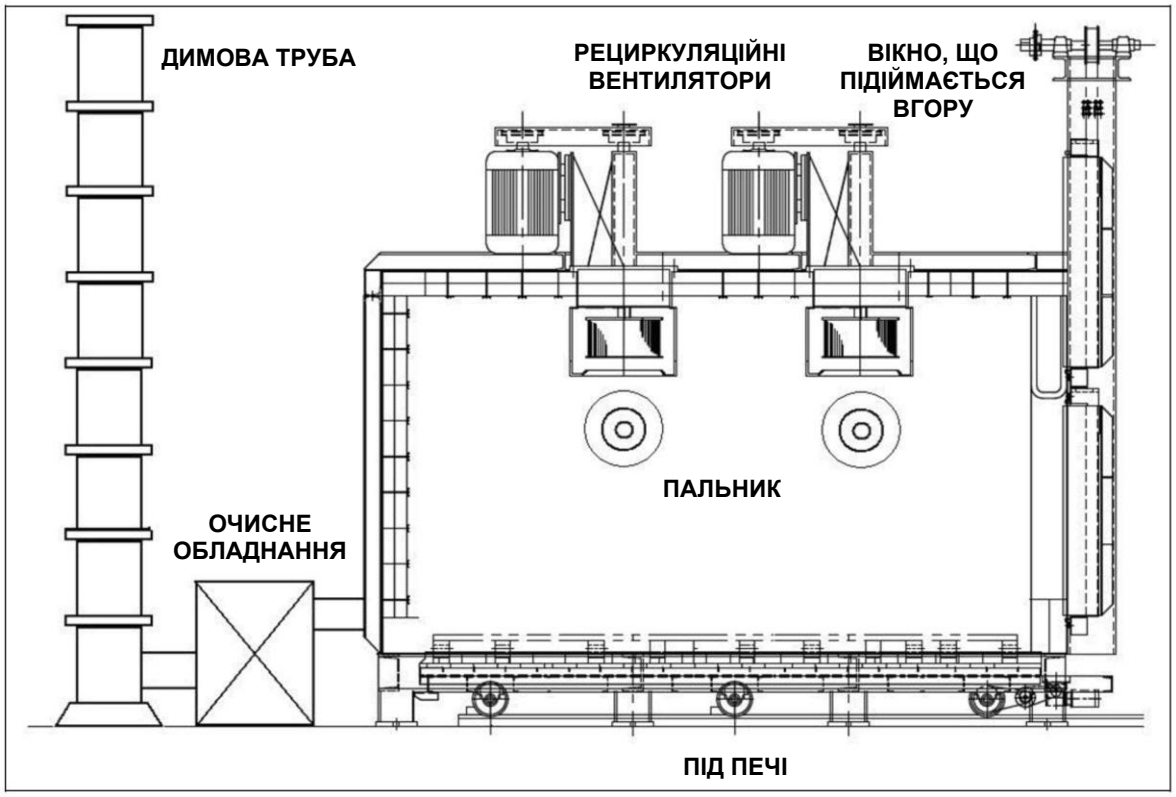


Рисунок 10.3: Загальний вигляд однокамерної печі (піч із висувним подом)

На станції завантаження зелені форми поміщаються в циліндричну каністру, яку називають капсулою для обпалювання, і заповнюються засипним матеріалом, щоб уникнути деформації форм під час процесу нагрівання. Потім завантажені капсули розміщуються на пічному поді для транспортування в піч. Щойно піч із висувним подом завантажується і вікно закривається, починається цикл нагрівання.

Піч з висувним подом також можна використовувати для випікання без засипного матеріалу. Потім зелені або просочені форми укладаються у вертикальні або горизонтальні рами.

Цикл, що використовується для операції випікання, складається з різних етапів і може змінюватись в залежності від характеристик печі, розміру продукту та вмісту в'язкої речовини. Гаряче повітря, що надходить з камери печі в процесі випікання, після обробки передається в димову трубу. Характеристики гарячого повітря залежать від етапу циклу нагрівання, у якому воно генерується.

Після завершення циклу випікання вікно відкривається, і під виймається з печі та транспортується на станцію розвантаження, де форми витягуються з каністр. Засипний матеріал, який міститься в капсулах, використовується повторно.

Тунельні печі використовуються для дрібномасштабного виробництва вуглецю спеціального призначення. У тунельну піч подають попередньо відформовані форми, які проходять через зону випалювання в капсулі, заповненій засипкою. Піч зазвичай працює на газі або рідкому паливі, а рекуператор зазвичай передбачений для підігрівання палива або повітря для згорання.

10.1.4 Процеси виробництва просочених форм

Просочення — необов'язковий етап, який виконується з метою покращення властивостей кінцевого продукту.

У випалені форми можуть бути додані пеки, смоли, розплавлені метали та інші реагенти (для спеціальних застосувань також можуть бути просочені графітові форми) і вони використовуються для заповнення порожнеч, що утворилися в карбонізованому матеріалі. Застосовуються просочення гарячим кам'яновугільним пеком у вакуумі або без нього та автоклавна обробка. Залежно від продукту використовуються різні технології просочення, такі як періодичні або квазібезперервні операції. Цикл просочення зазвичай передбачає підігрівання форм, просочення та охолодження. Можна також використовувати реактор затвердіння. Електроди, що підлягають просоченню, можуть бути підігріті теплом, що відходить термічного окисника.

Тільки вуглець спеціального призначення просочується різними металами.

10.1.5 Процеси виробництва повторно випалених форм із просочених форм

Повторне випікання використовується лише для просочених форм.

Просочені форми повторно випікають за температури до 1300 °C у різних печах, таких як тунельні, однокамерні, багатокамерні, кільцеві та штовхальні печі, залежно від розміру та складності виробу. Також здійснюється безперервне випікання. Операції в печі подібні до тих, що використовуються для процесу випікання форм, але печі зазвичай менші.

10.1.6 Процеси виробництва графітизованих форм

Потім випечені або повторно випечені форми можуть бути піддані графітизації.

Графіт виробляється шляхом перетворення випеченого вуглецевого матеріалу на графіт в процесі, що іменується графітизацією, який є термічною обробкою матеріалу за температури від 2200 ºC до 3300 ºC. У процесі графітизації більш-менш попередньо впорядкований вуглецевий матеріал перетворюється на просторово впорядковану графітову структуру. У промисловості використовуються печі двох типів, залежно від розмірів або форм виробів та використовуваної сировини. Гарфітизація виконується у печах Ачесона чи Кастнера.

Обидві печі є електричними печами опору, виготовленими з вогнетривкого матеріалу. Вони відрізняються способом подання струму в піч. У печі Ачесона форми поміщаються всередину корпусу печі, а порожнечі заповнюються коксо-графітовою сумішшю (резистивна засипка), і через резистивну засипку та форми пропускають струм. У печі Кастнера форми формують весь шлях струму і призводять до підвищення виходу за струмом.

Також використовують інші спеціалізовані печі, такі як тунельні печі, індукційні печі або вакуумні печі графітизації для продуктів спеціального призначення.

Печі Кастнера та Ачесона показані на Рисунку 10.4 та Рисунку 10.5.

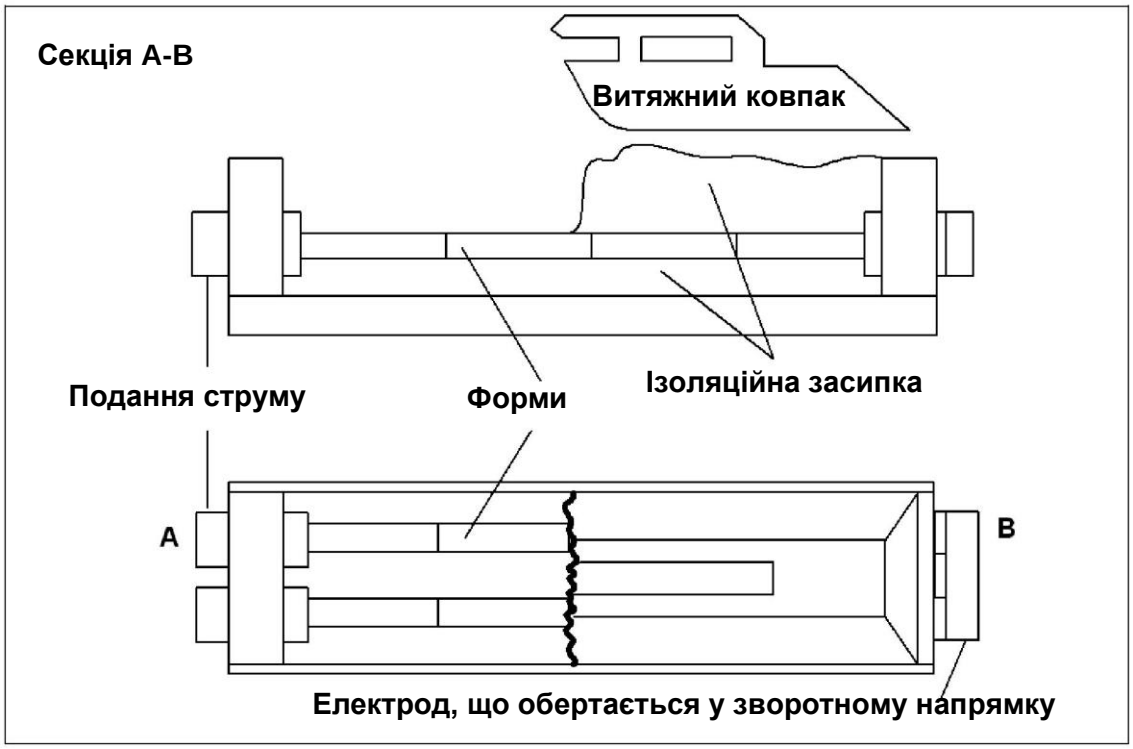


Рисунок 10.4: Піч графітизації Кастнера

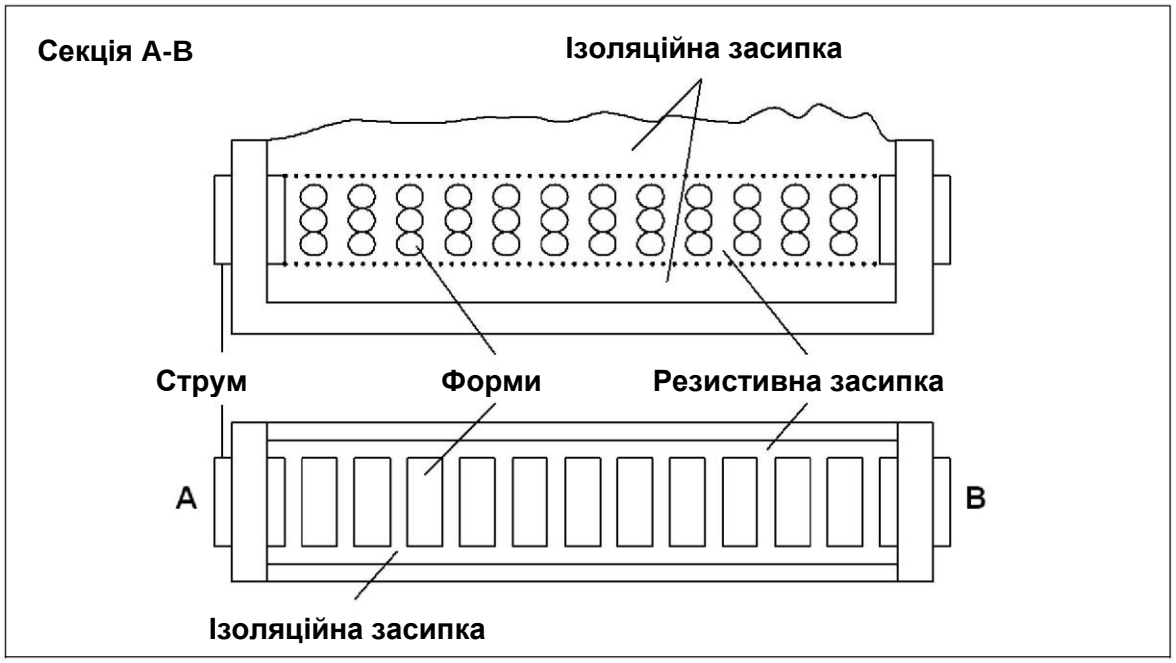


Рисунок 10.5: Піч графітизації Ачесона

У деяких випадках витяжні ковпаки не використовуються, якщо є лише незначні дифузні викиди пилу, а оксиди вуглецю добре розсіюються по лінії даху.

Піч Ачесона використовується для випікання або повторного випікання форм нестандартних розмірів та поперечних перерізів. Шихту печі розміщують блоками на горизонтальному шарі, зазвичай перпендикулярному вісі печі. Простір між цими сегментами заповнюється резистивним матеріалом, що складається з карбіду кремнію, коксу, суміші тирси та піску. Струм подається на запалювану шихту двома водоохолоджуваними головними електродами на вузьких стінках печі. Шихту теплоізолюють сумішшю коксу, піску, сажі та/або тирси, таким чином захищаючи

вуглецевий матеріал від окиснення. Оскільки електричний опір печі зменшується із збільшенням ступеня графітизації, живлення, що подається до головних електродів, контролюється та регулюється трансформаторами. Залежно від розміру печі та режиму її роботи, один робочий цикл, включно з охолодженням, триває від двох до шести тижнів.

Піч Кастнера використовується для форм з паралельними гранями та однаковими поперечними перерізами. Поздовжня графітизація (поздовжній ряд) характеризується прямим з'єднанням однієї шихти з іншою в ряд без використання резистивного матеріалу між ними. Ізоляція від окиснення і великих тепловтрат досягається за рахунок засипного матеріалу, що складається з коксу та графіту. Попередньо обпалені вуглецеві електроди затискаються між головними електродами печі та нагріваються пропусканням струму безпосередньо через завантаження. Цикли нагрівання варіюються від кількох годин до кількох днів, а цикл охолодження займає до 14 днів.

10.1.7 Процеси виробництва випечених, повторно випечених або графітизованих продуктів з механічною обробкою

Розпилювання, токарна обробка, свердління, помел та подібні механічні процеси використовуються для виготовлення випечених, повторно випечених та графітизованих форм відповідно до вимог замовника. Поверхні кінцевих форм обробляються відповідно до кінцевого використання. Після завершення механічної частини роботи можуть бути застосовані заходи для покриття поверхні для зменшення негативних наслідків вигорання в кінцевому пункті маршруту. Порошки, частки або пил, що утворюються в результаті цих процесів, вловлюються, вилучаються і зберігаються в силосах, мішках або закритих контейнерах, а потім, наскільки це можливо, повторно використовуються або переробляються.

10.1.8 Процеси виробництва вуглецевих та графітових продуктів спеціального призначення

Інші вироби з графіту, такі як ущільнення, щітки, тиглі та аналогічні вироби, виготовляються аналогічно графітовим електродам. Існують відмінності у розмірах та комплексності продуктів, і це впливає на використовувані процеси. Інші добавки, такі як сірка та метали, можуть бути додані до суміші сировинних матеріалів для надання необхідних фізичних властивостей продукту. Іноді замість смоли використовують пек.

Пористий графіт також виробляється в основному процесі шляхом усереднення тирси з сировиною. Під час випікання тирса спалюється і залишається пориста матриця з вуглецю або графіту.

Графіт високої чистоти виробляється аналогічним способом, але процес графітизації використовується для видалення домішок, таких як метали. У цьому випадку хлор або фреони використовуються в газовому потоці, і вони розкладаються з утворенням хлору та фтору, які вступають в реакцію з металевими домішками з утворенням летких солей, видаляючи таким чином метали з графіту. Поточна практика передбачає використання фреонів, вилучених з побутових приладів, і тому цей процес є корисним методом роботи з цими матеріалами. Надлишок галогенів і солей металів видаляють з відхідного газу за допомогою сухого або вологого скруберного очищення.

Також виготовляються продукти спеціального призначення, такі як вуглець, посилений вуглецевими волокнами, вуглецеві волокна та вуглецеві тканини, та використовується індукційна або шахтна піч. Процеси, що використовуються для виробництва вуглецевих волокон і пов'язаних з ними матеріалів, можуть включати акрилонітрил як прекурсор у вигляді поліакрилонітрильної тканини (тканини ПАН) або як просочувальний агент [128, Davies, N. 1998]. У цих випадках ціанистий водень та ціанід натрію можуть утворюватися на етапах нагрівання печі. Ціанід натрію можна перетворити за високих температур у присутності оксидів вуглецю на карбонат натрію. Для окиснення газів, що викидаються, використовується допалювач.

10.2 Поточні рівні викидів та споживання

Точки потенційних викидів різних етапів процесу показано на Рисунку 10.6.

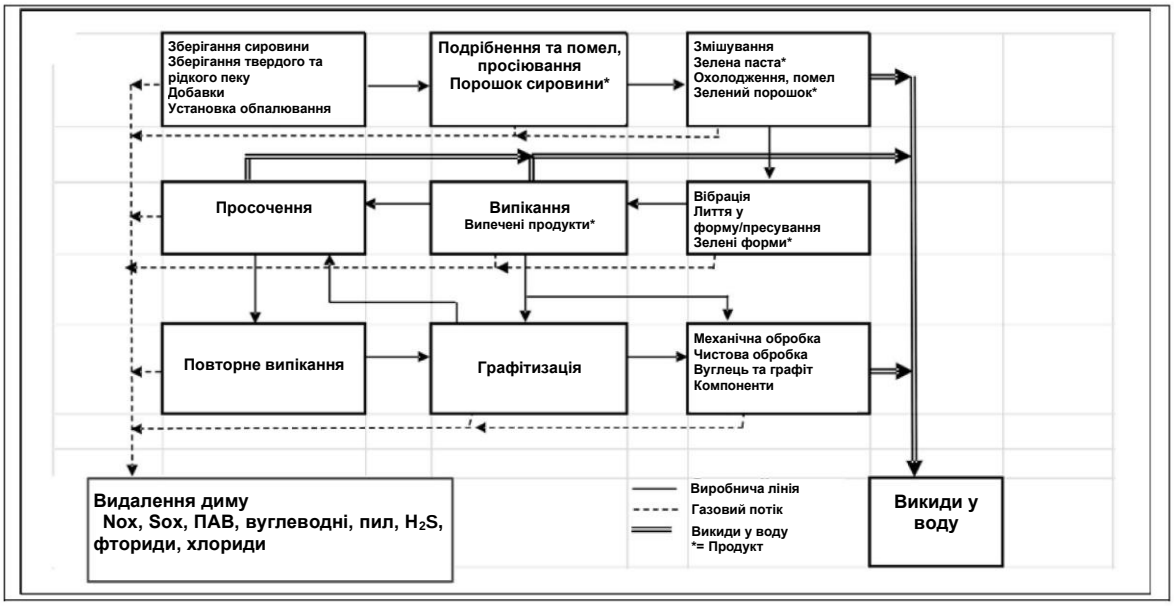


Рисунок 10.6: Загальна схема викидів процесів виробництва вуглецю та графіту

Споживання енергії у випіканні становить до 11 ГДж/т (включно зі споживанням енергії очисним обладнанням; печі зазвичай працюють на газі або рідкому паливі), а у графітизації — 9–20 ГДж/т.

10.2.1 Викиди в повітря

Викиди можуть виходити з процесу або у вигляді викидів з димових труб, або у вигляді дифузних викидів, залежно від віку заводу та використовуваної технології. Викиди з димових труб зазвичай контролюються безперервно або періодично в залежності від компонента, що вимірюється, а працівники на об'єкті або консультанти за межами об'єкта повідомляють про них компетентні органи.

Можливі викиди у повітря вуглеводнів (таких як ПАВ), діоксиду сірки, пилу та ціанідів (тільки у виробництві волокна з акрилонітрилу). На утворення SO_2 впливає паливо, сировина та інші добавки, що використовуються, тоді як утворення NO_X визначається температурою горіння.

У процесах виробництва вуглецю та графіту використовується комбінація таких технологій, як допалювачі, електростатичні фільтри, скрубери та рукавні фільтри. Пил з процесів поводження та механічної обробки уловлюється в рукавних фільтрах. Розчинники з етапів промивання виробництва спеціального вуглецю вловлюються і наскільки можна використовуються повторно або видаляються в біофільтрах.

Видалення ПАВ шляхом адсорбції у кокс залежить від температури. За більш високих температур легші речовини не будуть адсорбуватись. Сучасні печі попереднього обпалення забезпечують більш повне згорання Стару технологію непрямого охолодження перед сухим очищенням використовувати не можна, тому що відкладення становлять вже не рідка смола, а липкий порошок. Коксова засипка витрачається із розрахунку ~ 12–18 кг на тонну електрода [116, VDI 1998].

Можна використовувати коксові фільтри, але можна зробити висновок, що смоляна фракція, що виділяється в процесі випікання, є легкою фракцією, що конденсується. Вона може бути не повністю карбонізованою на наступних початкових етапах.

Тому існує велика ймовірність того, що не вся конденсована фракція буде зібрана, якщо для етапів випікання використовується тільки абсорбція у кокс. Значна частина смол може бути перероблена з коксового фільтрувального матеріалу під час підвищення температури етапу підігрівання печі.

Крім коксових фільтрів, видалення ПАВ у процесах виробництва вуглецю та графіту також можливе з використанням комбінації технологій, таких як допалювачі, регенеративні термічні окисники, сухі або мокрі скрубери, рукавні фільтри та електростатичні фільтри.

Існують також відмінності в характеристиках викидів залежно від того, чи використовуються відкриті або закриті печі для випікання. У деяких випадках (залежно від процесу випікання та продуктів, що виробляються) у відкритих печах спалюється більше летких вуглеводнів.

10.2.1.1 Поліциклічні ароматичні вуглеводні

Вугільні та графітові пасти та форми виготовляються з різних коксів та пеків. Викиди вуглеводнів та ПАВ можуть відбуватися під час зберігання, поводження та транспортуванні пеку, змішування та формування, випікання та просочення. ПАВ потенційно шкідливі для довкілля, а також всередині промислових підприємств, і це є важливою проблемою у вуглецевій та графітовій промисловості. Характеристики неочищеного газу наведені в [318, Hagen et al. 2007].

Значення ПАВ можуть бути дещо неточними. Існує кілька стандартизованих методів вимірювання та повідомлення ПАВ, і в цьому звіті використовувалися наступні групи: VDI-група I (2 сполуки), VDI-група II (7 сполук), VDI-група I+II (9 сполук), OSPAR 11 (11 сполук), EPA (16 сполук) та норвезький стандарт NS 9815 (16 сполук).

Сполуки ПАВ, виміряні та повідомлені за допомогою цих загальноприйнятих способів, показані у Таблиці 10.2.

Таблиця 10.2: Загальноприйняті способи повідомлення про викиди ПАВ

Сполуки ПАВ	PRTR	VDI-I	VDI-II	VDI-I+II	OSPAR 11	EPA	Норв. ст. (NS 9815)
Нафталін	X					X	
Аценафтилен						X	
Аценафтен						X	
Флуорен						X	
Фенантрен					X	X	X
Антрацен	X				X	X	X
Флуорантен					X	X	X
Пірен						X	X
Бензо(a)пірен	X	X		X	X	X	X
Дібенз(a,h)антрацен		X		X	X	X	X
Бенз(a)антрацен			X	X	X	X	X
Бенз(b)флуорантен	X		X	X	X	X	X
Бенз(j)флуорантен			X	X			
Бенз(k)флуорантен	X		X	X	X	X	X
Хризен			X	X	X	X	X
Індено(1,2,3-cd)пірен	X		X	X	X	X	X
Бензо(ghi)перилен					X	X	X
Бензо(b)нафто(2,1 -d)тіофен			X	X			
Бензо(a)флоурен							X
Бензо(b)флуорен							X
Бензо(e)пірен							X
Дібензо(a,e)пірен							X

Примітка: в рамках Європейського реєстру викидів та перенесення забруднювальних речовин (E-PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register), встановленого Регламентом (ЄС) №166/2006, ПАВ повинні вимірюватись для звітності про викиди у повітря у вигляді бензо(a)пірену, бенз(b)флуорантену, бенз(k)флуорантену та індено(1,2,3-cd)пірену. Дані щодо антрацену та нафталіну повинні повідомлятися окремо.

Перевага віддається конвенції EPA щодо звітності викидів ПАВ, оскільки вона сумісна з вимогами звітності PRTR [299, COM 2007]. Проте, низькомолекулярні ПАВ дуже чутливі до умов відбору проб та випробувань, тому дані EPA є більш неточними через можливу неповноту збору. У деяких країнах також стало загальновживаною практикою вказувати BaP у якості індикатора високомолекулярних ПАВ.

10.2.1.2 Пил

Під час виробництва викиди пилу відбуваються на всіх етапах процесу (обпалювання, зберігання, транспортування, подрібнення, просіювання, змішування, формування, випікання, графітизація та механічна обробка). Викиди переважно спричинені пилом, що утворюється в процесі подрібнення, просіювання та формування, а також газами карбонізації. Більшість виробничих етапів є закритими та обладнаними витяжними системами [116, VDI 1998]. Джерело пилу та характеристики його матеріалу впливають на метод усунення забруднення довкілля, що використовується для його видалення, та на його ефективність. Рукавні фільтри широко застосовуються.

У деяких випадках виготовлення вуглецевих та графітових виробів спеціального призначення для видалення пилу використовуються абсолютні фільтри, а потім очищене повітря використовується на робочому місці.

10.2.1.3 Газоподібні продукти згорання

Гази, що утворюються у процесі згорання газу або мазуту, виділятимуться в результаті процесу. Існує можливість викидів оксидів вуглецю та оксидів сірки та азоту. Зазвичай практикується оптимізація умов спалювання та використання пальників із низьким рівнем виходу NO_X, а вибір палива здійснюється залежно від місцевих умов та доступності.

10.2.1.4 Діоксид сірки

Сировина, з якої виготовляються продукти, містить сірку, і паливо, що використовується для нагрівання (нафта), також може містити сірку. Це призводить до викиду діоксиду сірки під час випікання та обпалювання коксу та вугілля [6, McLellan and Partners Ltd 1993]. Крім того, деякі продукти вимагають додавання сірки для покращення їх якості. Це може бути значним джерелом діоксиду сірки, і для його видалення іноді використовуються мокрі скрубери.

10.2.1.5 ЛОС (від виробництва вуглецевих та графітових спеціального призначення)

ЛОС можуть виділятися під час використання смол у якості в'язкої речовини або для просочення. Для їхнього контролю використовуються технології допалювання або адсорбції [116, VDI 1998]. На етапах промивання та сушіння у виробництві вуглецю спеціального призначення використовуються такі розчинники, як етанол. Ці матеріали є потенційними джерелами запахів і зазвичай видаляються у джерелі. Біофільтри використовуються для адсорбції та розкладання органічних сполук та видалення запахів із газового потоку. Газ попередньо зволожується і зазвичай проходить послідовно через ряд фільтрів. Біофільтри працюють у режимі періодичної дії з періодичною заміною біологічного субстрату (торф, хворост тощо). Досягаються рівні викидів ЛОС нижче 20 мг/Нм^3.

10.2.1.6 Ціаніди (виробництво вуглецевого волокна на основі поліакрилонітрилу (ПАН))

Ціаніди утворюються під час розкладання акрилонітрилу (в тканині ПАН), що використовується у виробництві вуглецевих волокон. Повідомляється про концентрації HCN на рівні 55 мг/Нм^3 у періоди, коли заходи боротьби з викидами були недоступні [128, Davies, N. 1998]. Допалювачі використовуються для розкладання ціанистого водню.

Ціанід натрію також може утворюватися, якщо тіоціанат натрію використовується як розчинник для акрилонітрилу. В цьому випадку натрій витісняється з вуглецевого волокна на етапі високотемпературної обробки, а під час охолодження утворюється твердий ціанід натрію. У присутності CO_2 за високих температур він переважно перетворюється на карбонат натрію Досягаються рівні викидів ціанідів нижче 2-5 мг/Нм^3.

10.2.1.7 ПХДД/Ф

Результати випробувань джерел викидів та установок боротьби з викидами у цьому секторі показують, що ПХДД/Ф не є актуальними для звичайних процесів виробництва вуглецю та графіту. Це необхідно перевіряти, якщо використовуються сполуки хлору або добавки.

10.2.1.8 Короткий огляд основних забруднювачів повітря

Відносна значущість викидів SO_2, галогенідів, вуглеводнів, ціанідів, NO_X та пилу від процесів, що використовуються у виробництві вуглецю та графіту, продемонстрована в Таблиці 10.3.

Таблиця 10.3: Відносна значущість потенційних викидів у повітря від виробництва вуглецю та графіту

Компонент	Обпалювання	Зберігання та поводження	Подрібнення та помел	Змішування та формування	Випікання	Просочення	Графітизація	Механічна обробка
Діоксид сірки	•• ([1])([2])	НЗ	НЗ	НЗ	•• ([1])([2])	НЗ	•• ([2])	НЗ
Вуглеводні, в тому числі ПАВ	НЗ	••• ([3]) • ([4])	•	••	•••	•••	НЗ	НЗ
Ціанід	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	•• ([5])	НЗ	•• ([5])	НЗ
Оксиди азоту	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	•• ([2])	НЗ	•• ([2])	НЗ
Пил	•	••	•••	••	•	НЗ	••	•••

([1]) З сировиною, яка містить сірку.
([2]) Газоподібні продукти згорання.
([5]) Висока концентрація під час завантаження. Твердий пек.
([6]) Висока концентрація під час завантаження. Рідкий пек.
([4]) З вуглецевими волокнами.
Примітка: ••• Більш значущі — • Менш значущі
НЗ = не застосовується.
Джерело: [226, Nordic Report 2008], [373, Grådahl et al. 2007]

У процесах виробництва вуглецю та графіту обпалювання вугілля та коксу зазвичай відбувається без використання будь-яких методів усунення забруднення довкілля. Діапазони викидів варіюються залежно від джерела тепла (матеріали, що обпалюються за допомогою електроенергії, або матеріали, що обпалюються за допомогою газу), як показано в Таблиці 10.4 та Таблиці 10.5.

Таблиця 10.4: Викиди від коксу та вугілля, що обпалюється за допомогою електроенергії

Джерело	Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (кг/т продукції)
Обпалювання (електричне)	Метод усунення забруднення довкілля не використовуються	SO_2	< 5
		NO_X	0,1–0,35

Таблиця 10.5: Викиди від коксу та вугілля, що обпалюється за допомогою природного газу

Джерело	Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/нм^3)
Обпалювання (природний газ)	Метод усунення забруднення довкілля не використовуються	Пил	< 20
		SO_2	< 150
		NOX	< 350
		BaP	0,01

Основні забруднювачі повітря та діапазони викидів, що досягаються різними методами усунення забруднення довкілля у виробництві вугільних та графітових електродів, показані в Таблиці 10.6.

Таблиця 10.6: Приклади діапазонів викидів для низки процесів виробництва вуглецю та графіту

Джерело	Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон концентрацій (мг/Нм^3)
Зберігання та поводження з матеріалом (кокс)	Циклон	Пил	20–150
	Рукавний фільтр	Пил	1–20 (до 30 у разі використання фільтрів для завантаження вантажівок або фільтрів на даху силосу)
Зберігання та поводження з матеріалом (пек)	Рукавний фільтр	Частки BaP	< 0,01 (для пека, що містить пил)
	Деаерація, конденсація	Вуглеводні	1–75
Подрібнення, змішування та формування ([1])	Тканинний фільтр	Пил	1–20
	Термічний окисник	Пил	9–20
		BaP	0,01–0,05
		SO_2	< 150 (у випадку додавання сірки в процес використовується мокрий скрубер)
		NO_X	< 100
	Регенеративний термічний окисник	Пил	1–20
		BaP	0,002–0,01
		NO_X	< 10
	Сухий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра	Пил	1–20
		BaP	0,002–0,05
Випікання	Рукавний фільтр	Пил	< 20 (для поводження із засипкою)
	Електростатичний фільтр	Пил	1–20
		BaP	< 0,1–0,3
	Термічний окисник	Пил	1–40
		Вуглеводні	2–17
		Бензол	0,15–7,5
		BaP	0,01–0,05
		SO_2	50–330
		NO_X	< 500
	Термічний окисник та мокрий або сухий скрубер ([2])	Пил	< 20
		BaP	0,01–0,05
		SO_2	10–90 (у випадку додавання сірки в процес використовується мокрий скрубер)
		NOX	50–70
	Регенеративний термічний окисник	Пил	3–20
		BaP	0,01–0,1
		SO_2	< 90
		NOX	< 100
	Електростатичний фільтр та регенеративний термічний окисник	Пил	2–20
		BaP	0,003–0,05
		SO_2	< 100
		NOX	< 100
	Регенеративний термічний окисник та сухий скрубер	Пил	2–20
		BaP	< 0,05
		SO_2	< 200 (у випадку додавання сірки в процес використовується сухий скрубер)
	Електростатичний фільтр та сухий скрубер	Пил	2–20
		BaP	< 0,02
		SO_2	< 100
Просочення	Термічний окисник	Пил	1–200

		BaP	0,001–0,05
		Вуглеводні	3,5–7,5
		ПАВ	0,0002–0,2
		Бензол	0,4–7,5
		SO_2	100–200
		NO_X	80–200
	Сухий скрубер	Пил	2–20
		BaP	0,0005–0,01
Повторне випікання	Термічний окисник	Пил	< 35
		BaP	< 0,003
		SO_2	5-330
		NOX	< 500
Графітизація	Рукавний фільтр	Пил	1–20
		Вуглеводні	1–25
Механічна обробка та формування	Рукавний фільтр	Пил	1–20
		Вуглеводні	1–25
([1]) Через те, що швидкість потоку в зонах подрібнення, змішування та формування нижче, ніж викиди, що виникають в результаті цих процесів, в багатьох випадках ці відхідні гази обробляються в системах боротьби з викидами, доступних на інших етапах (наприклад, процес випікання). ([2]) Мокрі або сухі скрубери використовуються тільки у випадку використання спеціальних добавок. *Джерело*: [345, UBA (D) 2009], [381, ECGA 2012]			

У РТО різні ПАВ не руйнуються однаковою мірою; високомолекулярні ПАВ видалити важче. 16 речовин, що зазвичай повідомляються, належать до різних класів забруднювальних речовин з точки зору токсичності.

У Таблиці 10.7 показаний ступінь руйнування деяких ПАВ в РТО та результат попередньої обробки

Таблиця 10.7: Ступінь руйнування деяких ПАВ у РТО

Параметр	Одиниці вимірювання	До попередньої обробки	Після попередньої обробки	Після РТО
Швидкість потоку	$м^3$/год	НД	НД	56 150
Температура	°C	НД	НД	151
O_2	% об.	НД	НД	18,4
Пил	мг/$нм^3$	НД	НД	5,6
Бензол	мг/Нм	НД	НД	< 0,03
CO	мг/$нм^3$	НД	НД	3,8
NO_X (у перерахунку на NO_2)	мг/$нм^3$	НД	НД	62,6
ЗЛОС	мг/Нм	НД	НД	8,9
ПАВ				
Нафталін	мг/Нм	6,1	6,0	0,021
2-Метилнафталін	мг/$нм^3$	2,8	2,8	0,012
1-Метилнафталін	мг/$нм^3$	2,0	1,9	0,012
Аценафтилен	мг/Нм	2,3	2,1	0,021
Аценафтен	мг/$нм^3$	2,9	0,5	0,026
Фтор	мг/Нм	2,9	2,6	0,043
Фенантрен	мг/$нм^3$	40,9	39,5	1,104
Антрацен	мг/$нм^3$	6,3	5,9	0,154
Флуорантен	мг/Нм	46,3	50,3	3,445
Пірен	мг/$нм^3$	30,6	32,8	2,524
Хризен	мг/Нм	22,9	23,3	3,155
Бенз(a)антрацен	мг/$нм^3$	12,3	12,3	1,314
Бенз(b+k)флуорантен	мг/$нм^3$	16,3	17,1	1,739
Бензо(a)пірен	мг/Нм	3,5	4,4	0,386
Дібенз(a,h)антрацен	мг/$нм^3$	0,4	0,4	0,035
Індено(cd)пірен	мг/Нм	1,8	1,8	0,149
Бензо(g,h,i)перилен	мг/$нм^3$	1,8	1,8	0,138
Примітка: НД = немає даних. *Джерело*: [345, UBA (D) 2009]				

У Таблиці 10.8 показані діапазони викидів від РТО, що працюють у процесах випікання та повторного випікання вуглецю та графіту.

Таблиця 10.8: Приклад викидів від РТО, що працюють у процесах випікання та повторного випікання вуглецю та графіту

Продукція Тип печі Тип боротьби з викидами	**Графітовий електрод Відкрита піч РТО**	**Графіт спеціального призначення Відкрита піч Електростатичний фільтр + РТО**	**Катод Відкрита піч РТО**	**Графітовий електрод Закрита піч РТО**
Компонент	Діапазон значень ($мг/нм^3$)	Середнє значення 4 вимірювань на добу ($мг/нм^3$)	Середнє значення ($мг/нм^3$)	Діапазон значень ($мг/нм^3$)
ПАВ - EPA 16	2,61–19,45	0,989	1,535	2–16
BaP	0,045–0,3	0,015	0,012	0,1–1,0
Бензол	НД	НД	НД	< 1,0
Пил	НД	НД	НД	< 20
Примітка: НД = немає даних.				

10.2.2 Викиди у воду

Виробництво вуглецевих та графітових форм за своєю природою є сухим процесом. Проте, необхідні кілька циклів водяного охолодження.

Процес охолодження може виконуватися з використанням систем непрямого водопостачання, що призводить до скидання чистої охолоджувальної води. Системи непрямого водопостачання можна використовувати для охолодження димових газів, щоб зробити їх придатними для очищення за допомогою звичайних технологій, таких як рукавні фільтри та електростатичні фільтри.

Скидання технологічних стічних вод зазвичай обмежуються охолоджувальною водою (наприклад, для охолодження зелених форм). Охолоджувальна вода, що використовується для прямого охолодження зелених та/або просочених форм, піддається належному очищенню або скидається як стічні води. При очищенні седиментацією нерозчинні матеріали, такі як ПАВ видаляються у вигляді осаду і скидаються відповідно до національних норм.

Значну кількість стічних вод може бути скинуто в результаті використання мокрих систем для контролю забруднення повітря. Стічні води, що утворюються у мокрих системах, розглядаються як вплив методів боротьби з викидами на різні компоненти довкілля. Мокрі скрубери та біофільтри є джерелами забруднених стічних вод, які згодом необхідно скидати.

Дощові стоки з поверхонь та дахів можуть містити вугільний пил та супутні матеріали. Відкрите зберігання сировини та осадження твердих викидів є джерелом потенційного забруднення. Вживаються заходи щодо недопущення скидання забрудненої дощової води.

10.2.3 Технологічні залишки

Виробництво вуглецю та графіту пов'язане з утворенням декількох побічних продуктів, залишків та відходів, що складаються з твердих вуглецевих матеріалів, смоли, пеку та сумішей, які зіставними зі звичайними товарними продуктами.

Ці матеріали значною мірою утворюються у вигляді пилу або крупнозернистого матеріалу, зберігаються в силосах або біг-бегах і, за необхідності, після процесу фізичної підготовки зазвичай повторно використовуються у виробничому економічному циклі.

Залишки, отримані на етапах механічної підготовки та механічної обробки, зазвичай придатні для повторного використання в процесі у якості сировини або переробляються в

інших процесах як паливо або карбюризатор, в залежності від характеристик. У деяких випадках карбюризований або графітизований матеріал навмисно виробляється, щоб його можна було повернути у якості сировини у виробничий процес в контрольованих умовах.

Вогнетривка цегла з обпалювальних печей може бути повторно використана для інших цілей після очищення або утилізована як відходи.

Відпрацьований біологічний субстрат також утилізується, але має певну цінність як ґрунтополіпшувач за умови, що токсичні компоненти зруйновані.

До інших залишків відноситься матеріал, що видаляється в процесі етапів формування, різання та подрібнення разом із фракціями смоли або пеку. Залежно від матеріалу вони зазвичай підходять для перероблення в процесі у якості сировини або в інших процесах у якості палива або карбюризатора.

10.3 Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ

У розділах цього документа під назвою «Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ» викладено технології, які зазвичай мають потенціал для досягнення високого рівня захисту довкілля в галузях, що охоплюються цим документом. Передумови способу опису технологій надано у Розділі 2.12 та Таблиці 2.10.

У цьому розділі наведено ряд технологій запобігання або зменшення викидів та залишків, а також технологій зниження загального споживання енергії. Усі вони представлені на ринку. Приклади наведено для демонстрації технологій, що демонструють хороші екологічні показники. Технології, наведені у якості прикладів, ґрунтуються на інформації, наданій галуззю, країнами-членами ЄС, а також на оцінці Європейським бюро з комплексного запобігання та контролю забруднення. Загальні технології, описані у Главі 2 стосовно загальних технологічних процесів, значною мірою застосовні до процесів у цьому секторі та впливають на те, як контролюються та керуються основні та супутні процеси.

10.3.1 Отримання сировини, поводження з нею та зберігання

10.3.1.1 Технології зниження викидів під час зберігання, поводження та транспортування твердих речовин

Загальні технології, що застосовуються для зменшення дифузних викидів від зберігання, поводження та транспортування сировини для виробництва вуглецю та графіту, розглядаються у Главі 2 (див. Розділ 2.12.4.1) та у ДДНДТ щодо викидів зі складів [290, COM 2006]. Технології, пов'язані зі зберіганням та поводженням з коксом та пеком, залежать від сектора.

Опис
Технологіями, які слід враховувати, є: використання рукавного фільтра (див. Розділ 2.12.5.1.4) або використання циклону (див. Розділ 2.12.5.1.3) у поєднанні з рукавним фільтром.

Технічний опис
Сировина, така як антрацит, кокс, твердий пек, зелений порошок та деякі порошкові добавки, може утворювати пил під час зберігання, транспортуванні та під час процесів механічної попередньої обробки, таких як подрібнення. Ці викиди зазвичай знижуються за допомогою рукавних фільтрів (див. розділ 2.12.5.1.4).

Можуть виникати вищі викиди під час спеціальних процесів, що утворюють пил, таких як заповнення силосів та завантаження вантажівок через підвищені «навантаження» викидів протягом дуже обмежених періодів часу.

Досягнуті екологічні переваги
- Зменшення викидів пилу.
- Зниження викидів твердих часток ПАВ.
- Повторне використання пилу у технологічному процесі, де це можливо.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Європейська асоціація вуглецю та графіту (ECGA (European Carbon and Graphite Association)) повідомила про викиди пилу після очищення за допомогою рукавного фільтра.

Таблиця 10.9: Діапазон викидів на основі заводських даних від поводження, зберіганні та транспортуванні

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Рукавний фільтр	Пил	< 1–15
	BaP (1)	< 0,01
(1) Якщо твердий пек обробляється в особливих випадках, рукавний фільтр може використовуватись для зменшення викидів часток BaP. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]		

Значення до 30 мг/Нм^3 можуть бути досягнуті у випадку використання фільтрів для завантаження вантажівок або фільтрів на даху силосу [345, UBA (D) 2009]

Вплив на різні компоненти довкілля
- Збільшення енергоспоживання.
- Утворення стічних вод, якщо пил не придатний для повторного використання.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Загальнозастосовна.

Економічні аспекти
Інвестиційні витрати сильно відрізняються в залежності від характеру та масштабу процесу. Вартість установки потужністю 20 000–50 000 м^3/год оцінюється у близько 60 000–250 000 євро і не передбачає інші додаткові витрати, наприклад, на встановлення, енергоносії, введення в експлуатацію тощо. Витрати на утримання оцінюються приблизно в 10 000–50 000 євро/рік.

Стимул до впровадження
- Зменшення впливів на довкілля.
- Економія матеріалів. У більшості випадків і в залежності від інгредієнтів, суміші, розміру зерна та вимог до якості, вловлений пил може бути використаний повторно або проданий як побічний продукт.

Приклади заводів
Майже всі установки-члени Європейської асоціації вуглецю та графіту (ECGA).

Довідкова література
[381, ECGA 2012]

10.3.1.2 Технології зниження викидів під час зберігання, поводження та транспортування рідкого пеку

Опис
Технології, які слід розглянути:

- деаерація газів з резервуарів;
- конденсація;
- Сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3).
- термічний окисник (ТО) або регенеративний термічний окисник (РТО) (див. Розділ 2.12.5.2.1) (за необхідності у поєднанні з попередньою обробкою, наприклад, в електростатичному фільтрі, див. Розділ 2.12.5.1.1).

Технічний опис
Через те, що швидкість потоку під час використання рідкого пеку відносно невелика, ці операції з поводження та зберігання поєднуються з такими системами боротьби з викидами, як сухі скрубери (описані в Розділі 2.12.5.2.3) та ТО/РТО (описані в Розділі 2.12.5.2.1) інших етапів процесу (наприклад, змішування та формування або процесу випікання).

10.3.2 Операції попередньої обробки матеріалу

10.3.2.1 Технології зниження викидів під час обпалювання вугілля та коксу

Жодні специфічні методи боротьби з викидами не використовуються. Значення викидів, отриманих для кальцинаторів як з електричним, так і газовим нагрівом, наведені в Розділі 10.2.

10.3.2.2 Технології зниження викидів від механічної підготовки сировини, такої як подрібнення та просіювання

Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра. Викиди, пов'язані з роботою рукавних фільтрів після операцій подрібнення, наведено в Розділі 10.3.1.1.

10.3.3 Виробництво вуглецю та графіту

10.3.3.1 Технології зниження викидів пилу та ПАВ від змішування та формування (виробництво зеленої пасти та зелених форм)

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3), що використовує пил як адсорбент, за яким застосовується рукавний фільтр; йому може передувати конденсація;
- фільтр з активованим коксом;
- ТО та РТО (див. Розділ 2.12.5.2.1).

Технічний опис
Змішування та формування матеріалу, що містить пек, може призвести до викиду вуглеводнів, особливо за високих температур. Ці викиди можуть конденсуватися, адсорбуватися або піддаватися термічному окисленню.

Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4)
Як правило, він не застосовується для уловлювання викидів ПАВ, а лише для коксового пилу.

Конденсація
Конденсація може бути досягнута шляхом зовнішнього та/або внутрішнього охолодження повітряними та/або водяними системами. Конденсація часто досягається в колоні-кондиціонері. Конденсовані частки вуглеводнів можуть бути видалені з димових газів за допомогою адсорбційних скруберів або електростатичних фільтрів.

Сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3) з подальшим застосуванням рукавного фільтра
Пил вводиться перед вловлюванням відхідних газів, а обладнання для вловлювання пилу використовується на наступному етапі для видалення пилу з адсорбованою забруднювальною речовиною. Хоча в якості пиловловлювачів можна використовувати як рукавні фільтри, так і електростатичні фільтри, як правило, перевага надається рукавним фільтрам через їх підвищену ефективність уловлювання та використання очисних середовищ. Частина пилу, вловленого в рукавному фільтрі, може бути рециркульована кілька разів у мережі скруберів, щоб досягти належного змішування диму та пилу. Цей очисний матеріал повинен періодично видалятися з системи та часто повторно використовується у виробничому процесі або переробляється в інших процесах, або, в окремих випадках, видаляється для утилізації. Типовий сухий адсорбційний скрубер з введенням пилу та видаленням пилу показаний на Рисунку 10.7.

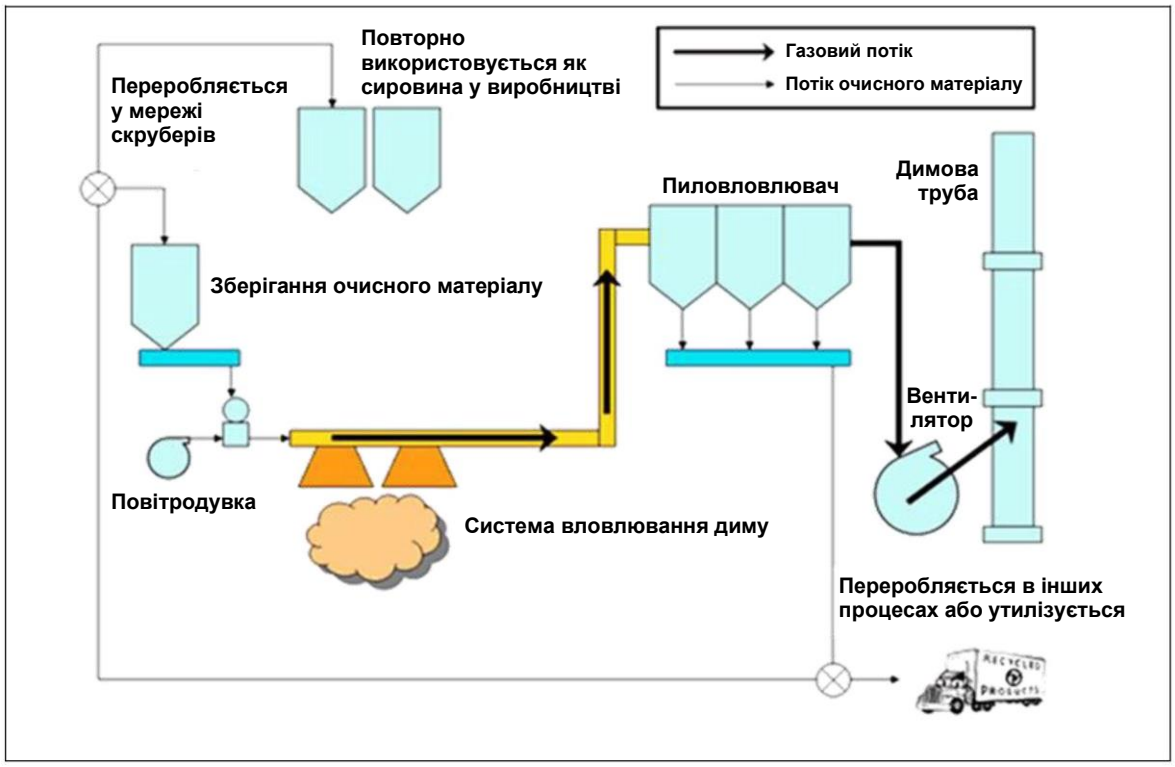


Рисунок 10.7: Сухий адсорбційний скрубер з введенням пилу та видаленням пилу

У виробництві вугільних і графітових електродів це найчастіше використовувана технологія адсорбції на цьому етапі процесу.

ТО та РТО (див. Розділ 2.12.5.2.1)
Технології термічного окислення, такі як системи ТО та РТО, також використовуються для зменшення викидів з цеху виробництва пасти та зелених форм. Залежно від конфігурації установки відхідні гази від змішування та формування можна обробляти в ТО/РТО, спеціально призначеному для процесів змішування та формування (один завод повідомляє про використання РТО, спеціально призначеного для змішування диму) або в ТО/РТО, що використовується на етапі випікання (де РТО необхідно використовувати у поєднанні з попередньою обробкою, наприклад, в електростатичному фільтрі), при цьому останній варіант є найпоширенішим.

Досягнуті екологічні переваги
Рукавний фільтр
Зменшення дифузних викидів пилу.

Сухий скрубер або фільтр з активованим коксом
- Зменшення викидів пилу та вуглеводнів.
- У деяких випадках введення пилу очищає внутрішні стінки трубопроводів.

Термічний окисник або регенеративний термічний окисник
- Зменшення викидів вуглеводнів.
- У деяких випадках, таких як виробництво графіту спеціального призначення, для видалення H_2S потрібне використання ТО (або коксу з вапняним покриттям).

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавний фільтр

Таблиця 10.10: Діапазон викидів на основі заводських даних для рукавного фільтра на етапі змішування та формування

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Рукавний фільтр	Пил	< 1–10
	BaP	≤ 0,001 (тільки у випадку низькотемпературних процесів, коли ПАВ залишається у твердій фазі)
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Мокрий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра

Таблиця 10.11: Діапазон викидів на основі заводських даних для сухого скрубера на етапі змішування та формування

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Сухий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра	Пил	< 1–12
	Bap	<0,01
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Фільтр з активованим коксом

Таблиця 10.12: Діапазон викидів на основі заводських даних для фільтра з активованим коксом на етапі змішування та формування

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Фільтр з активованим коксом	Пил	1–8
	BaP	0,001
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Термічний окисник

Таблиця 10.13: Діапазон викидів на основі заводських даних для термічного окисника на етапі змішування та формування

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Термічний окисник	Пил	1–15
	BaP	Жодних заводських даних не надано
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

РТО

Таблиця 10.14: Діапазон викидів на основі заводських даних для регенеративного термічного окисника на етапі змішування та формування

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
РТО	Пил	< 1–10
	BaP	< 0,01
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Вплив на різні компоненти довкілля

Рукавний фільтр

- Збільшення споживання енергії.

- Утворення стічних вод, якщо уловлений пил не придатний для повторного використання.

Сухий скрубер або фільтр з активованим коксом
Утворення відходів (хоча вони рідко відправляються на утилізацію, оскільки їх зазвичай можна використовувати повторно).

Термічний окисник або регенеративний термічний окисник
- Збільшення енергоспоживання. РТО може знизити споживання енергії на 70% у порівнянні з ТО.
- Збільшення викидів CO_2 та NO_X

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Рукавний фільтр
Загальнозастосовна.

Сухий скрубер або фільтр з активованим коксом
Технологія введення пилу може застосовуватися тільки на заводах з достатньою кількістю матеріалу для використання у якості очисного матеріалу. Як правило, очисний матеріал вилучають з систем знепилення заводів.

Термічний окисник або регенеративний термічний окисник
Технічні особливості, пов'язані із застосуванням ТО і РТО, наведені в Розділі 10.3.3.2.

Економічні аспекти
Сухий скрубер
Інвестиційні витрати на установку сухого очищення продуктивністю 50 000 $м^3$/год становлять приблизно 1,4 млн євро (без урахування колекторної мережі, з урахуванням витрат на встановлення).

Термічний окисник або регенеративний термічний окисник
Економічні аспекти для ТО та РТО наведені у Розділі 10.3.3.2.

Стимул до впровадження
Рукавний фільтр
Зменшення дифузних викидів пилу.

Сухий скрубер або фільтр з активованим коксом
- Зменшення викидів пилу та вуглеводнів.
- Відновлення пилу та пеку.

Термічний окисник або регенеративний термічний окисник
Зменшення викидів вуглеводнів.

Приклади заводів
- Рукавний фільтр: Заводи 1, 4, 5, 9, 10 та 14.
- Сухий скрубер із вдуванням пилу з подальшим використанням рукавного фільтру: Заводи 5, 7, 8, 12, 13, 14, 18, 21 та 22.
- Фільтр з активованим коксом: Завод 7.
- ТО: Завод 1.
- РТО: Заводи 4, 9, 10, 15 та 16.
- РТО та електростатичний фільтр: Завод 11.

Довідкова література
[381, ECGA 2012]

10.3.3.2 Технології зниження викидів під час випікання та повторного випікання

Опис
Технології, які слід розглянути:
- Рукавний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- Електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1);
- ТО та РТО (див. Розділ 2.12.5.2.1);
- мокрий (див. Розділ 2.12.5.2.2) та/або сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3).

Технічний опис
Електростатичні фільтри, ТО та РТО є найчастіше застосовуваними технологіями боротьби з викидами з печей для випікання та повторного випікання. Мокрі та сухі скрубери переважно застосовуються для видалення сполук сірки. Щодо конфігурацій для окремого об'єкту, зазвичай використовується комбінація вищезазначених технологій.

Рукавний фільтр
Рукавні фільтри використовуються тільки для поводження з коксовою засипкою.

Електростатичний фільтр (див. Розділ 2.12.5.1.1).
Електростатичний фільтр є найчастіше використовуваним пристроєм для очищення вихлопних газів, що містять смолу, у виробництві вугільних та графітових електродів, зазвичай разом з РТО, особливо через леткі компоненти відпрацьованого газу.

Пластини для осадження електростатичного фільтра діють як пластини для конденсації. У деяких випадках, залежно від характеристик матеріалу, конденсована смола з фільтра може використовуватися як паливо в кільцевій печі або РТО. В іншому випадку її потрібно скидати.

Належний розподіл газу забезпечується спеціально розробленими газорозподільними елементами (відвідна лінія), які не забиваються навіть віскозною смолою. Для досягнення належного розділення оптимальний діаметр крапель смоли становить 200–300 мкм. Це може бути досягнуто шляхом введення струменя води під тиском у потік вихлопних газів, який тече в зустрічному напрямку. Найкращі результати очищення досягаються за температури газу 50–75 ºC. Якщо електростатичний фільтр використовується у поєднанні з РТО, введення води зазвичай не застосовується. Електростатичний фільтр знижує вміст низьколетких вуглеводнів з ефективністю > 95 %. Інші легколеткі вуглеводні руйнуються в РТО або ТО за температури >750 ºC.

Термічний окисник (див. Розділ 2.12.5.2.1)
За високої концентрації та відносно низького потоку диму ТО може використовуватися як хороший компроміс між ефективністю, споживанням енергії та інвестиційними витратами.

РТО (див. Розділ 2.12.5.2.1)
Залежно від характеру вихлопних газів, РТО може вимагати застосування технологій попередньої обробки. Наприклад, було показано, що у випадках високого навантаження неочищеного газу використання РТО у якості автономної технології не дозволяє досягти досить низьких значень викидів. У цих випадках гази повинні бути попередньо оброблені перед РТО для зменшення вмісту смол (особливо довголанцюгових вуглеводневих компонентів).

Найбільш поширеною технологією попередньої обробки є електростатичний фільтр. Якщо неможливо використовувати електростатичний фільтр через ефект охолодження, можна використовувати фільтр з керамічним шаром (керамічні фільтри не застосовуються в європейській вуглецевій та графітовій промисловості).

Мокрий (див. Розділ 2.12.5.2.2) та сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3).
У деяких випадках до певних матеріалів необхідно додавати сірку для надання матеріалам та продуктам особливих властивостей. Крім того, деякі види сировини та горючих речовин містять сірку. Мокрі та/або сухі скрубери є основним методом усунення забруднення довкілля, що застосовується для очищення газів від сполук сірки.

Досягнуті екологічні переваги
Рукавний фільтр
Зменшення викидів пилу.

Електростатичний фільтр
Зменшення викидів пилу та летких вуглеводнів.

Термічний окисник або регенеративний термічний окисник
Зменшення викидів вуглеводнів.

Мокрий та/або сухий скрубер
Зменшення викидів сполук сірки.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Викиди, повідомлені у процесі випікання:

Рукавний фільтр (поводження з коксовою засипкою)

Таблиця 10.15: Діапазон викидів на основі заводських даних для поводження з коксовою засипкою

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Рукавний фільтр	Пил	0,5–15
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Електростатичний фільтр

Таблиця 10.16: Діапазон викидів на основі заводських даних для електростатичного фільтра на етапі випікання

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Електростатичний фільтр	Пил	< 1–12
	BaP	< 0,2
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Термічний окисник

Таблиця 10.17: Діапазон викидів на основі заводських даних для термічного окисника на етапі випікання

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Термічний окисник	Пил	5–20
	SO_2 ([1])	44–220
	NO_X	80–400
	BaP	≤ 0,01
([1]) Верхнє значення діапазону SO_2 можна пояснити вищим вмістом сірки в сировині, паливі, що використовується у печах та набивних матеріалів. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]		

РТО

Таблиця 10.18: Діапазон викидів на основі заводських даних для регенеративного термічного окисника на етапі випікання

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
РТО	Пил	2,5–11
	SO_2	< 90
	NO_X	35–100
	BaP	< 0,35
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Термічний окисник та мокрий скрубер

Таблиця 10.19: Діапазон викидів на основі заводських даних для термічного окисника та мокрого скрубера на етапі випікання

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3) ([1])
Термічний окисник та мокрий скрубер	Пил	9–20
	SO_2	10–90
	NO_X	50–70
	BaP	< 0,01
([1]) Діапазон викидів, заснований лише на даних з одного заводу. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]		

Електростатичний фільтр або регенеративний термічний окисник

Таблиця 10.20: Діапазон викидів на основі заводських даних для електростатичного фільтра та регенеративного термічного окисника на етапі випікання

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Електростатичний фільтр та РТО	Пил	< 5–10
	SO_2	40–100
	NO_X	32–100
	BaP	< 0,02
	ЗЛОС	1–10
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

РТО та сухий скрубер

Таблиця 10.21: Діапазон викидів на основі заводських даних для РТО та сухого скрубера на етапі випікання

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3) ([1])
РТО та сухий скрубер	Пил	< 5
	SO_2	< 200
	NO_X	16–20
	BaP	< 0,01
([1]) Діапазон викидів, заснований лише на даних з одного заводу. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]		

Електростатичний фільтр та фільтр з активованим коксом

Таблиця 10.22: Діапазон викидів на основі заводських даних для електростатичного фільтра та фільтра з активованим коксом на етапі випікання

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3) ([1])
Електростатичний фільтр та фільтр з активованим коксом	Пил	1,8–15
	SO_2	26–65
	NOX	8–27
	CO	366–892
	BaP	0,01–0,02
	Толуол	0,5–1,1
	Ксилени	0,5–1,7
([1]) Діапазон викидів, заснований лише на даних з одного заводу. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]		

Викиди, повідомлені у процесі повторного випікання:

Рукавний фільтр

Таблиця 10.23: Діапазон викидів на основі заводських даних для рукавного фільтра на етапі повторного випікання

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Рукавний фільтр	Пил	< 5
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Термічний окисник

Таблиця 10.24: Діапазон викидів на основі заводських даних для термічного окисника на етапі повторного випікання

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Термічний окисник	Пил	5–20
	SO_2 ([1])	4–220
	NOX	12–400
	BaP	< 0,003
([1]) Верхнє значення діапазону SO_2 можна пояснити вищим вмістом сірки в сировині, паливі, що використовується у печах та набивних матеріалів. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]		

Вплив на різні компоненти довкілля

Рукавний фільтр

- Збільшення споживання енергії.
- Утворення стічних вод, якщо уловлений пил не придатний для повторного використання.

Електростатичний фільтр

- Збільшення споживання енергії.
- Утворення стічних вод, якщо уловлений пил не придатний для повторного використання.

Термічний окисник або регенеративний термічний окисник

- Збільшення енергоспоживання. Якщо попередня обробка не застосовується, РТО може знизити споживання енергії на 70% у порівнянні з ТО.
- Збільшення викидів CO_2 та NO_X

Мокрий та/або сухий скрубер
- Утворення відходів (хоча вони рідко відправляються на утилізацію, оскільки їх зазвичай можна використовувати повторно).
- Утворення стічних вод у випадку мокрого скрубера.

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням
Електростатичний фільтр або регенеративний термічний окисник
Загальнозастосовна.

Термічний окисник
ТО не застосовні до кільцевих печей безперервної дії, оскільки вони потребують дуже великої кількості енергії для нагрівання великого обсягу димів, що обробляються.

Сухий скрубер
Введення пилу може застосовуватися тільки на заводах з достатньою кількістю матеріалу для використання у якості очисного матеріалу. Як правило, очисний матеріал вилучають з систем знепилення заводів.

Економічні аспекти
Термічний окисник
Інвестиційні витрати становили 1 мільйон євро для потужності 30 000 $Нм^3$/год диму (Франція).

ТО передбачає набагато менші інвестиційні витрати, ніж РТО.

РТО
У Німеччині у 2011 році було побудовано та запущено два нових РТО потужністю близько 60 000 $Нм^3$/год кожен, що призвело до витрат 2 млн євро для кожного, з урахуванням допоміжних установок.

Французький завод інвестував 8 мільйонів євро в обладнання РТО, запущеного у 2013 році.

Стимул до впровадження
Рукавний фільтр
Зменшення викидів пилу.

Електростатичний фільтр
Зменшення викидів пилу та вуглеводнів.

Термічний окисник або регенеративний термічний окисник
Зменшення викидів вуглеводнів.

Мокрий та/або сухий скрубер
- Зменшення викидів сполук сірки.
- Зменшення викидів вуглеводнів (сухий скрубер).

Приклади заводів
- Рукавний фільтр: Заводи 3, 4, 5, 8, 11, 21 та 22.
- Електростатичний фільтр: Заводи 1, 4, 5, 6, 8 та 20.
- Термічний окисник: Заводи 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 18, 19, 21 та 22.
- Регенеративний термічний окисник: Заводи 10, 14 та 20.
- Термічний окисник та мокрий скрубер: Завод 9.
- Електростатичний фільтр та регенеративний термічний окисник: Заводи 2, 4, 5 та 11.
- Регенеративний термічний окисник та сухий скрубер: Завод 1.
- Електростатичний фільтр та фільтр з активованим коксом: Завод 7.

Довідкова література
[381, ECGA 2012]

10.3.3.3 Технології зниження викидів, що утворюються від просочення

Опис
Технології, які слід розглянути:

- Сухий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.3).
- Фільтр з активованим коксом.
- Термічний окисник (див. Розділ 2.12.5.2.1).
- Мокрий скрубер (див. Розділ 2.12.5.2.2), біофільтр або біоскрубер. Біофільтр складається із шару органічного матеріалу, у якому забруднювальні речовини з потоків відпрацьованих газів піддаються біологічному окисненню природними мікроорганізмами. Біоскрубери поєднують в собі мокре очищення газу (абсорбцію) та біологічне розкладання; промивна вода містить популяцію мікроорганізмів, що підходять для окиснення шкідливих компонентів газу.

Технічний опис
ТО і сухі скрубери зазвичай застосовуються на етапі просочення, тоді як мокрі скрубери, біофільтри та біоскрубери застосовуються тільки у виробництві графіту спеціального призначення, де використовуються спеціальні просочувальні агенти, такі як смоли. ТО, а також сухі та мокрі скрубери вже описані в попередніх розділах (10.3.3.1 та 10.3.3.2), тому тут знаходиться тільки інформація, що стосується їх екологічної ефективності та прикладів заводів.

Фільтр з активованим коксом
Фільтр з активованим коксом поміщений у контейнер. Пари пеку всмоктуються через коксовий шар за технологією зворотного або поперечного потоку за допомогою витяжного вентилятора та адсорбуються на частках коксу. Потім відфільтровані гази викидаються у довкілля за допомогою вентилятора через витяжну трубу. Решітки є рухомими для очищення.

Лише один завод у ЄС повідомив про використання фільтру з активованим коксом на цьому етапі процесу.

Біофільтр та біоскрубер
Повітря проходить через набивку біофільтра, а забруднювальні речовини переносяться в тонку біоплівку на поверхні набивального матеріалу. Мікроорганізми, у тому числі бактерії та гриби, іммобілізуються в біоплівці та розкладають забруднювальні речовини.

Однією з основних труднощів оптимізації роботи біофільтра є підтримання достатнього рівня вологості у всій системі. Повітря, як правило, зволожується перед поданням у набивку за допомогою зрошувальної (розпилювальної) системи, камери зволоження, біоскрубера або біокрапельного фільтра. За умови належного обслуговування натуральне органічне середовище, таке як торф, рослинна мульча, кора або тріска, може прослужити кілька років, але спеціально розроблені комбіновані набивні матеріали з натуральних органічних і синтетичних компонентів зазвичай служать до 10 років.

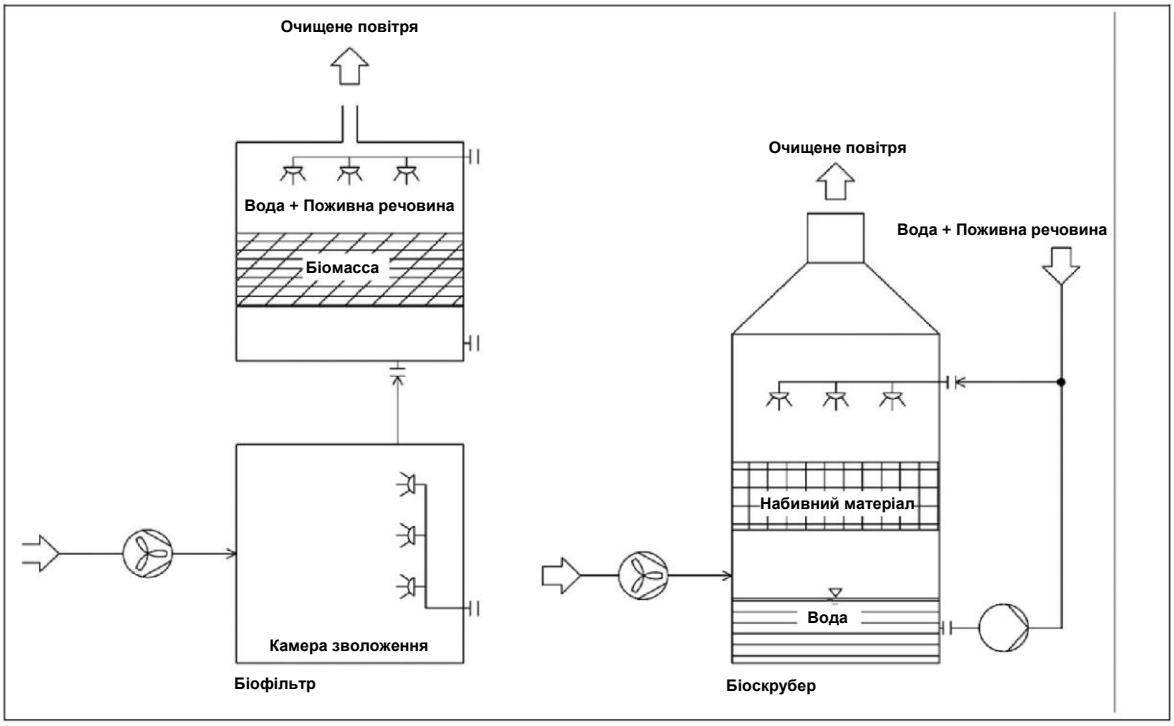


Рисунок 10.8: Біофільтр та біоскрубер

Досягнуті екологічні переваги
Фільтр з активованим коксом
Зменшення викидів пилу та вуглеводнів.

Біофільтр та біоскрубер
Зменшення викидів ЛОС.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Сухий скрубер (в тому числі фільтр з активованим коксом)

Таблиця 10.25: Діапазон викидів на основі заводських даних для сухого скрубера на етапі просочення

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Сухий скрубер	Пил	< 5–10
	BaP	< 0,01
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Термічний окисник

Таблиця 10.26: Діапазон викидів на основі заводських даних для термічного окисника на етапі просочення

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Термічний окисник	Пил	< 5
	SO_2	10–200
	NO_X	80–200
	BaP	≤ 0,05
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Біофільтр та біоскрубер (тільки для деяких спеціальних виробничих процесів)

Таблиця 10.27: Діапазон викидів на основі заводських даних для біофільтра та біоскрубера на етапі просочення

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Біофільтр	ЗЛОС	17–37 *
Біоскрубер	Фенол	0,2–0,9
Біоскрубер	Формальдегід	< 0,2
* Досягаються рівні викидів ЛОС нижче 20 мг/Нм^3. *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]		

Інші спеціальні процеси просочення (тільки для деяких спеціальних виробничих процесів)

Таблиця 10.28: Діапазон викидів на основі заводських даних для спеціальних процесів просочення

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Рукавний фільтр	Пил	< 5
	Cu	0,0001–0,0005
	Sn	0,0003
Фільтр з активованим вугіллям	Тетрахлоретилен	1,8–2,7
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Вплив на різні компоненти довкілля

Фільтр з активованим коксом

Утворення відходів (хоча вони рідко відправляються на утилізацію, оскільки їх зазвичай можна використовувати повторно).

Технічні особливості, пов'язані із застосуванням

Біофільтр та біоскрубер

Ці технології застосовуються переважно у виробництві графіту спеціального призначення для обробки сполук із неприємним запахом і водорозчинних ЛОС, які з'являються у випадку використання смол і розчинників, що піддаються біологічному розкладанню.

Економічні аспекти

Інформацію не надано.

Стимул до впровадження

Фільтр з активованим коксом

- Зменшення викидів пилу та вуглеводнів.
- Відновлення пилу та пеку.

Біофільтр та біоскрубер Зменшення викидів ЛОС.

Приклади заводів

- Сухий скрубер: Заводи 18, 21 та 22.
- Фільтр з активованим коксом: Завод 7.
- Термічний окисник: Заводи 2, 4, 5 та 11.
- Біофільтр та біоскрубер: Завод 9.

Довідкова література

[381, ECGA 2012]

10.3.3.4 Технології зниження викидів, що утворюються під час графітизації

Опис
Технології, які слід розглянути:

- рукавний фільтр (у комбінації з циклонами) (див. Розділ 2.12.5.1.4);
- сухий (див. Розділ 2.12.5.2.3) або мокрий скрубер (див. Розділи 2.12.5.1.6 та 2.12.5.2.2).

Рукавні фільтри, а також сухі та мокрі скрубери вже описані в попередніх розділах (10.3.3.1 та 10.3.3.2), тому тут знаходиться тільки інформація, що стосується їх екологічної ефективності та прикладів заводів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування
Рукавний фільтр

Таблиця 10.29: Діапазон викидів на основі заводських даних для рукавного фільтра на етапі графітизації

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Рукавний фільтр	Пил	< 1–10
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Мокрий скрубер (NaOH)

Таблиця 10.30: Діапазон викидів на основі заводських даних для мокрого скрубера на етапі графітизації

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Мокрий скрубер ([1])	Пил	5–10
	SO_2	20–100
	SO_2	350
([1]) Мокрий скрубер використовується тільки в дуже обмежені періоди обслуговування печі (наприклад, розвантаження гарячої печі). *Джерело:* [378, Industrial NGOs 2012]		

Приклади заводів
- Рукавний фільтр: Заводи 1, 2, 4, 5, 6, 10, 11, 21 та 22.
- Мокрий скрубер: Заводи 2, 7 та 11.

Довідкова література
[381, ECGA 2012]

10.3.3.5 Технології зниження викидів, що утворюються під час механічної обробки

Опис
Технологією, яку слід розглянути, є використання рукавного фільтра.

Рукавний фільтр вже описаний у Розділі 10.3.1.1, тому тут знаходиться тільки інформація, щодо його екологічної ефективності та прикладів заводів.

Екологічна ефективність і інформація про функціонування

Таблиця 10.31: Діапазон викидів на основі заводських даних для рукавного фільтра на етапі механічної обробки

Тип боротьби з викидами	Забруднювальна речовина	Діапазон викидів (мг/Нм^3)
Рукавний фільтр	Пил	< 1–10
Джерело: [378, Industrial NGOs 2012]		

Приклади заводів
Заводи 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 14, 15, 21 та 22.

Довідкова література
[381, ECGA 2012]

10.3.3.6 Технології зниження викидів від процесів виробництва вуглецю спеціального призначення

Під час виробництва вуглецевого та графітового волокна з використанням ПАН відбуваються викиди ціанідів. РТО дозволяє досягти значень викидів < 2–5 мг/Нм^3.

10.3.4 Стічні води

10.3.4.1 Технології запобігання та контролю викидів стічних вод

Технології, які слід розглянути:

- Використання систем непрямого водопостачання для процесів охолодження, коли це можливо, що призводить до скидання чистої охолоджувальної води.
- Повторне використання обробленої води. У низці установок охолоджувальна вода й очищені стічні води (в тому числі дощова вода) повторно використовуються або переробляються в технологічних процесах.
- Використання заходів для локалізації розливів щодо обладнання для зберігання, щоб запобігти потраплянню розливів у каналізаційні системи.
- Процедури вантажно-розвантажувальних операцій та аварійні процедури у випадку розливів.

10.3.4.2 Технології зменшення викидів стічних вод

Всі стічні води (наприклад, охолоджувальна вода, що використовується в безпосередньому контакті з зеленими та/або просоченими формами, вода, що використовується під час операцій механічної обробки, стічні води від очисного обладнання) обробляються для видалення вуглеводнів і твердих часток. Технології, перелічені в Розділі 2.12.6.2, є технологіями, які слід враховувати, і вони повинні зробити можливим здійснення процесу в замкнутому циклі без утворення стічних вод.

Коли неможливо уникнути контакту води із забрудненим матеріалом, вода спрямовується на установку з очищення відпрацьованих вод (на об'єкті або за його межами).

10.3.5 Технологічні залишки

Технологією, який слід враховувати, є повторне використання або перероблення вуглецевих матеріалів, графіту та інших залишків виробничого процесу всередині самого процесу або інших зовнішніх виробничих процесів, наскільки це можливо.

10.4 Перспективні технології

Інформацію не надано.

11 ВИСНОВКИ ЩОДО НАЙКРАЩИХ ДОСТУПНИХ ТЕХНОЛОГІЙ (НДТ)

Сфера застосування

Ці висновки щодо НДТ стосуються певних видів діяльності, описаних у Розділах 2.1, 2.5 та Додатку I до Директиви 2010/75/ЄС, а саме:

- 2.1: Випалювання або агломерація металевої руди (у тому числі сульфідної руди);
- 2.5: Обробка кольорових металів:

(a) виробництво чорнових кольорових металів із руди, концентратів або вторинної сировини за допомогою металургійної, хімічної або електролітичної обробки;
(b) плавлення, у тому числі легування, кольорових металів, в тому числі відновлених продуктів, та робота заводів з лиття кольорових металів із плавильною потужністю, що перевищує 4 тонни на день для свинцю та кадмію та 20 тонн на день для всіх інших металів;

- 6.8: Виробництво вуглецю (обпаленого вугілля) або електрографіту за допомогою спалювання або графітизації.

Зокрема, ці висновки щодо НДТ охоплюють такі процеси та види діяльності:

- виробництво первинних та вторинних кольорових металів
- виробництво оксиду цинку з випарів під час виробництва інших металів;
- виробництво сполук нікелю з розчину під час виробництва металу.
- виробництво силікокальцію (CaSi) і кремнію (Si) у тій самій печі, де здійснюється виробництво феросиліцію;
- виробництво оксиду алюмінію з бокситів перед виробництвом первинного алюмінію, де це є невіддільною частиною виробництва металу;
- переробка алюмінієвого сольового шлаку;
- виробництво вугільних та/або графітових електродів.

Ці висновки щодо НДТ не стосуються наступних видів діяльності та процесів:

- Спікання залізної руди. Це охоплюється у висновках щодо НДТ для Виробництва заліза та сталі
- Виробництво сірчаної кислоти на основі газів SO_2 з виробництва кольорових металів. Це охоплюється у висновках щодо НДТ для Неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива.
- Ливарні заводи охоплюється у висновках щодо НДТ для Ковальської та ливарної промисловості.

Іншими довідковими документами, які можуть стосуватись діяльності, що охоплюється цими висновками щодо НДТ, є наступні.

Довідкова документація	Предмет
Енергоефективність (ENE)	Загальні аспекти енергоефективності
Загальні системи обробки/управління відпрацьованими водами та газами в хімічному секторі (CWW)	Методи очищення відпрацьованих вод для зменшення викидів металів у воду
Неорганічна хімічна промисловість у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива (LVIC-AAF)	Виробництво сірчаної кислоти
Промислові системи охолодження (ICS)	Непряме охолодження водою та/або повітрям
Викиди зі складів (EFS)	Зберігання та поводження з матеріалами
Економічні та міжсередовищні наслідки (ECM)	Економічні та міжсередовищні наслідки в результаті застосування технологій
Моніторинг викидів у повітря і воду з установок, на які поширюється дія Директиви про промислові викиди (ROM)	Моніторинг викидів у повітря і воду
Перероблення відходів (WT)	Поводження з відходами та їх обробка
Великі спалювальні установки (LCP)	Установки для спалювання, що генерують пару та/або електроенергію
Поверхнева обробка за допомогою органічних розчинників (STS)	Безкислотне травлення
Поверхнева обробка металів та пластмас (STM)	Кислотне травлення

Визначення

У межах цих висновків щодо НДТ застосовуються такі визначення:

Використовуваний термін	Визначення
Новий завод	Завод, вперше дозволений на об'єкті після публікації цих висновків щодо НДТ, або повна заміна заводу на наявному фундаменті після публікації цих висновків щодо НДТ
Наявний завод	Завод, який не є новим заводом
Капітальна модернізація	Суттєва зміна конструкції або технології заводу, а також значні коригування або заміни технологічних установок та пов'язаного з ними обладнання
Первинні викиди	Викиди, що виходять безпосередньо з печей і не поширюються на території навколо печей
Вторинні викиди	Викиди, що виходять з футерування печі або під час таких операцій, як завантаження або випускання, і які вловлюються ковпаком або вентиляційним покриттям (наприклад, система «doghouse»)
Виробництво первинних металів	Виробництво металів з руд та концентратів
Виробництво вторинних металів	Виробництво металів з використанням залишків та/або брухту, включно з процесами переплавлення та легування
Безперервні вимірювання	Вимірювання з використанням автоматизованої «вимірювальної системи», постійно встановленої на об'єкті для безперервного моніторингу викидів
Періодичні вимірювання	Визначення вимірюваної величини (конкретної величини, що підлягає вимірюванню) через встановлені проміжки часу за допомогою ручних та автоматизованих методів

Загальні міркування

Найкращі доступні технології

Технології, перелічені та описані у цих висновках щодо НДТ, не є ні нормативними, ні перебірними. Можуть використовуватися інші технології, що забезпечують щонайменше еквівалентний рівень захисту навколишнього середовища.

Якщо не передбачено інше, висновки щодо НДТ є загальнозастосовними.

Рівні викидів у повітря, пов'язані з НДТ

Рівні викидів, пов'язані з найкращими доступними технологіями (BAT-AEL) для викидів у повітря, зазначені в цих висновках щодо НДТ, належать до стандартних умов: сухий газ за температури 273,15 K та тиску 101,3 кПа.

Періоди усереднювання викидів у повітря

Для періодів усереднювання викидів у повітря застосовуються такі визначення.

Середньодобове значення	Середнє значення за період 24 годин дійсних середніх значень за пів години або за годину, отриманих шляхом безперервних вимірювань
Середнє значення за період відбору проб	Середнє значення трьох послідовних вимірювань тривалістю не менше 30 хвилин кожне, якщо не передбачено інше ([1])
([1]) Для періодичних процесів може використовуватись середнє значення репрезентативної кількості вимірювань, виконаних за весь час обробки партії, або результат вимірювання, виконаного за весь час обробки партії.	

Періоди усереднювання викидів у воду

Для періодів усереднювання викидів у воду застосовуються такі визначення.

Середньодобове значення	Середнє значення за період відбору проб тривалістю 24 години, відібраних у якості пропорційної швидкості потоку складеної проби (або у якості складеної проби, відібраної пропорційно часу, за умови, що продемонстрована достатня стабільність потоку) ([1])
([1]) Для непостійних потоків можна використовувати іншу процедуру відбору проб, що дає репрезентативні результати (наприклад, точковий відбір проб).	

Акроніми

Термін	Значення
BaP	Бензо[*a*]пірен
Електростатичний фільтр	Електростатичний фільтр
МТЕ	Міжнародний токсичний еквівалент, отриманий шляхом застосування коефіцієнтів міжнародного токсичного еквівалента, як визначено у Додатку VI, частина 2 Директиви 2010/75/ЄС
NO_X	Сума монооксиду азоту (NO) та діоксиду азоту (NO_2), виражена як NO_2
ПХДД/Ф	Поліхлорований дибензо*пара*діоксин та дибензофурани (17 конгенерів)
ПАВ	Поліциклічні ароматичні вуглеводні
ЗЛОС	Загальний леткий органічний вуглець; загальні леткі органічні сполуки, що вимірюються полум'яно-іонізаційним детектором (ПІД і виражається як загальний вуглець
ЛОС	Леткі органічні сполуки, як визначено у Статті 3(45) Директиви 2010/75/ЄС

11.1 Висновки щодо загальних НДТ

Будь-які відповідні висновки щодо НДТ для конкретних процесів у Розділах 11.2 –11.9 застосовуються на додаток до висновків щодо загальних НДТ у цьому розділі.

11.1.1 Системи екологічного менеджменту (СЕМ)

НДТ 1. Щоб покращити загальну екологічну ефективність, НДТ полягають у впровадженні та дотриманні системи екологічного менеджменту (СЕМ), яка включає всі наступні функції:

a. відданість керівництва, у тому числі найвищого керівництва
b. визначення екологічної політики, що передбачає постійне вдосконалення установки керівництвом;
c. планування та встановлення необхідних процедур, цілей та завдань у поєднанні з фінансовим плануванням та інвестиціями;
d. виконання процедур з особливою увагою до:

   i. структури й відповідальності,
   ii. набору, навчанню, обізнаності та компетентності,
   iii. зв'язку,
   iv. залучення співробітників,
   v. документації,
   vi. ефективного управління процесом,
   vii. програм обслуговування,
   viii. готовності до аварійних ситуацій та реагування на них,
   ix. забезпечення дотримання законодавства з охорони довкілля;

e. перевірка ефективності та вживання коригувальних заходів з особливою увагою до:

   i. моніторингу та вимірювання (див. також Довідковий звіт про моніторинг викидів у повітря та воду з установок, на які поширюється дія Директиви про промислові викиди)
   ii. коригувальних та запобіжних заходів,
   iii. ведення записів,
   iv. незалежного (де це можливо) внутрішнього або зовнішнього аудиту для визначення того, чи відповідає СЕМ запланованим заходам і чи правильно вона впроваджена та підтримується;

f. перевірка СЕМ та її відповідності сучасним вимогам, адекватності та ефективності вищим керівництвом;
g. стеження за розвитком екологічно чистіших технологій;
h. врахування впливу на довкілля від можливого виведення установки з експлуатації на етапі проєктування нового заводу та протягом усього терміну її експлуатації;
i. проведення зіставного аналізу сектору на регулярній основі.

Створення та впровадження плану дій щодо дифузних викидів пилу (див. НДТ 6) та застосування системи управління експлуатацією, яка особливо стосується роботи систем зниження викидів пилу (див. НДТ 4), також є частиною СЕМ.

Застосовність
Обсяг (наприклад, рівень деталізації) та характер СЕМ (наприклад, стандартизована або нестандартизована) будуть пов'язані з характером, масштабом та складністю установки, а також діапазоном впливу на довкілля, який вона може мати.

11.1.2 Управління енергоспоживанням

НДТ 2. Для ефективного використання енергії НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Система управління енергоефективністю (наприклад, ISO 50001)	Загальнозастосовні
b	Регенеративні або рекуперативні пальники	Загальнозастосовні
c	Регенерація тепла (наприклад, пара, гаряча вода, гаряче повітря) з відпрацьованого технологічного тепла	Застосовується тільки до пірометалургійних процесів
d	Регенеративний термічний окисник	Застосовується лише тоді, коли необхідне зменшити викиди горючих забруднювальних речовин
e	Підігрівання шихти печі, повітря для згорання або палива за допомогою тепла, отриманого з гарячих газів з етапу плавлення	Застосовується лише для випалювання або плавки сульфідної руди/концентрату та для інших пірометалургійних процесів
f	Підвищення температури розчинів для вилуговування за допомогою пари або гарячої води від процесу регенерації тепла	Застосовується тільки до глиноземних або гідрометалургійних процесів
g	Використання гарячих газів з жолоба як підігрітого повітря для згорання	Застосовується тільки до пірометалургійних процесів
h	Використання в пальниках збагаченого киснем повітря або чистого кисню для зниження споживання енергії через автогенну виплавку або повне згорання вуглецевмісного матеріалу.	Застосовується тільки до печей, в яких використовується сировина, що містить сірку або вуглець
i	Сухі концентрати та волога сировина за низьких температур	Застосовується тільки, коли здійснюється сушіння
дж	Відновлення вмісту хімічної енергії чадного газу, отриманого в електричній або шахтній/доменній печі, шляхом використання вихлопних газів у якості палива, після видалення металів, в інших виробничих процесах або для виробництва пари/гарячої води або електроенергії.	Застосовується тільки до вихлопних газів з вмістом CO > 10-% мас. На застосовність також впливає склад вихлопних газів та відсутність безперервного потоку (тобто, процеси періодичної дії)
k	Рециркуляція димових газів назад через киснево-паливний пальник для регенерації енергії, що міститься в загальному органічному вуглеці	Загальнозастосовні
л	Відповідна ізоляція для високотемпературного обладнання, такого як труби для пари та гарячої води	Загальнозастосовні
м	Використання тепла, що виділяється у виробництві сірчаної кислоти з діоксиду сірки, для підігрівання газу, що спрямовується на установку з виробництва сірчаної кислоти, або для виробництва пари та/або гарячої води	Застосовується тільки для заводів з виробництва кольорових металів що передбачають виробництво сірчаної кислоти або рідкого SO_2
н	Використання високоефективних електродвигунів, оснащених приводом з частотним регулюванням, для такого обладнання, як вентилятори	Загальнозастосовні
o	Використання системи управління, які автоматично активують витяжну систему або регулюють швидкість витяжки залежно від фактичних викидів	Загальнозастосовні

11.1.3 Управління технологічним процесом

НДТ 3. Для покращення екологічної ефективності НДТ полягають у забезпеченні стабільної роботи процесу за допомогою системи управління технологічним процесом разом із комбінацією технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Перевірка та вибір вихідних матеріалів відповідно до застосовуваних процесів та технологій боротьби з викидами
b	Належне змішування сировинних матеріалів для досягнення оптимальної ефективності перетворення та зниження викидів та відбракування
c	Системи зважування та дозування вихідного матеріалу
d	Процесорне управління швидкістю подання матеріалу, критичними параметрами та умовами процесу, в тому числі сигнал тривоги, умови горіння та добавки газу.
e	Безперервний моніторинг температури печі, тиску в печі та потоку газу
f	Моніторинг критичних технологічних параметрів установки боротьби з викидами у повітря, таких як температура газу, дозування реагенту, перепад тиску, струм і напруга електростатичного фільтра, потік змочувальної рідини та pH, а також газоподібні компоненти (наприклад, O_2, CO, VOC)
g	Контроль вмісту пилу та ртуті у вихлопних газах перед передаванням на установку з виробництва сірчаної кислоти для заводів, що передбачають виробництво сірчаної кислоти або рідкого SO_2
h	Безперервний моніторинг вібрації для виявлення засмічень і можливих несправностей обладнання
i	Безперервний моніторинг струму, напруги та температури електричних контактів у електролітичних процесах
дж	Моніторинг та контроль температури в печах для плавлення та виплавки для запобігання утворенню парів металів та оксидів металів через перегрівання
k	Процесорний контроль подання реагентів та продуктивності установки з очищення відпрацьованих вод за допомогою безперервного моніторингу температури, мутності, pH, провідності та витрати.

НДТ 4. Щоб знизити каналізовані викиди пилу та металів у повітря, НДТ полягають у застосовуванні системи управління експлуатацією, яка особливо стосується роботи систем зниження викидів пилу як частина системи екологічного менеджменту (див. НДТ 1).

11.1.4 Дифузні викиди

11.1.4.1 Загальний підхід до запобігання дифузним викидам

НДТ 5. Для запобігання або, якщо це неможливо, зменшення дифузних викидів у повітря та воду, НДТ полягають у вловлюванні дифузних викидів якомога ближче до джерела та їх обробці.

НДТ 6. Для запобігання або, якщо це неможливо, зменшення дифузних викидів пилу в повітря НДТ полягають у розробці та впровадженні план дій щодо дифузних викидів пилу в рамках системи екологічного менеджменту (див. НДТ 1), що включає обидва наступні заходи:

a. **визначення найважливіших джерел дифузних викидів пилу (використовуючи, наприклад, EN 15445);**
b. **визначення та впровадження відповідних дій та технологій для запобігання або зменшення дифузних викидів протягом певного проміжку часу.**

11.1.4.2 Дифузні викиди від зберігання, поводження та транспортування сировини

НДТ 7. Для запобігання дифузним викидам від зберігання сировини НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання закритих будівель або силосів/бункерів для зберігання матеріалів, що утворюють пил, таких як концентрати, флюси та дрібні матеріали.
b	Крите сховище для матеріалів, що не утворюють пил, таких як концентрати, флюси, тверде паливо та кокс, сипкі матеріали, а також вторинних матеріалів, що містять водорозчинні органічні сполуки.
c	Герметична упаковка для матеріалів, що утворюють пил, або вторинних матеріалів, що містять водорозчинні органічні сполуки.
d	Криті відсіки для зберігання гранульованого або агломерованого матеріалу
e	Використання розпилювачів води та туману з такими добавками, як латекс, або без них для матеріалів, що утворюють пил.
f	Пристрої видалення пилу/газу, розміщені в пунктах передачі та випускання матеріалів, що утворюють пил.
g	Сертифіковані ємності під тиском для зберігання газоподібного хлору або сумішей, що містять хлор
h	Будівельні матеріали для резервуарів, стійкі до матеріалів, що містяться в них
i	Надійні системи виявлення витоків та показ рівня в резервуарі з аварійним сигналом для запобігання переповненню
дж	Зберігання реактивних матеріалів в резервуарах з подвійними стінками або в резервуарах, поміщених у хімічно стійкі обвалування такої ж місткості, і використання непроникної зони зберігання, стійкої до матеріалів, що зберігаються.
k	Проєктування зон для зберігання таким чином, щоб - будь-які витоки з резервуарів і систем подання уловлювалися і стримувалися обвалуванням, місткість якого здатна вмістити щонайменше обсяг найбільшого резервуара для зберігання в обвалуванні; - місця подання були розташовані всередині обвалування для збору просипаного або пролитого матеріалу
л	Створення інертної газової атмосфери для зберігання матеріалів, що реагують із повітрям
м	Вловлювання та обробка викидів від зберігання за допомогою системи боротьби з викидами, призначеної для обробки сполук, що зберігаються. Вловлювання та обробка будь-якої води, що змиває пил, перед скиданням.
н	Регулярне прибирання зони зберігання та за необхідності змочування водою
o	Розташування поздовжньої осі відвалу паралельно до напрямку панівного вітру у випадку відкритого зберігання
p	Використання захисних насаджень, вітрозахисних огорож або установок проти вітру для зниження його швидкості у випадку відкритого зберігання
q	Використання одного відвалу замість кількох, де це можливо, у випадку відкритого зберігання
r	Використання уловлювачів мастил та твердих речовин для відведення із відкритих зон зберігання. Використання забетонованих зон з огорожею або іншими пристроями для утримування для зберігання матеріалів, які можуть виділяти мастило, таких як стружка

Застосовність
НДТ 7.e не застосовується до процесів, які потребують сухих матеріалів або руд/концентратів, які природно мають достатній вміст вологи для запобігання утворенню пилу. Застосування також може бути обмежене в регіонах із дефіцитом води або дуже низькими температурами.

НДТ 8. Для запобігання дифузним викидам від поводження та транспортування сировини НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Закриті конвеєри або системи пневматичного транспортування для транспортування та поводження з концентратами та флюсами, що утворюють пил, та дрібнозернистим матеріалом
b	Криті конвеєри для поводження з твердими матеріалами, що не утворюють пил.
c	Видалення пилу з точок подання, вентиляційних отворів силосів, систем пневматичного транспортування та пунктів конвеєрної передачі, а також підключення до системи фільтрування (для матеріалів, що утворюють пил)
d	Закриті мішки або бочки для поводження з матеріалами з диспергованими або водорозчинними компонентами
e	Відповідні контейнери для поводження з гранульованими матеріалами
f	Зрошування для зволоження матеріалів у місцях поводження
g	Мінімізування транспортних відстаней
h	Зменшення висоти падіння для конвеєрних стрічок, механічних лопат або грейферів
i	Регулювання швидкості відкритих стрічкових конвеєрів (< 3,5 м/с)
дж	Мінімізування швидкості спускання або висоти вільного падіння матеріалів
k	Розміщення транспортувальних конвеєрів та трубопроводів в безпечних відкритих місцях над землею, щоб можна було швидко виявити витоки та запобігти пошкодженню від транспортних засобів та іншого обладнання. Якщо підземні трубопроводи використовуються для транспортування безпечних матеріалів, їхній маршрут має бути задокументований та позначений, а також мають бути застосовані системи безпечних земляних робіт
л	Для поводження з рідинами та зрідженими газами застосовується автоматична повторна герметизація з'єднань для подання
м	Витіснені гази повинні відводитися назад у засіб доставлення для зниження викидів ЛОС
н	Миття коліс та шасі транспортних засобів, що використовуються для доставлення або поводження з пильними матеріалами.
o	Застосування запланованих заходів з підмітання доріг
p	Відокремлення несумісних матеріалів (наприклад, окислювачі та органічні матеріали) один від одного
q	Мінімізація переміщення матеріалів між процесами

Застосовність
НДТ 8.n. не можуть застосовуватись, коли може утворюватися лід.

11.1.4.3 Дифузні викиди від виробництва металу

НДТ 9. Для запобігання або, якщо це неможливо, зменшення дифузних викидів від виробництва металу НДТ полягають в оптимізації ефективності вловлювання та обробки відхідних газів за допомогою комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Попередня термічна або механічна обробка вторинної сировини для мінімізації органічного забруднення матеріалу, що завантажується в піч.	Загальнозастосовні
b	Використання закритої печі із належним чином спроєктованою системою знепилення або герметизація печі та інші технологічних установок з належною вентиляційною системою.	Застосовність може бути обмежена через обмеження, пов'язані з безпекою (наприклад, тип/конструкція печі, ризик вибуху)
c	Використання вторинного витяжного ковпака для операцій печі, таких як завантаження та випускання	Застосовність може бути обмежена через обмеження, пов'язані з безпекою (наприклад, тип/конструкція печі, ризик вибуху)
d	Вловлювання пилу або диму в місцях переміщення пилоподібних матеріалів (наприклад, у точках завантаження печі та випускання, у критих жолобах)	Загальнозастосовні
e	Оптимізація конструкції та роботи ковпаків та повітропроводів для уловлювання диму, що виходять із завантажувального отвору, а також від випускання гарячого металу, штейну або шлаку та переміщення у критих жолобах	Для наявних установок застосовність може бути обмежена з точки зору обмежень щодо простору та конфігурації заводу
f	Покриття печі/реактора, такі як системи «house-in-house» або «doghouse» для операцій випускання та завантаження	Для наявних установок застосовність може бути обмежена з точки зору обмежень щодо простору та конфігурації заводу
g	Оптимізація потоку відхідних газів з печі за допомогою досліджень обчислювальної гідродинаміки та індикаторів	Загальнозастосовні
h	Системи завантаження для напівзакритих печей для додавання сировини у невеликих кількостях	Загальнозастосовні
i	Очищення вловлених викидів у належній системі боротьби з викидами	Загальнозастосовні

11.1.5 Моніторинг викидів у повітря

НДТ 10. НДТ полягають в моніторингу викидів з димових труб у повітря щонайменше з частотою, зазначеною нижче, та відповідно до стандартів EN. Якщо стандарти EN недоступні, НДТ мають застосовувати ISO, національні або інші міжнародні стандарти, що забезпечують надання даних еквівалентної наукової якості.

Параметр	Пов'язаний моніторинг	Мінімальна частота моніторингу	Стандарт(и)
Пил ([2])	**Мідь:** НДТ 38, НДТ 39, НДТ 40, НДТ 43, НДТ 44, НДТ 45 **Алюміній :** НДТ 56, НДТ 58, НДТ 59, НДТ 60, НДТ 61, НДТ 67, НДТ 81, НДТ 88 **Свинець, олово:** НДТ 94, НДТ 96, НДТ 97 **Цинк, кадмій:** НДТ 119, НДТ 122 **Дорогоцінні метали:** НДТ 140 **Феросплави:** НДТ 155, НДТ 156, НДТ 157, НДТ 158 **Нікель, кобальт:** НДТ 171 **Інші кольорові метали:** викиди від виробничих етапів, таких як попередня обробка сировини, завантаження, виплавка, плавлення або випускання	Безперервний **([1])**	EN 13284-2
	Мідь: НДТ 37, НДТ 38, НДТ 40, НДТ 41, НДТ 42, НДТ 43, НДТ 44, НДТ 45 **Алюміній:** НДТ 56, НДТ 58, НДТ 59, НДТ 60, НДТ 61, НДТ 66, НДТ 67, НДТ 68, НДТ 80, НДТ 81, НДТ 82, НДТ 88 **Свинець, олово:** НДТ 94, НДТ 95, НДТ 96, НДТ 97 **Цинк, кадмій:** НДТ 113, НДТ 119, НДТ 121, НДТ 122, НДТ 128, НДТ 132 **Дорогоцінні метали:** НДТ 140 **Феросплави:** НДТ 154, НДТ 155, НДТ 156, НДТ 157, НДТ 158 **Нікель, кобальт:** НДТ 171 **Вуглець/графіт:** НДТ 178, НДТ 179, НДТ 180, НДТ 181 **Інші кольорові метали:** викиди від виробничих етапів, таких як попередня обробка сировини, завантаження, виплавка, плавлення або випускання	Раз на рік **([1])**	EN 13284-1
Сурма та її сполуки, виражені як Sb	**Свинець, олово:** НДТ 96, НДТ 97	Раз на рік	EN 14385

Параметр	Пов'язаний моніторинг	Мінімальна частота моніторингу	Стандарт(и)
Миш'як та його сполуки, виражені як As	**Мідь:** НДТ 37, НДТ 38, НДТ 39, НДТ 40, НДТ 42, НДТ 43, НДТ 44, НДТ 45 **Свинець, олово:** НДТ 96, НДТ 97 **Цинк:** НДТ 122	Раз на рік	EN 14385
Кадмій та його сполуки, виражені як Cd	**Мідь:** НДТ 37, НДТ 38, НДТ 39, НДТ 40, НДТ 41, НДТ 42, НДТ 43, НДТ 44, НДТ 45 **Свинець, олово:** НДТ 94, НДТ 95, НДТ 96, НДТ 97 **Цинк, кадмій:** НДТ 122, НДТ 132 **Феросплави:** НДТ 156	Раз на рік	EN 14385
Хром (VI)	**Феросплави:** НДТ 156	Раз на рік	Стандарт EN відсутній
Мідь та її сполуки, виражені як Cu	**Мідь:** НДТ 37, НДТ 38, НДТ 39, НДТ 40, НДТ 42, НДТ 43, НДТ 44, НДТ 45 **Свинець, олово:** НДТ 96, НДТ 97	Раз на рік	EN 14385
Нікель та його сполуки, виражені як Ni	**Нікель, кобальт:** НДТ 172, НДТ 173	Раз на рік	EN 14385
Свинець та його сполуки, виражені як Pb	**Мідь:** НДТ 37, НДТ 38, НДТ 39, НДТ 40, НДТ 41, НДТ 42, НДТ 43, НДТ 44, НДТ 45 **Свинець, олово:** НДТ 94, НДТ 95, НДТ 96, НДТ 97 **Феросплави:** НДТ 156	Раз на рік	EN 14385
Талій та його сполуки, виражені як Tl	**Феросплави:** НДТ 156	Раз на рік	EN 14385
Цинк та його сполуки, виражені як Zn	**Цинк, кадмій:** НДТ 113, НДТ 114, НДТ 119, НДТ 121, НДТ 122, НДТ 128, НДТ 132	Раз на рік	EN 14385
Інші метали, якщо необхідно ([3])	**Мідь:** НДТ 37, НДТ 38, НДТ 39, НДТ 40, НДТ 41, НДТ 42, НДТ 43, НДТ 44, НДТ 45 **Свинець, олово:** НДТ 94, НДТ 95, НДТ 96, НДТ 97 **Цинк, кадмій:** НДТ 113, НДТ 119, НДТ 121, НДТ 122, НДТ 128, НДТ 132 **Дорогоцінні метали:** НДТ 140 **Феросплави:** НДТ 154, НДТ 155, НДТ 156, НДТ 157, НДТ 158 **Нікель, кобальт:** НДТ 171 **Інші кольорові метали**	Раз на рік	EN 14385

Параметр	Пов'язаний моніторинг	Мінімальна частота моніторингу	Стандарт(и)
Ртуть та її сполуки, виражені як Hg	**Мідь, алюміній, свинець, олово, цинк, кадмій, феросплави, нікель, кобальт, інші кольорові метали** НДТ 11	Безперервний або раз на рік **(1)**	EN 14884 EN 13211
SO_2	**Мідь:** НДТ 49 **Алюміній:** НДТ 60, НДТ 69 **Свинець, олово:** НДТ 100 **Дорогоцінні метали:** НДТ 142, НДТ 143 **Нікель, кобальт:** НДТ 174 **Інші кольорові метали** (6)(7)	Безперервний або раз на рік **(1)**(4)	EN 14791
	Цинк, кадмій: НДТ 120	Безперервний	
	Вуглець/графіт: НДТ 182	Раз на рік	
NO_X, у перерахунку на NO_2	**Мідь, алюміній, свинець, олово, FeSi, Si (пірометалургійні процеси):** НДТ 13 **Дорогоцінні метали:** НДТ 141 **Інші кольорові метали** (7)	Безперервний або раз на рік **(1)**	EN 14792
	Вуглець/графіт	Раз на рік	
ЗЛОС	**Мідь:** НДТ 46 **Алюміній:** НДТ 83 **Свинець, олово:** НДТ 98 **Цинк, кадмій:** НДТ 123 **Інші кольорові метали** (8)	Безперервний або раз на рік **(1)**	EN 12619
	Феросплави: НДТ 160 **Вуглець/графіт:** НДТ 183	Раз на рік	
Формальдегід	**Вуглець/графіт:** НДТ 183	Раз на рік	Стандарт EN відсутній
Фенол	**Вуглець/графіт:** НДТ 183	Раз на рік	Стандарт EN відсутній
ПХДД/Ф	**Мідь:** НДТ 48 **Алюміній:** НДТ 83 **Свинець, олово:** НДТ 99 **Цинк, кадмій:** НДТ 123 **Дорогоцінні метали:** НДТ 146 **Феросплави:** НДТ 159 **Інші кольорові метали** (5)(7)	Раз на рік	EN 1948 частини 1, 2 та 3
H_2SO_4	**Мідь:** НДТ 50 **Цинк, кадмій:** НДТ 114	Раз на рік	Стандарт EN відсутній
NH_3	**Алюміній:** НДТ 89 **Дорогоцінні метали:** НДТ 145 **Нікель, кобальт:** НДТ 175	Раз на рік	Стандарт EN відсутній
Бензо-[*a*]-пірен	**Алюміній:** НДТ 59, НДТ 60, НДТ 61 **Феросплави:** НДТ 160 **Вуглець/графіт:** НДТ 178, НДТ 179, НДТ 180, НДТ 181	Раз на рік	ISO 11338-1 ISO 11338-2
Газоподібні фториди, виражені як HF	**Алюміній:** НДТ 60, НДТ 61, НДТ 67	Безперервний **(1)**	ISO 15713
	Алюміній: НДТ 60, НДТ 67, НДТ 84 **Цинк, кадмій:** НДТ 124	Раз на рік **(1)**	

Параметр	Пов'язаний моніторинг	Мінімальна частота моніторингу	Стандарт(и)
Загальні фториди	**Алюміній:** НДТ 60, НДТ 67	Раз на рік	Стандарт EN відсутній
Газоподібні хлориди, виражені як HCl	**Алюміній:** НДТ 84	Безперервний або раз на рік ([1])	EN 1911
	Цинк, кадмій: НДТ 124 **Дорогоцінні метали:** НДТ 144	Раз на рік	
Cl_2	**Алюміній:** НДТ 84 **Дорогоцінні метали:** НДТ 144 **Нікель, кобальт:** НДТ 172	Раз на рік	Стандарт EN відсутній
H_2S	**Алюміній:** НДТ 89	Раз на рік	Стандарт EN відсутній
PH_3	**Алюміній:** НДТ 89	Раз на рік	Стандарт EN відсутній
Сума AsH_3 та SbH_3	**Цинк, кадмій:** НДТ 114	Раз на рік	Стандарт EN відсутній

Примітка: «інші кольорові метали» означає виробництво кольорових металів, крім тих, які індивідуально розглядаються в Розділах з 11.2 по 11.8.
([1]) Для джерел з високим рівнем викидів НДТ полягають у безперервних вимірюваннях або, якщо безперервні вимірювання не застосовуються, у частішому періодичному моніторингу.
([2]) Для невеликих джерел (< 10 000 $Нм^3$/год) викидів пилу від зберігання та поводження з сировиною моніторинг може ґрунтуватися на вимірюванні замінних параметрів (таких як перепад тиску).
([3]) метали, моніторинг яких здійснюється, залежать від складу використовуваної сировини.
([4]) Що стосується НДТ 69(a), для розрахунку викидів SO_2 можна використовувати баланс маси на основі вимірювання вмісту сірки в кожній із партій споживаних анодів.
([5]) У відповідних випадках з урахуванням таких факторів, як вміст галогенізованих органічних сполук у використовувані сировині, температурний профіль тощо.
([6]) Моніторинг необхідний, коли сировина містить сірку.
([7]) Моніторинг може не застосовуватись до гідрометалургійних процесів.
([8]) У відповідних випадках з урахуванням вмісту органічних сполук у використовуваній сировині.

11.1.6 Викиди ртуті

НДТ 11. Для зменшення викидів ртуті у повітря (крім тих, які спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти) від пірометалургійного процесу НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання сировиною з низьким вмістом ртуті, в тому числі шляхом співпраці з постачальниками, для видалення ртуті з вторинних матеріалів.
b	Використання адсорбентів (наприклад, активованого вугілля, селену) у поєднанні з фільтруванням пилу ([1])
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: Див. Таблицю 11.1.

Таблиця 11.1: Рівні викидів ртуті в повітря, пов'язані з НДТ (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти) від пірометалургійного процесу з використанням сировини, що містить ртуть

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])([2])
Ртуть та її сполуки, виражені як Hg	0,01–0,05
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Нижнє значення діапазону пов'язане з використанням адсорбентів (наприклад, активованого вугілля, селену) у поєднанні з фільтруванням пилу, за винятком процесів, де використовуються вельц-печі.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.1.7 Викиди діоксиду сірки

НДТ 12. Для зменшення викидів SO_2 з відхідних газів з високим вмістом SO_2 і уникання утворення відходів у системі очищення димових газів НДТ полягають у відновленні сірки шляхом виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2.

Застосовність
Застосовується тільки до заводів, що виробляють мідь, свинець, первинний цинк, срібло, нікель та/або молібден.

11.1.8 Викиди NO_X

НДТ 13. Для запобігання викидам NO_X у повітря від пірометалургійного процесу НДТ полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])
a	Пальники з низьким рівнем виходу NO_X
b	Киснево-паливні пальники
c	Рециркуляція димових газів (назад через пальник для зниження температури полум'я) у випадку киснево-паливних пальників
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.1.9 Викиди у воду, в тому числі їх моніторинг

НДТ 14. Для запобігання або зменшення утворення стічних вод НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Вимірювання кількості використаної прісної води та кількості скинутих стічних вод	Загальнозастосовні
b	Повторне використання стічних вод від операцій очищення (в тому числі води для промивання анодів та катодів) та розливів в тому самому процесі	Загальнозастосовні
c	Повторне використання потоків слабкої кислоти, що утворюються у мокрому електростатичному фільтрі та мокрих скруберах	Застосування може бути обмежене в залежності від вмісту металу та твердих часток у стічних водах
d	Повторне використання відпрацьованих вод з процесу гранулювання шлаку	Застосування може бути обмежене в залежності від вмісту металу та твердих часток у стічних водах
e	Повторне використання поверхневих стоків	Загальнозастосовні
f	Використання замкнутої системи охолодження	Застосовність може бути обмежена, коли з технологічних причин потрібна низька температура
g	Повторне використання очищеної води з установки з очищення відпрацьованих вод	Застосовність може бути обмежена вмістом солі

НДТ 15. Для запобігання забрудненню води та зменшення викидів у воду, НДТ полягають у відділенні незабруднених потоків стічних вод від потоків стічних вод, що потребують очищення.

Застосовність
Розділення незабрудненої дощової води може бути незастосовним у разі наявних систем збирання стічних вод.

НДТ 16. НДТ полягають у використанні ISO 5667 для відбору проб води та для моніторингу викидів у воду в точці, де викиди виходять з установки, щонайменше один раз на місяць ([1]) та відповідно до стандартів EN. Якщо стандарти EN недоступні, НДТ мають застосовувати ISO, національні або інші міжнародні стандарти, що забезпечують надання даних еквівалентної наукової якості.

([1]) Частота моніторингу може бути адаптована, якщо серія даних чітко демонструє достатню стабільність викидів.

Параметр	Застосовується для виробництва ([1])	Стандарт(и)
Ртуть (Hg)	Мідь, свинець, олово, кадмій, дорогоцінні метали, феросплави, нікель, кобальт та інші кольорові метали	EN ISO 17852, EN ISO 12846
Залізо (Fe)	Мідь, свинець, олово, кадмій, дорогоцінні метали, феросплави, нікель, кобальт та інші кольорові метали	EN ISO 11885 EN ISO 15586 EN ISO 17294-2
Миш'як (As)	Мідь, свинець, олово, цинк, кадмій, дорогоцінні метали, феросплави, нікель та кобальт	
Кадмій (Cd)		
Мідь (Cu)		
Нікель (Ni)		
Свинець (Pb)		
Цинк (Zn)		
Срібло (Ag)	Дорогоцінні метали	
Алюміній (Al)	Алюміній	
Кобальт (Co)	Нікель і кобальт	
Загальний хром (Cr)	Феросплави	
Хром (VI) (Cr(VI))	Феросплави	EN ISO 10304-3 EN ISO 23913
Сурма (Sb)	Мідь, свинець та олово	EN ISO 11885 EN ISO 15586 EN ISO 17294-2
Олово (Sn)	Мідь, свинець та олово	
Інші метали, якщо необхідно ([2])	Алюміній, феросплави та інші кольорові метали	
Сульфат (SO_4^{2-})	Мідь, свинець, олово, цинк, кадмій, дорогоцінні метали, нікель, кобальт та інші кольорові метали	EN ISO 10304-1
Фторид (F^-)	Первинний алюміній	
Загальна кількість завислих твердих часток	Алюміній	EN 872

([1]) Примітка: «Інші кольорові метали» означає виробництво кольорових металів, крім тих, які індивідуально розглядаються в Розділах з 11.2 по 11.8.
([2]) метали, моніторинг яких здійснюється, залежать від складу використовуваної сировини.

НДТ 17. Для зменшення викидів у воду НДТ полягають в очищенні витоків з зон зберігання рідин та стічних вод від виробництва кольорових металів, у тому числі з етапу промивання у вельц-печі, а також видаленні металів та сульфатів за допомогою комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Хімічне осадження	Загальнозастосовні
b	Седиментація	Загальнозастосовні
c	Фільтрування	Загальнозастосовні
d	Флотація	Загальнозастосовні
e	Ультрафільтрація	Застосовується лише до певних видів стоків у кольоровій металургії.
f	Фільтрування за допомогою активованого вугілля	Загальнозастосовні
g	Зворотний осмос	Застосовується лише до певних видів стоків у кольоровій металургії.
(1) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ

Рівні викидів, пов'язані з НДТ (BAT-AEL), для прямих викидів у приймальне водоймище від виробництва міді, свинцю, олова, цинку, кадмію, дорогоцінних металів, нікелю, кобальту та феросплавів наведені в Таблиці 11.2.

Ці BAT-AEL застосовуються у точці, де викиди виходять з установки.

Таблиця 11.2: Рівні викидів, пов'язані з НДТ, для прямих викидів у приймальне водоймище від виробництва міді, свинцю, олова, цинку (в тому числі стічних вод з етапу промивання у вельц-печі), кадмію, дорогоцінних металів, нікелю, кобальту та феросплавів

BAT-AEL (мг/л) (середньодобове значення)						
Параметр	Виробництво					
	Мідь	Свинець та/або Олово	Цинк та/або Кадмій	Дорогоцінні метали	Нікель та/або Кобальт	Феросплави
Срібло (Ag)	НЗ			≤ 0,6	НЗ	
Миш'як (As)	≤ 0,1 (1)	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,1
Кадмій (Cd)	0,02–0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,05
Кобальт (Co)	НЗ	≤ 0,1	НЗ		0,1–0,5	НЗ
Загальний хром (Cr)	НЗ					≤ 0,2
Хром (VI) (Cr(VI))	НЗ					≤ 0,05
Мідь (Cu)	0,05–0,5	≤ 0,2	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 0,5
Ртуть (Hg)	0,005–0,02	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Нікель (Ni)	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 0,5	≤ 2	≤ 2
Свинець (Pb)	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,2
Цинк (Zn)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 0,4	≤ 1	≤ 1
Примітка: НЗ = не застосовується. (1) У разі високого вмісту миш'яку в загальному вхідному потоці заводу, BAT-AEL може становити до 0,2 мг/л.						

Відповідний моніторинг у НДТ 16.

11.1.10 Шум

НДТ 18. Для зменшення шумового випромінювання НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання насипів для екранування джерела шуму
b	Розміщення шумних установок або компонентів у звукопоглинальні споруди
c	Використання антивібраційних опор та з'єднань для обладнання
d	Розташування механізмів, що утворюють шум;
e	Зміна частоти звуку

11.1.11 Запах

НДТ 19. Для зменшення виділення запахів НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Відповідне зберігання та поводження з пахучими матеріалами	Загальнозастосовні
b	Мінімізування використання пахучих матеріалів	Загальнозастосовні
c	Ретельне проєктування, обережна експлуатація та технічне обслуговування будь-якого обладнання, яке може спричиняти виділення запахів	Загальнозастосовні
d	Технології допалювання або фільтрування, в тому числі біофільтри	Застосовується лише в обмежених випадках (наприклад, на етапі просочення під час спеціального виробництва в секторі вуглецю та графіту)

11.2 Висновки щодо НДТ для виробництва міді

11.2.1 Вторинні матеріали

НДТ 20. Для підвищення виходу вторинних металів з брухту НДТ полягають у відділенні неметалевих компонентів та металів, крім міді, за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Ручне відділення великих видимих компонентів
b	Магнітне відділення чорних металів
c	Оптичне відокремлення або відокремлення вихровим струмом алюмінію
d	Розділення за відносною густиною для різних металевих та неметалевих компонентів (з використанням рідини з іншою густиною або повітря)

11.2.2 Енергія

НДТ 21. Для ефективного використання енергії у виробництві первинної міді НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

Технологія		Застосовність
a	Оптимізація використання енергії, що міститься в концентраті, за допомогою печі зваженої плавки	Застосовується лише до нових заводів або до капітально модернізованих наявних заводів
b	Використання гарячих технологічних газів з етапів плавлення для нагрівання шихти печі	Застосовується тільки до шахтних печей
c	Накривання концентратів під час транспортування та зберігання	Загальнозастосовні
d	Використання надлишкового тепла, що утворюється на етапах первинної виплавки або конвертування, для плавлення вторинних матеріалів, що містять мідь	Загальнозастосовні
e	Використання тепла газів з анодних печей у каскаді для інших процесів, таких як сушіння	Загальнозастосовні

НДТ 22. Для ефективного використання енергії у виробництві вторинної міді НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

Технологія		Застосовність
a	Зменшення вмісту води у вихідному матеріалі	Застосовність обмежена, коли вміст вологи в матеріалах використовується як метод зменшення дифузних викидів.
b	Пара, отримана шляхом регенерації надлишкового тепла з плавильної печі, для нагрівання електроліту на рафінувальних заводах та/або для виробництва електроенергії на когенераційних установках.	Застосовується за наявності економічно обґрунтованого попиту на пару
c	Переплавлення брухту з використанням надлишкового тепла, що виділяється у процесі виплавки або конвертування	Загальнозастосовні
d	Піч витримки між етапами обробки	Застосовується лише для металоплавильної печі періодичної дії, коли потрібна буферна ємність розплавленого матеріалу
e	Підігрівання шихти з використанням гарячих технологічних газів з етапів плавлення	Застосовується тільки до шахтних печей

НДТ 23. Для ефективного використання енергії в операціях електролітичного рафінування та електровідновлення НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Використання ізоляції та покриття електролізерних резервуарів	Загальнозастосовні
b	Додавання поверхнево-активних речовин у камери електровідновлення	Загальнозастосовні
c	Вдосконалена конструкція камери для зменшення споживання енергії шляхом оптимізації наступних параметрів: відстань між анодом і катодом, геометрія анода, густина струму, склад і температура електроліту	Застосовується лише до нових заводів або до капітально модернізованих наявних заводів
d	Використання катодних основ із неіржавкої сталі	Застосовується лише до нових заводів або до капітально модернізованих наявних заводів
e	Автоматизована заміна катода/анода для забезпечення точного розміщення електродів у камері	Застосовується лише до нових заводів або до капітально модернізованих наявних заводів
f	Виявлення короткого замикання та контроль якості для забезпечення того, щоб електроди були прямими та плоскими, а анод мав точну вагу	Загальнозастосовні

11.2.3 Викиди у повітря

НДТ 24. Для зменшення вторинних викидів у повітря з печей та допоміжних пристроїв у виробництві первинної міді та оптимізації роботу системи боротьби з викидами НДТ полягають у вловлюванні, змішуванні та очищенні вторинних викидів у централізованій системі очищення відхідних газів.

Опис

Вторинні викиди з різних джерел вловлюються, змішуються та очищаються в єдиній централізованій системі очищення відхідних газів, призначеній для ефективної обробки забруднювальних речовин, присутніх у кожному потоці. Вживаються заходи для уникнення змішування хімічно несумісних потоків і уникнення небажаних хімічних реакцій між різними потоками, що збираються.

Застосовність

Застосовність для наявних заводів може бути обмежена їх плануванням та схемою.

11.2.3.1 Дифузні викиди

НДТ 25. Для запобігання або зменшення дифузних викидів від попередньої обробки (наприклад, змішування, сушіння, гомогенізації, просіювання та гранулювання) первинних та вторинних матеріалів НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Використання закритого конвеєру або системи пневматичного транспортування для пилоподібних матеріалів	Загальнозастосовні
b	Виконання дій з пилоподібними матеріалами, наприклад, змішування в закритому приміщенні	Для наявних заводів застосування може бути ускладнене через вимоги щодо розміщення.
c	Використання систем пригнічення пилу, таких як водомети або водяний зрошувач	Не застосовується для операцій змішування, що виконуються і приміщенні. Не застосовується для процесів, які потребують сухих матеріалів. Застосування також обмежене в регіонах із дефіцитом води або дуже низькими температурами
d	Використання закритого обладнання для операцій з пилоподібним матеріалом (таких як сушіння, змішування, помел, повітряне розділення та гранулювання) із витяжною системою, підключеною до системи боротьби з викидами	Загальнозастосовні
e	Використання витяжної системи для викидів пилу та газів, наприклад, витяжного ковпака у поєднанні із системою боротьби з викидами пилу та газу	Загальнозастосовні

НДТ 26. Для запобігання або зменшення дифузних викидів від операцій завантаження, виплавки та випускання на заводах з виплавки первинної та вторинної міді та від печей витримки та плавильних печей НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Брикетування та гранулювання сировини	Застосовується тільки у процесі та у печі може використовуватись гранульована сировина
b	Закрита система завантаження, така як односопловий пальник, герметизація вікна ([1]), закриті конвеєри або завантажувальні механізми, обладнані витяжною системою в поєднанні з системою боротьби з викидами пилу та газу	Струменевий пальник застосовується тільки для печей зваженої плавки
c	Робота печі та маршрут газів під негативним тиском та з належним видаленням газу для запобігання підвищенню тиску	Загальнозастосовні
d	Ковпаки вловлювачі/покриття в точках завантаження та розливання в поєднанні з системою видалення відхідних газів (наприклад, корпус/тунель для роботи ковша під час випускання, який закривається зсувними дверима/бар'єром, обладнаним системою вентиляції та боротьби з викидами)	Загальнозастосовні
e	Ізолювання печі у вентильованому корпусі	Загальнозастосовні
f	Підтримання герметичності печі	Загальнозастосовні
g	Підтримання температури в печах на найнижчому необхідному рівні	Загальнозастосовні
h	Посилені системи всмоктування ([1])	Загальнозастосовні
i	Закрите приміщення у поєднанні з іншими технологіями вловлювання дифузних викидів	Загальнозастосовні
дж	Система завантаження з подвійним конусом для шахтних/доменних печей	Загальнозастосовні
k	Вибір та подання сировини відповідно до типу печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються	Загальнозастосовні
л	Використання кришок на горловинах обертової анодної печі	Загальнозастосовні
([1]) Опис технології наведений у Розділі 11.10.		

НДТ 27. Для зменшення дифузних викидів від конвертерної печі Пірса-Сміта у виробництві первинної та вторинної міді НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Робота печі та маршрут газів під негативним тиском та з належним видаленням газу для запобігання підвищенню тиску
b	Збагачення киснем
c	Первинний ковпак над конвертером над устям конвертера для вловлювання та передавання первинних викидів у систему боротьби з викидами
d	Додавання матеріалів (наприклад, брухту та флюсу) через ковпак
e	Система вторинних ковпаків на додаток до основного ковпаку для уловлювання викидів під час операцій завантаження та випускання
f	Розміщення печі у закритому приміщенні
g	Застосування вторинних ковпаків з механічним приводом для їх переміщення залежно від етапу процесу для підвищення ефективності вловлювання вторинних викидів
h	Посилені системи всмоктування ([1]) та автоматичне керування для запобігання витоку в періоди, коли конвертер відхиляється
([1]) Опис технології наведений у Розділі 11.10.	

НДТ 28. Для зменшення дифузних викидів від конвертерної печі Hoboken у виробництві первинної міді НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче

	Технологія
a	Робота печі та маршрут димових газів під негативним тиском під час операцій із завантаження, знімання та випускання
b	Збагачення киснем
c	Колошник із закритими кришками під час експлуатації
d	Посилені системи всмоктування ([1])
([1]) Опис технології наведений у Розділі 11.10.	

НДТ 29. Для зменшення дифузних викидів у процесі конвертування штейну НДТ полягають у використанні печі зваженого конвертування.

Застосовність
Застосовується тільки до нових заводів або капітально модернізованих наявних заводів.

НДТ 30. Для зменшення дифузних викидів від обертової конвертерної печі з верхнім дуттям у виробництві вторинної міді НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Робота печі та маршрут газів під негативним тиском та з належним видаленням газу для запобігання підвищенню тиску	Загальнозастосовні
b	Збагачення киснем	Загальнозастосовні
c	Піч, розташована в закритому приміщенні, у поєднанні з технологіями вловлювання та передачі дифузних викидів від завантаження та випускання в систему боротьби з викидами	Загальнозастосовні
d	Первинний ковпак над конвертером над устям конвертера для вловлювання та передавання первинних викидів у систему боротьби з викидами	Загальнозастосовні
e	Ковпаки або ковпаки, вбудовані в кран, для вловлювання та передачі викидів від операцій завантаження та випускання в систему боротьби з викидами	Для наявних заводів вбудований ковпак застосовується лише для капітально модернізованого залу печі
f	Додавання матеріалів (наприклад, брухту та флюсу) через ковпак	Загальнозастосовні
g	Посилена система всмоктування ([1])	Загальнозастосовні
([1]) Опис технології наведений у Розділі 11.10.		

НДТ 31. Для зменшення дифузних викидів від вилучення міді за допомогою концентратора шлаку НДТ полягають у використанні технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Технології пригнічення пилу, такі як розпилення води для поводження, зберігання та дроблення шлаку
b	Подрібнення та флотація у воді
c	Подання шлаку до місця остаточного зберігання гідротранспортом закритим трубопроводом
d	Підтримання шару води у ставі або використання пилопригнічувача, такого як вапняне молоко, в посушливих районах

НДТ 32. Для зменшення дифузних викидів від обробки в печі шлаку з високим вмістом міді НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Технології пригнічення пилу, такі як розпилення води для поводження, зберігання та дроблення кінцевого шлаку
b	Робота печі під негативним тиском
c	Закрита піч
d	Корпус, покриття та ковпак для збору та передачі викидів у систему боротьби з викидами
e	Критий жолоб

НДТ 33. Для зменшення дифузних викидів від лиття анодів у виробництві первинної та вторинної міді НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання закритого розливного пристрою
b	Використання закритого проміжного ковшу
c	Використання ковпаку, обладнаного витяжною системою, над розливним ковшем та ливарною каруселлю

НДТ 34. Для зменшення дифузних викидів від електролітичних камер НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Додавання поверхнево-активних речовин у камери електровідновлення	Загальнозастосовні
b	Використання покриттів та ковпака для вловлювання та передачі викидів у систему боротьби з викидами	Застосовується тільки для камер електровідновлення або рафінувальних ванн для анодів низької чистоти. Не застосовується, коли камера або ванна повинні залишатися відкритими для підтримання температури камери або ванни на прийнятному рівні (приблизно 65 °C).
c	Закриті та стаціонарні трубопроводи для перекачування розчинів електролітів	Загальнозастосовні
d	Видалення газу з промивних камер машини для обдирання катоду та машини промивання анодного скрапу	Загальнозастосовні

НДТ 35. Для зменшення дифузних викидів від лиття мідних сплавів НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання покриттів та ковпаків для вловлювання та передачі викидів у систему боротьби з викидами
b	Використання покриття для розплавів у печах витримки та ливарних печах
c	Посилена система всмоктування ([1])
([1]) Опис технології наведений у Розділі 11.10.	

НДТ 36. Для зменшення дифузних викидів від некислотного та кислотного травлення НДТ * полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Ізольована лінія травлення розчином ізопропанолу, що працює у замкнутому циклі	Застосовується тільки для травлення мідної катанки у безперервних операціях
b	Ізолювання лінії травлення для вловлювання та передачі викидів у систему боротьби з викидами	Застосовується тільки для кислотного травлення у безперервних операціях

11.2.3.2 Каналізовані викиди пилу

Описи технологій, зазначених у цьому розділі, наведені у Розділі 11.10.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ, наведені у Таблиці 11.3.

НДТ 37. Для зниження викидів пилу та металів у повітря від отримання, зберігання, поводження, транспортування, дозування, змішування, усереднення, дроблення, сушіння, різання та просіювання сировини, а також у піролітичній обробці мідної стружки в виробництві первинної та вторинної міді НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

НДТ 38. Для зниження викидів пилу та металів у повітря від сушіння концентрату у виробництві первинної міді НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Застосовність
У разі високого вмісту органічного вуглецю в концентратах (наприклад, близько 10 % мас.) рукавні фільтри можуть бути незастосовні (через засмічення мішків), та можуть використовуватись інші технології (наприклад, електростатичний фільтр).

НДТ 39. Для зниження викидів пилу та металів у повітря (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2 або на електростанцію) від заводу та конвертеру з виплавки первинної міді НДТ полягають у використанні рукавного фільтра та/або мокрого скрубера.

НДТ 40. Для зниження викидів пилу та металів у повітря (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти) від заводу та конвертеру з виплавки вторинної міді, а також від обробки вторинних проміжних продуктів міді НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

НДТ 41. Для зниження викидів пилу та металів у повітря з печі витримки для вторинної міді НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

НДТ 42. Для зниження викидів пилу та металів у повітря від обробки в печі шлаку з високим вмістом міді НДТ полягають у використанні рукавного фільтра або скрубера у поєднанні з електростатичним фільтром.

НДТ 43. Для зниження викидів пилу та металів у повітря від анодної печі у виробництві первинної та вторинної міді НДТ полягають у використанні рукавного фільтра або скрубера у поєднанні з електростатичним фільтром.

НДТ 44. Для зниження викидів пилу та металів у повітря від лиття анодів у виробництві первинної та вторинної міді НДТ полягають у використанні рукавного фільтра або, у випадку відхідних газів з вмістом води, близьким до точки роси, мокрого скрубера або краплевловлювача.

НДТ 45. Для зниження викидів пилу та металів у повітря з мідеплавильної печі НДТ полягають у виборі та подаванні сировини відповідно до типу печі та використовуваної системи боротьби з викидами, а також у використанні рукавного фільтра.

Таблиця 11.3: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, у виробництві міді

Параметр	НДТ	Процес	BAT-AEL (мг/нм^3)
Пил	НДТ 37	Приймання, зберігання, поводження, транспортування, дозування, змішування, усереднення, дроблення, сушіння, різання та просіювання сировини, а також піролітична обробка мідної стружки у виробництві первинної та вторинної міді	2-5 ([1])([4])
	НДТ 38	Сушіння концентрату у виробництві первинної міді	3-5 ([2])([4])([5])
	НДТ 39	Завод та конвертер з виплавки первинної міді (викиди, крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2 або електростанцію)	2–5 ([3])([4])
	НДТ 40	Завод та конвертер з виплавки вторинної міді та обробка вторинних проміжних продуктів міді (викиди, крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти)	2–4 ([2])([4])
	НДТ 41	Піч витримки для вторинної міді	≤ 5 ([1])
	НДТ 42	Обробка шлаку з високим вмістом міді у печі	2–5 ([1])([6])
	НДТ 43	Анодна піч (у виробництві первинної та вторинної міді)	2–5 ([2])([4])
	НДТ 44	Лиття анодів (у виробництві первинної та вторинної міді)	≤ 5–15 ([2])([7])
	НДТ 45	Мідеплавильна піч	2–5 ([2])([8])

([1]) Середнє значення за період відбору проб.
([2]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб.
([3]) В середньому за день.
([4]) Очікується, що викиди пилу будуть ближче до нижнього значення діапазону, якщо викиди важких металів перевищать такі рівні: 1 мг/Нм^3 для свинцю, 1 мг/Нм^3 для міді, 0,05 мг/Нм^3 для миш'яку, 0,05 мг/Нм^3 для кадмію.
([5]) Коли концентрати, що використовуються, мають високий вміст органічного вуглецю (наприклад, близько 10 % мас.), можна очікувати викидів до 10 мг/Нм^3.
([6]) Очікується, що викиди пилу будуть ближче до нижнього значення діапазону, коли викиди свинцю перевищують 1 мг/Нм^3.
([7]) Нижнє значення діапазону пов'язане з використанням рукавного фільтра.
([8]) Очікується, що викиди пилу будуть ближче до нижнього значення діапазону, коли викиди міді перевищують 1 мг/Нм^3.

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.2.3.3 Викиди органічних сполук

НДТ 46. Для зменшення викидів органічних сполук у повітря від піролітичної обробки мідної стружки, а також сушіння, виплавки та плавлення вторинної сировини НДТ полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Допалювач, або камера допалювання, або регенеративний термічний окисник	Застосовність обмежується вмістом енергії у відхідних газах, які необхідно обробляти, оскільки відхідні гази з нижчим вмістом енергії вимагають вищого споживання палива.
b	Введення адсорбенту у поєднанні з рукавним фільтром	Загальнозастосовні
c	Проєктування печі та технології усунення забруднення довкілля відповідно до наявної сировини	Застосовується лише до нових печей або капітально модернізованих наявних печей
d	Вибір та подання сировини відповідно до печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються	Загальнозастосовні
e	Термічне руйнування ЛОС за високих температур печі (> 1000 °C)	Загальнозастосовні
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.4.

Таблиця 11.4: Рівні викидів у повітря ЗЛОС, пов'язані з НДТ, від піролітичної обробки мідної стружки, а також сушіння, плавки та плавлення вторинної сировини

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])([2])
ЗЛОС	3–30
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Нижнє значення діапазону пов'язане з використанням регенеративного термічного окисника.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 47. Для зменшення викидів органічних сполук у повітря від вилучення розчинником у гідрометалургійному виробництві міді НДТ полягають у використанні обох технологій, наведених нижче, і щорічному визначенні викидів ЛОС, тобто, через баланс маси.

	Технологія
a	Реагент процесу (розчинник) з нижчим тиском пари
b	Закрите обладнання, таке як закриті змішувальні резервуари, закриті відстійники та закриті резервуари для зберігання

НДТ 48. Для зменшення викидів ПХДД/Ф у повітря від операцій піролітичної обробки мідної стружки, виплавки, плавлення, вогняного рафінування та конвертування у виробництві вторинної міді НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Вибір та подання сировини відповідно до печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються
b	Оптимізація умов горіння для зменшення викидів органічних сполук
c	Використання системи завантаження для напівзакритої печі, щоб подавати невеликі добавки сировини
d	Термічне руйнування ПХДД/Ф у печі за високих температур (> 850 °C)
e	Вдування кисню у верхню зону печі
f	Система внутрішнього пальника
g	Камера допалювання, або допалювач, або регенеративний термічний окисник ([1])
h	Відмова від витяжних систем із накопиченням великої кількості пилу за температури > 250 °C
i	Швидке охолодження ([1])
дж	Введення агента, що адсорбує, у комбінації з ефективною системою уловлювання пилу ([1])
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.5.

Таблиця 11.5: Рівні викидів ПХДД/Ф у повітря, пов'язані з НДТ, в результаті піролітичної обробки мідної стружки, плавки, плавлення, вогняного рафінування та конвертування у виробництві вторинної міді

Параметр	BAT-AEL (нг МТЕ/Нм^3) ([1])
ПХДД/Ф	≤ 0,1
([1]) Середнє значення за період відбору проб не менше шести годин.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.2.3.4 Викиди діоксиду сірки

Описи технологій, зазначених у цьому розділі, наведені у Розділі 11.10.

НДТ 49. Для зменшення викидів SO_2 (крім тих, які спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2 або на електростанцію) від виробництва первинної та вторинної міді НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Сухий або напівсухий скрубер	Загальнозастосовні
b	Мокрий скрубер	Застосовність може бути обмежена у наступних випадках: дуже високі швидкості потоку відхідних газів (через значні об'єми відходів та відпрацьованих вод) у посушливих районах (через потребу у великій кількості води та в очищенні відпрацьованих вод)
c	Система абсорбції/десорбції на поліефірній основі	Не застосовується у разі виробництва вторинної міді. Не застосовується за відсутності установки з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.6.

Таблиця 11.6: Рівні викидів SO_2 у повітря, пов'язані з НДТ (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2 або електростанції) від виробництва первинної та вторинної міді

Параметр	Процес	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
SO_2	Виробництво первинної міді	50–500 ([2])
	Виробництво вторинної міді	50–300
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) У разі використання мокрого скрубера або концентрату з низьким вмістом сірки BAT-AEL можуть становити до 350 мг/Нм^3.		

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.2.3.5 Викиди кислоти

НДТ 50. Для зменшення викидів кислих газів у повітря від вихлопних газів камер електролізу, ванн електролітичного рафінування, промивної камери машини для обдирання катоду та машини промивання анодного скрапу НДТ полягають у використанні мокрого скрубера або краплевловлювача.

11.2.4 Ґрунт та підземні води

НДТ 51. Для запобігання забрудненню ґрунту та підземних вод від вилучення міді у концентраторі шлаку НДТ полягає у використанні дренажної системи в зонах охолодження та правильної конструкції зони зберігання кінцевого шлаку для збору зливу та запобігання витоку рідини.

НДТ 52. Для запобігання забрудненню ґрунту та підземних вод від електролізу у виробництві первинної та вторинної міді НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання закритої дренажної системи.
b	Використання непроникних та кислотостійких підлог
c	Використання резервуарів з подвійними стінками або розміщення у стійких обвалуваннях з непроникною підлогою

11.2.5 Утворення відпрацьованих вод

НДТ 53. Для запобігання утворенню стічних вод у процесі виробництва первинної та вторинної міді НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання конденсату пари для обігріву електролітичних камер, для промивання мідних катодів або спрямування її назад у паровий котел
b	Повторне використання води, зібраної з зони охолодження, процесу флотації та гідротранспортування кінцевого шлаку у процесі концентрування шлаку
c	Перероблення травильних розчинів та промивної води
d	Обробка залишків (неочищених) з етапу вилучення екстракції розчинником у гідрометалургійному виробництві міді для відновлення вмісту органічного розчину
e	Центрифугування суспензії з етапу очищення та відстійників з етапу вилучення розчинником у гідрометалургійному виробництві міді
f	Повторне використання зливу електролізу після етапу видалення металу в процесі електровідновлення та/або вилуговування

11.2.6 Відходи

НДТ 54. З метою зменшення кількості відходів, що направляються на утилізацію, від виробництва первинної та вторинної міді НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання технологічних залишків або, якщо це неможливо, перероблення технологічних залишків, в тому числі за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Вилучення металів з пилу і шламу, що надходять із системи зниження викидів пилу	Загальнозастосовні
b	Повторне використання або продаж сполук кальцію (наприклад, гіпс), що утворюються в результаті зниження викидів SO_2	Застосовність може бути обмежена в залежності від вмісту металу та від наявності ринку
c	Регенерація або перероблення відпрацьованих каталізаторів	Загальнозастосовні
d	Вилучення металу зі шламу від очищення стічних вод	Застосовність може бути обмежена в залежності від вмісту металу та від наявності ринку/процесу
e	Використання слабкої кислоти в процесі вилуговування або для виробництва гіпсу	Загальнозастосовні
f	Відновлення вмісту міді з багатого шлаку в шлаковій печі або на установці флотації шлаку	
g	Використання кінцевого шлаку з печей у якості абразивного або будівельного матеріалу (для доріг) або для інших життєздатних галузей застосування	Застосовність може бути обмежена в залежності від вмісту металу та від наявності ринку
h	Використання футерування печі для вилучення металів або повторного використання у якості вогнетривкого матеріалу	
i	Використання шлаку з процесу флотации шлаку в якості абразивного або будівельного матеріалу або для інших життєздатних галузей застосування	
дж	Використання знімання із плавильних печей для вилучення вмісту металу	Загальнозастосовні
k	Використання відпрацьованого електроліту для вилучення міді та нікелю. Повторне використання кислоти, що залишилася, для отримання нового електроліту або виробництва гіпсу	
л	Використання відпрацьованого анода у якості охолоджувального матеріалу в пірометалургійному процесі рафінування або переплавлення міді	
м	Використання анодного шламу для вилучення дорогоцінних металів	
н	Використання гіпсу з установки з очищення відпрацьованих вод у пірометалургійному процесі або продаж	Застосовність може бути обмежена в залежності від якості отриманого гіпсу
o	Вилучення металів з осаду	Загальнозастосовні
p	Повторне використання відпрацьованого електроліту з гідрометалургійного виробництва міді у якості агента для вилуговування	Застосовність може бути обмежена в залежності від вмісту металу та від наявності ринку/процесу
q	Перероблення мідної окалини від прокатки на міделавильному заводі	Загальнозастосовні
r	Вилучення металів з відпрацьованого кислотного травильного розчину та повторне використання очищеного кислотного розчину	

11.3 Висновки щодо НДТ для виробництва алюмінію, в тому числі виробництва глинозему та анодів

11.3.1 Виробництво глинозему

11.3.1.1 Енергія

НДТ 55. Для ефективного використання енергії у виробництві глинозему з бокситів НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Опис	Застосовність
a	Пластинчасті теплообмінники	Пластинчасті теплообмінники забезпечують вищу регенерацію тепла з лугу, що надходить у зону осадження, порівняно з іншими технологіями, такими як установки швидкого охолодження	Застосовується, коли енергія охолоджувальної рідини може бути повторно використана в процесі, якщо це дозволяють баланс конденсату і стан лугу.
b	Кальцинатори з псевдозрідженим шаром, що циркулює	Кальцинатори з псевдозрідженим шаром, що циркулює мають набагато більшу енергоефективність, ніж обертові печі, оскільки рекуперація тепла з глинозему і димових газів вище	Застосовується тільки до глинозему плавильних сортів. Не застосовується до глинозему спеціального призначення/неплавильних сортів, оскільки для нього потрібен вищій рівень обпалювання, який сьогодні може бути досягнутий тільки в обертовій печі
c	Однопотокова схема вилуговування	Суспензія нагрівається в одному контурі без використання гострої пари й, отже, без розведення пульпи (на відміну від двопотокової схеми вилуговування)	Застосовується тільки для нових заводів
d	Вибір бокситів	Боксити з вищим вмістом вологи залучають до процесу більше води, що збільшує потребу в енергії для випаровування. Крім того, боксити з високим вмістом моногідрату (беміту та/або діаспори) вимагають вищого тиску і температури в процесі вилуговування, що призводить до вищого споживання енергії.	Застосовується у межах обмежень, пов'язаних з конкретним плануванням заводу, оскільки деякі заводи спеціально спроєктовані для бокситів певної якості, що обмежує використання альтернативних джерел бокситів

11.3.1.2 Викиди у повітря

НДТ 56. Для зменшення викидів пилу та металів при обпалюванні глинозему НДТ полягають у використанні рукавного фільтра або електростатичного фільтра

11.3.1.3 Відходи

НДТ 57. Для зменшення кількості відходів, що відправляються на утилізацію, та вдосконалити процес утилізації залишків бокситів від виробництва глинозему НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Зменшення обсягу залишків бокситів шляхом ущільнення, щоб мінімізувати вміст вологи, наприклад, з використанням вакуумних фільтрів або фільтрів високого тиску для утворення напівсухого осаду
b	Зниження/мінімізація залишкової лужності в залишках бокситів, щоб їх можна було утилізувати на полігон для захоронення

11.3.2 Виробництво анодів

11.3.2.1 Викиди у повітря

11.3.2.1.1 Викиди пилу, ПАВ та фторидів зі змішувально-пресового відділення

НДТ 58. Для зменшення викидів пилу в повітря зі змішувально-пресового відділення (видалення коксового пилу від таких операцій, як зберігання коксу та подрібнення) НДТ полягають у використанні рукавного фільтра

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.7.

НДТ 59. Для зменшення викидів пилу та ПАВ у повітря від змішувально-пресового відділення (зберігання гарячого пеку, змішування пасти, охолодження та формування) НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])
a	Сухий скрубер з використанням коксу у якості адсорбенту з попереднім охолодженням або без нього, з подальшим застосуванням рукавного фільтра
b	Регенеративний термічний окисник
c	Каталітичний термічний окисник
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.7.

Таблиця 11.7: Рівні викидів пилу та BaP (як індикатора ПАВ) у повітря, пов'язані з НДТ, від змішувально-пресового відділення

Параметр	Процес	BAT-AEL (мг/нм^3)
Пил	- Зберігання гарячого пеку, змішування, охолодження та формування пасти - Видалення коксового пилу від таких операцій, як зберігання коксу та подрібнення	2–5 ([1])
BaP	Зберігання гарячого пеку, змішування, охолодження та формування пасти	0,001–0,01 ([2])
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Середнє значення за період відбору проб.		

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.3.2.1.2 Викиди пилу, діоксиду сірки, ПАВ та фторидів з заводу для обпалювання

НДТ 60. Для зменшення викидів пилу, діоксиду сірки, ПАВ та фторидів у повітря від заводу для обпалювання на заводі з виробництва анодів, інтегрованого з заводом з виплавки первинного алюмінію НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Використання сировини та палива, що містять невелику кількість сірки	Зазвичай застосовується для зниження викидів SO_2
b	Сухий скрубер з використанням глинозему у якості адсорбувального агента з подальшим використанням рукавного фільтра	Зазвичай застосовується для зниження викидів пилу, ПАВ та фторидів
c	Мокрий скрубер	Застосовність для зниження викидів пилу, SO_2, ПАВ та фторидів може бути обмежена у таких випадках: дуже високі швидкості потоку відхідних газів (через значні об'єми відходів та відпрацьованих вод) у посушливих районах (через потребу у великій кількості води та в очищенні відпрацьованих вод)
d	Регенеративний термічний окисник у поєднанні з системою зниження викидів пилу	Зазвичай застосовується для зниження викидів пилу та ПАВ
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.8.

Таблиця 11.8: Рівні викидів пилу, BaP (як індикатора ПАВ) та фторидів у повітря, пов'язані з НДТ, від заводу для обпалювання на заводі з виробництва анодів, інтегрованого з заводом з виплавки первинного алюмінію

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3)
Пил	2–5 ([1])
BaP	0,001–0,01 ([2])
HF	0,3–0,5 ([1])
Загальні фториди	≤ 0,8 ([2])
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 61. Для зменшення викидів пилу, ПАВ та фторидів у повітря з заводу для обпалювання на автономному заводі з виробництва анодів НДТ полягають у використанні установки попереднього фільтрування та регенеративного термічного окисника з подальшим застосуванням сухого скрубера (наприклад, з вапняним шаром).

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.9.

Таблиця 11.9: Рівні викидів пилу, BaP (як індикатора ПАВ) та фторидів у повітря, пов'язані з НДТ, від заводу для обпалювання на автономному заводі з виробництва анодів

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3)
Пил	2–5 ([1])
BaP	0,001–0,01 ([2])
HF	≤ 3 ([1])
([1]) Середнє значення за день. ([2]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.3.2.2 Утворення відпрацьованих вод

НДТ 62. Для запобігання утворенню стічних вод при обпалюванні анодів НДТ полягають у використанні замкнутого водного циклу.

Застосовність
Як правило, застосовується до нових заводів або до капітально модернізованих заводів. Застосовність може бути обмежена через вимоги до якості води та/або якості продукції.

11.3.2.3 Відходи

НДТ 63. Для зменшення кількості відходів, що спрямовуються на захоронення НДТ полягають в переробленні вугільного пилу з коксового фільтра у якості очисного матеріалу.

Застосовність
Можуть бути обмеження щодо застосування в залежності від вмісту золи у вугільному пилу.

11.3.3 Виробництво первинного алюмінію

11.3.3.1 Викиди у повітря

НДТ 64. Для запобігання або вловлювання дифузних викидів від електролітичних камер у виробництві первинного алюмінію з використанням технології Сьодерберга НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання пасти із вмістом пеку від 25 % до 28 % (суха паста)
b	Модернізована конструкція колектора, що дозволяє здійснювати закрите точкове подання та підвищує ефективність уловлювання газу
c	Точкове подання глинозему
d	Збільшена висота анода у поєднанні з обробкою за НДТ 67
e	Ковпак у верхній частині анода, коли використовуються аноди з високою густиною струму, пов'язаний з обробкою за НДТ 67

Опис
НДТ 64(c): Точкова подача глинозему дозволяє уникнути регулярного руйнування кірки (наприклад, під час ручного бічного подання або під час подання з пробійником блокового типу) і, таким чином, знижує пов'язані з цим викиди фторидів та пилу.

НДТ 64(d): Збільшена висота анода допомагає знизити температуру у верхній частині анода, що призводить до зниження викидів у повітря.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.12.

НДТ 65. Для запобігання або вловлювання дифузних викидів від електролітичних камер у виробництві первинного алюмінію з використанням попередньо обпалених анодів НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Автоматичне багатоточкове подання глинозему
b	Повне покриття камери ковпаком і достатня швидкість видалення відхідних газів (щоб спрямувати відхідні гази на обробку за НДТ 67) з урахуванням утворення фторидів з ванни та витрати вугільних анодів
c	Посилена система всмоктування, поєднана з методами усунення забруднення довкілля, наведеними в НДТ 67
d	Мінімізація часу на заміну анодів та інші дії, що вимагають зняття ковпаків камери
e	Ефективна система управління технологічним процесом, що дозволяє уникнути відхилень від технологічного процесу, які в іншому випадку могли б призвести до виділення та викидів з камери
f	Використання програмної системи для експлуатації та обслуговування камер
g	Використання встановлених ефективних методів очищення на заводі з прикріплення обпалених анодів до стрижнів для вилучення фторидів та вуглецю
h	Зберігання видалених анодів у відсіку поруч із камерою, пов'язане з обробкою за НДТ 67, або зберігання недогарків у закритих ящиках

Застосовність
НДТ 65.c і h не застосовуються до наявних установок.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.12.

11.3.3.1.1 Каналізовані викиди пилу та фторидів

НДТ 66. Для зменшення викидів пилу від зберігання, поводження та транспортування сировини НДТ полягають у використанні рукавного фільтра

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.10.

Таблиця 11.10: Рівні викидів пилу, пов'язані з НДТ, від зберігання, поводження та транспортування сировини

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	≤ 5–10
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 67. Для зменшення викидів пилу, металу та фторидів у повітря від електролітичних камер НДТ полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Сухий скрубер з використанням глинозему у якості адсорбувального агента з подальшим використанням рукавного фільтра	Загальнозастосовні
b	Сухий скрубер з використанням глинозему у якості адсорбувального агента з подальшим використанням рукавного фільтра та мокрого скрубера	Застосовність може бути обмежена у наступних випадках: дуже високі швидкості потоку відхідних газів (через значні об'єми відходів та відпрацьованих вод) у посушливих районах (через потребу у великій кількості води та в очищенні відпрацьованих вод)
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.11. та Таблицю 11.12.

Таблиця 11.11: Рівні викидів пилу та фторидів у повітря, пов'язані з НДТ, від електролітичних камер

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3)
Пил	2–5 ([1])
HF	≤ 1,0 ([1])
Загальні фториди	≤ 1,5 ([2])
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.3.3.1.2 Загальні обсяги викидів пилу та фторидів

Загальні обсяги викидів пилу та фторидів у повітря, пов'язані з НДТ, з цеху електролізу (вловлені з електролітичних камер та вентиляційних отворів на даху): див. Таблицю 11.12.

Таблиця 11.12: Загальні обсяги викидів пилу та фторидів у повітря, пов'язані з НДТ, з цеху електролізу (вловлені з електролітичних камер та вентиляційних отворів на даху)

Параметр	НДТ	BAT-AEL для нових заводів (кг/т Al) ([1])([2])	BAT-AEL для нових заводів (кг/т Al) ([1])
Пил	Комбінація НДТ 64, НДТ 65 та НДТ 67	≤ 1,2	≤ 0,6
Загальні фториди		≤ 0,6	≤ 0,35
([1]) Як маса забруднювальних речовин, що викидаються протягом року з цеху електролізу, поділена на масу рідкого алюмінію, виробленого в тому ж році ([2]) Ці BAT-AEL не застосовуються до установок, які через свою конфігурацію не можуть вимірювати викиди з дахів.			

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 68. Для запобігання або зменшення викидів пилу та металів у повітря від плавлення, та обробки розплавленого металу, та лиття у виробництві первинного алюмінію НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання рідкого металу від процесу електролізу та незабрудненого алюмінієвого матеріалу, тобто твердого матеріалу, що не містить таких речовин, як фарба, пластмаса або мастило (наприклад, верхня та нижня частини брусків, що вирізаються з міркувань якості)
b	Рукавний фільтр ([1])
([1]) Опис технології наведений у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.13.

Таблиця 11.13: Рівні викидів пилу у повітря, пов'язані з НДТ, від плавлення, обробки розплавленого металу та лиття у виробництві первинного алюмінію

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])([2])
Пил	2–25
([1]) Як середнє значення за пробами, отриманих за рік ([2]) Нижнє значення діапазону пов'язане з використанням рукавного фільтра.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.3.3.1.3 Викиди діоксиду сірки

НДТ 69. Для зменшення викидів у повітря від електролітичних камер НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Використання анодів з низьким вмістом сірки	Загальнозастосовні
b	Мокрий скрубер ([1])	Застосовність може бути обмежена у наступних випадках: дуже високі швидкості потоку відхідних газів (через значні об'єми відходів та відпрацьованих вод) у посушливих районах (через потребу у великій кількості води та в очищенні відпрацьованих вод)
([1]) Опис технології наведений у Розділі 11.10.		

Опис

НДТ 69(a): аноди, що містять менше ніж 1,5 % сірки в середньому за рік, можуть бути виготовлені шляхом відповідного поєднання використовуваної сировини. Для життєздатності електролітичного процесу потрібен мінімальний вміст сірки 0,9 % в середньому з рік

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.14.

Таблиця 11.14: Рівні викидів SO_2 у повітря, пов'язані з НДТ, від електролітичних камер

Параметр	BAT-AEL (кг/т Al) ([1])([2])
SO_2	≤ 2,5–15
([1]) Як маса забруднювальних речовин, що викидаються протягом року, поділена на масу рідкого алюмінію, виробленого в тому ж році ([2]) Нижнє значення діапазону пов'язане з використанням мокрого скрубера. Верхнє значення діапазону пов'язане з використанням анодів з низьким вмістом сірки.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.3.3.1.4 Викиди перфторвуглецiв

НДТ 70. Для зменшення викидів перфторвуглецiв у повітря від виробництва первинного алюмінію НДТ полягають у використанні всіх технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Автоматичне багатоточкове подання глинозему	Загальнозастосовні
b	Комп'ютерне управління електролітичним процесом на основі баз даних активних камер та контроль параметрів роботи камер	Загальнозастосовні
c	Автоматичне пригнічення анодного ефекту	Не застосовується до камери Сьодерберга, оскільки конструкція анода (однієї одиниці) не дозволяє потік ванни, пов'язаний з цією технологією

Опис
НДТ 70(c): анодний ефект відбувається, коли вміст глинозему в електроліті стає нижче 1–2 %. Під час анодного ефекту замість розкладання глинозему кріолітна ванна розкладається на іони металу та фтору, при цьому останні утворюють газоподібні перфторвуглеці, що вступають в реакцію з вугільним анодом.

11.3.3.1.5 Викиди ПАВ та CO

НДТ 71. Для зменшення викидів CO та ПАВ у повітря від виробництва первинного алюмінію з використанням технології Сьодерберга НДТ полягають у спалюванні CO та ПАВ у вихлопних газах камери

11.3.3.2 Утворення відпрацьованих вод

НДТ 72. Для запобігання утворенню стічних вод НДТ полягають у повторному використанні або переробленні охолоджувальної води та очищених стічних вод, в тому числі дощової води, в технологічному процесі

Застосовність
Як правило, застосовується до нових заводів або до капітально модернізованих заводів. Застосовність може бути обмежена через вимоги до якості води та/або якості продукції. Кількість охолоджувальної води, очищених стічних вод та дощової води, які повторно використовуються або переробляються, не може перевищувати кількості води, необхідної для технологічного процесу.

11.3.3.3 Відходи

НДТ 73. Для скорочення утилізації відпрацьованого футерування електролізерів НДТ полягають в організуванні операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити його зовнішнє перероблення, наприклад, у виробництві цементу в процесі відновлення сольового шлаку, у якості карбюризатора у сталеливарній або феросплавній промисловості або у якості вторинної сировини (наприклад, мінеральна вата), і залежності від вимог кінцевого споживача.

11.3.4 Виробництво вторинного алюмінію

11.3.4.1 Вторинні матеріали

НДТ 74. Для збільшення виходу сировини НДТ полягають у відділенні неметалевих компонентів та металів, крім алюмінію, з використанням однієї або комбінації технологій, наведених нижче, в залежності від компонентів оброблюваних матеріалів.

	Технологія
a	Магнітне відділення чорних металів
b	Відділення вихровим струмом (з використанням рухомих електромагнітних полів) алюмінію від інших компонентів
c	Розділення за відносною густиною (з використанням рідини з різною густиною) для різних металів та неметалевих компонентів

11.3.4.2 Енергія

НДТ 75. Для ефективного використання енергії НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Підігрів шихти печі вихлопними газами	Застосовується тільки для необретових печей
b	Рециркуляція газів з неспаленими вуглеводнями назад у систему пальника	Застосовується тільки для відбивних печей та сушарок
c	Постачання рідкого металу для прямого лиття у форму	Застосування обмежується часом, необхідним для транспортування (максимум 4–5 годин)

11.3.4.3 Викиди у повітря

НДТ 76. Для запобігання або зниження викидів у повітря НДТ полягають у видаленні мастила та органічних сполук зі стружки перед етапом виплавки за допомогою центрифугування та/або сушіння ([1]).

([1]) Опис технологій наведений у Розділі 11.10.

Застосовність

Центрифугування застосовується тільки до сильно забрудненої мастилом стружки, коли воно застосовується перед сушінням. Видалення мастила та органічних сполук може не знадобитися, якщо піч та система боротьби з викидами призначені для обробки органічного матеріалу.

11.3.4.3.1 Дифузні викиди

НДТ 77. Для запобігання або зменшення дифузних викидів від попередньої обробки брухту НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Закритий або пневматичний конвеєр із витяжною системою
b	Покриття або ковпаки для точок завантаження та розвантаження із витяжною системою

НДТ 78. Для запобігання або зменшення дифузних викидів від завантаження або розвантаження/випускання з плавильних печей НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Розміщення ковпака у верхній частині вікна печі та біля льотки з системою видалення відхідних газів, підключеною до системи фільтрування	Загальнозастосовні
b	Камера уловлювання диму, що закриває як зону завантаження, так і зону випускання	Застосовується тільки для стаціонарних барабанних печей
c	Герметизоване вікно печі ([1])	Загальнозастосовні
d	Герметизований завантажувальний візок	Застосовується тільки для необретових печей
e	Посилена система всмоктування, яку можна змінювати залежно від необхідного процесу ([1])	Загальнозастосовні
([1]) Опис технології наведений у Розділі 11.10.		

Опис
НДТ 78(a) та (b): полягають у покритті з витяжкою для вловлювання та обробки відхідних газів від процесу.

НДТ 78(d): скіп щільно прилягає до відкритого вікна печі під час вивантаження брухту і підтримує герметичність печі на цьому етапі.

НДТ 79. Для зменшення викидів від обробки знімання/дросу НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Охолодження знімання/дросу одразу після знімання з печі в герметизованих контейнерах в атмосфері інертного газу
b	Запобігання намоканню знімання/дросу
c	Ущільнення знімання/дросу за допомогою системи видалення повітря та зниження викидів пилу

11.3.4.3.2 Каналізовані викиди пилу

НДТ 80. Для зменшення викидів пилу та металів від сушіння стружки та видаленні з неї мастила та органічних сполук, від дроблення, помелу та сухого відділення неметалевих компонентів та металів, крім алюмінію, а також від зберігання, поводження та транспортування у виробництві вторинного алюмінію НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.15.

Таблиця 11.15: Рівні викидів пилу, пов'язані з НДТ, від сушіння стружки та видаленні з неї мастила та органічних сполук, від дроблення, помелу та сухого відділення неметалевих компонентів та металів, крім алюмінію, а також від зберігання, поводження та транспортування у виробництві вторинного алюмінію

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	≤ 5
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 81. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря в результаті процесів у печі, таких як завантаження, плавлення, випускання та обробка розплавленого металу у виробництві вторинного алюмінію НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.16.

Таблиця 11.16: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, в результаті процесів у печі, таких як завантаження, плавлення, випускання та обробка розплавленого металу у виробництві вторинного алюмінію.

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	2–5
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 82. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря від переплавлення у виробництві вторинного алюмінію НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання незабрудненого алюмінієвого матеріалу, тобто твердого матеріалу, що не містить таких речовин, як фарба, пластмаса або мастило (наприклад, бруски)
b	Оптимізація умов горіння для зменшення викидів пилу
c	Рукавний фільтр

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: Див. Таблицю 11.17.

Таблиця 11.17: Рівні викидів пилу, пов'язані з НДТ, від переплавлення у виробництві вторинного алюмінію

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])([2])
Пил	2–5
([1]) Середнє значення за період відбору проб. **([2])** Для печей, призначених для використання та що використовують лише незабруднену сировину, для яких викиди пилу становлять нижче 1 кг/год, верхнє значення діапазону становить 25 мг/Нм^3 як середнє значення проб, отриманих за рік.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.3.4.3.3 Викиди органічних сполук

НДТ 83. Для зменшення викидів у повітря органічних сполук та ПХДД/Ф від термічної обробки забрудненої вторинної сировини (наприклад, стружки) та від плавильної печі НДТ полягають у використанні рукавного фільтра в поєднанні з принаймні однією з технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])
a	Вибір та подання сировини відповідно до печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються
b	Система внутрішнього пальника для плавильної печі
c	Допалювач
d	Швидке охолодження
e	Вдування активованого вугілля
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.18.

Таблиця 11.18: Рівні викидів ЗЛОС та ПХДД/Ф у повітря, пов'язані з НДТ, внаслідок термічної обробки забрудненої вторинної сировини (наприклад, стружки) та з плавильної печі

Параметр	Одиниці вимірювання	BAT-AEL
ЗЛОС	мг/нм^3	≤ 10–30 ([1])
ПХДД/Ф	нг МТЕ/Нм^3	≤ 0,1 ([2])
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Середнє значення за період відбору проб не менше шести годин.		

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.3.4.3.4 Викиди кислоти

НДТ 84. Для зменшення викидів у повітря HCl, Cl_2 та HF від термічної обробки забрудненої вторинної сировини (наприклад, стружки), плавильної печі, а також переплавлення та обробки розплавленого металу НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Вибір та подання сировини відповідно до печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються ([1])
b	Введення $Ca(OH)_2$ або бікарбонату натрію у поєднанні з рукавним фільтром ([1])
c	Управління процесом рафінування шляхом регулювання кількості рафінувального газу, що використовується для видалення забруднювальних речовин, присутніх у розплавлених металах
d	Використання хлору, розведеного з інертним газом у процесі рафінування
([1]) Опис технологій наведений у Розділі 11.10.	

Опис
НДТ 84(d): використання хлору, розведеного інертним газом, замість чистого хлору для зниження викидів хлору. Рафінування можна здійснювати з використанням тільки інертного газу.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.19.

Таблиця 11.19: Рівні викидів HCl, Cl_2 і HF у повітря, пов'язані з НДТ, в результаті термічної обробки забрудненої вторинної сировини (наприклад, стружки), плавильної печі, переплавлення та обробки розплавленого металу

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3)
HCl	≤ 5–10 ([1])
Cl_2	≤ 1 ([2])([3])
HF	≤ 1 ([4])
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. Для очищення, що здійснюється з використанням хімічних речовин, що містять хлор, BAT-AEL стосуються середньої концентрації під час хлорування. ([2]) Середнє значення за період відбору проб. Для очищення, що здійснюється з використанням хімічних речовин, що містять хлор, BAT-AEL стосуються середньої концентрації під час хлорування. ([3]) Застосовується тільки до викидів від процесів рафінування, що здійснюються з використанням хімічних речовин, що містять хлор. ([4]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.3.4.4 Відходи

НДТ 85. З метою зменшення кількості відходів, що направляються на утилізацію, від виробництва вторинного алюмінію НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання технологічних залишків або, якщо це неможливо, перероблення технологічних залишків, в тому числі за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Повторне використання вловленого пилу у технологічному процесі у випадку плавильної печі з використанням сольового покриття або у процесі відновлення сольового шлаку
b	Повне перероблення сольового шлаку
c	Застосування обробки знімання/дросу шлаку для вилучення алюмінію у випадку печей, у яких не використовується сольове покриття

НДТ 86. Для зменшення кількості сольового шлаку, що утворюється у виробництві вторинного алюмінію НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Застосовність технології	
a	Підвищення якості використовуваної сировини через відділення неметалевих компонентів та металів, крім алюмінію, для брухту, де алюміній змішується з іншими компонентами	Загальнозастосовні
b	Видалення мастила та органічних компонентів із забрудненої стружки перед плавленням	Загальнозастосовні
c	Перекачування або перемішування металу	Не застосовується до обертових печей
d	Обертова піч, що нахиляється	Можуть бути обмеження використання цієї печі через розмір сировинних матеріалів

11.3.5 Процес перероблення сольового шлаку

11.3.5.1 Дифузні викиди

НДТ 87. Для запобігання або зменшення дифузних викидів від процесу перероблення сольового шлаку НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Закрите обладнання з системою видалення газу, підключене до системи фільтрування
b	Ковпак з системою видалення газу, підключене до системи фільтрування

11.3.5.2 Каналізовані викиди пилу

НДТ 88. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря від дроблення та сухого помелу, пов'язаних з процесом відновлення сольового шлаку, НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.20.

Таблиця 11.20: Рівні викидів пилу у повітря, пов'язані з НДТ, від дроблення та сухого помелу, пов'язаних із процесом відновлення сольового шлаку

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	2–5
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.3.5.3 Газоподібні сполуки

НДТ 89. Для зменшення газоподібних викидів у повітря від мокрого помелу та вилуговування від процесу відновлення сольового шлаку НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])
a	Вдування активованого вугілля
b	Допалювач
c	Мокрий скрубер з розчином H_2SO_4
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.21.

Таблиця 11.21: Рівні викидів газоподібних речовин у повітря, пов'язані з НДТ, від мокрого помелу та вилуговуванні від процесу відновлення сольового шлаку

Параметр	**BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])**
NH_3	≤ 10
PH_3	≤ 0,5
H_2S	≤ 2
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.4 Висновки щодо НДТ для виробництва свинцю та/або олова

11.4.1 Викиди у повітря

11.4.1.1 Дифузні викиди

НДТ 90. Для запобігання або зменшення дифузних викидів від підготовки (наприклад, дозування, змішування, усереднення, дроблення, різання, просіювання) первинних та вторинних матеріалів (окрім акумуляторів) НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Закритий конвеєр або система пневматичного транспортування для пилоподібних матеріалів	Загальнозастосовні
b	Закрите обладнання. Коли використовуються пилоподібні матеріали, викиди уловлюються та спрямовуються в систему боротьби з викидами	Застосовується тільки для усередненої сировини, приготовленої за допомогою бункера-дозатора або системи, що працює за принципом втрати ваги
c	Змішування сировини у закритому приміщенні	Застосовується лише до пилоподібних матеріалів. Для наявних заводів застосування може бути ускладнене через вимоги щодо розміщення
d	Системи пригнічення пилу, такі як розпилювачі води	Застосовується лише для змішування на відкритому повітрі
e	Гранулювання сировини.	Застосовується тільки у процесі та у печі може використовуватись гранульована сировина

НДТ 91. Для запобігання або зменшення дифузних викидів від попередньої обробки матеріалу (наприклад, сушіння, розбирання, спікання, брикетування, гранулювання, а також дроблення, просіювання та розділення акумуляторів) у виробництві первинного свинцю, вторинного свинцю та/або олова НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Закритий конвеєр або система пневматичного транспортування для пилоподібних матеріалів
b	Закрите обладнання. Коли використовуються пилоподібні матеріали, викиди уловлюються та спрямовуються в систему боротьби з викидами

НДТ 92. Для запобігання або зменшення дифузних викидів від операцій завантаження, виплавки та випускання у виробництві свинцю та/або олова, а також від операцій попереднього видалення міді у виробництві первинного свинцю НДТ полягають у використанні відповідної комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Ізольована система завантаження із витяжною системою	Загальнозастосовні
b	Герметизовані або закриті печі з герметизацією вікна ([1]) для процесів з періодичним поданням та вихідним потоком	Загальнозастосовні
c	Робота печі та маршрут газів під негативним тиском та з належним видаленням газу для запобігання підвищенню тиску	Загальнозастосовні
d	Ковпак-вловлювач/покриття у точках завантаження та випускання	Загальнозастосовні
e	Закрите приміщення	Загальнозастосовні
f	Повне покриття ковпаком із витяжною системою	На наявних заводах або капітально модернізованих наявних заводах застосування може бути ускладнене через вимоги щодо розміщення
g	Підтримання герметичності печі	Загальнозастосовні
h	Підтримання температури в печі на найнижчому необхідному рівні	Загальнозастосовні
i	Застосування ковпака в точці випускання, ковшах та зоні видалення дросу із витяжною системою	Загальнозастосовні
дж	Попередня обробка пилоподібної сировини, наприклад гранулювання	Застосовується тільки у процесі та у печі може використовуватись гранульована сировина
k	Застосування системи «doghouse» для ковшів під час випускання	Загальнозастосовні
л	Витяжна система для завантаження та випускання, підключена до системи фільтрування	Загальнозастосовні
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

НДТ 93. Для запобігання або зменшення дифузних викидів від переплавлення, рафінування та лиття у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Ковпак на тигельній печі або котлі із витяжною системою
b	Кришки для закриття котла під час реакцій рафінування та додавання хімічних речовин
c	Ковпак із витяжною системою біля жолобів та точок випускання
d	Контроль температури розплаву
e	Закриті механічні скімери для видалення запилених дросу/залишків

11.4.1.2 Каналізовані викиди пилу

НДТ 94. Для зниження викидів пилу та металів у повітря від підготовки сировини (наприклад, приймання, поводження, зберігання, дозування, змішування, усереднення, сушіння, дроблення, різання та просіювання) у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.22.

Таблиця 11.22: Рівні викидів пилу у повітря, пов'язані з НДТ, від підготовки сировини у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	≤ 5
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 95. Для зниження викидів пилу та металів у повітря від підготовки акумуляторів (дроблення, просіювання та розділення) НДТ полягають у використанні рукавного фільтра або мокрого скрубера.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.23.

Таблиця 11.23: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від підготовки акумуляторів (дроблення, просіювання та розділення)

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	≤ 5
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 96. Для запобігання викидам пилу та металів у повітря (крім тих, які спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2) від завантаження, виплавки та випускання у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.24.

Таблиця 11.24: Рівні викидів пилу та свинцю в повітря, пов'язані з НДТ, (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2) від завантаження, виплавки та випускання у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3)
Пил	2–4 ([1])([2])
Pb	≤ 1 ([3])
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Очікується, що викиди пилу будуть ближче до нижнього значення діапазону, якщо викиди перевищать такі рівні: 1 мг/Нм^3 для міді, 0,05 мг/Нм^3 для миш'яку, 0,05 мг/Нм^3 для кадмію. ([3]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 97. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря від переплавлення, рафінування та лиття у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова НДТ полягають у використанні технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Для пірометалургійних процесів: підтримання температури розплаву на мінімально можливому рівні відповідно до етапу процесу у поєднанні з рукавним фільтром
b	Для гідрометалургійних процесів: використання мокрого скрубера

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.25.

Таблиця 11.25: Рівні викидів пилу та свинцю в повітря, пов'язані з НДТ, від переплавлення, рафінування та лиття у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3)
Пил	2–4 ([1])([2])
Pb	≤ 1 ([3])
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Очікується, що викиди пилу будуть ближче до нижнього значення діапазону, якщо викиди перевищать такі рівні: 1 мг/Нм^3 для міді, 1 мг/Нм^3 для сурми, 0,05 мг/Нм^3 для миш'яку, 0,05 мг/Нм^3 для кадмію. ([3]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.4.1.3 Викиди органічних сполук

НДТ 98. Для зменшення викидів органічних сполук у повітря від процесів сушіння та плавки сировини у виробництві вторинного свинцю та/або олова НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Вибір та подання сировини відповідно до печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються	Загальнозастосовні
b	Оптимізація умов горіння для зменшення викидів органічних сполук	Загальнозастосовні
c	Допалювач або регенеративний термічний окисник	Застосовність обмежується вмістом енергії у відхідних газах, які необхідно обробляти, оскільки відхідні гази з нижчим вмістом енергії призводять до більшого споживання палива.
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.26.

Таблиця 11.26: Рівні викидів ЗЛОС у повітря, пов'язані з НДТ, від процесу сушіння та плавки сировини у виробництві вторинного свинцю та/або олова

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
ЗЛОС	10–40
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 99. Для зменшення викидів ПХДД/Ф у повітря від виплавки сировини для виробництва вторинного свинцю та/або олова НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Вибір та подання сировини відповідно до печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються ([1])
b	Використання системи завантаження для напівзакритої печі, щоб подавати невеликі добавки сировини ([1])
c	Система внутрішнього пальника ([1]) для плавильних печей
d	Допалювач або регенеративний термічний окисник ([1])
e	Відмова від витяжних систем із накопиченням великої кількості пилу за температури > 250 °C ([1])
f	Швидке охолодження ([1])
g	Введення адсорбувального агента у комбінації з ефективною системою уловлювання пилу ([1])
h	Використання ефективної системи уловлювання пилу
i	Застосування вдування кисню у верхню зону печі
дж	Оптимізація умов горіння для зменшення викидів органічних сполук ([1])
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.27.

Таблиця 11.27: Рівні викидів ПХДД/Ф у повітря, пов'язані з НДТ, від виплавки сировини для виробництва вторинного свинцю та/або олова

Параметр	BAT-AEL (нг МТЕ/Нм^3) ([1])
ПХДД/Ф	≤ 0,1
([1]) Середнє значення за період відбору проб не менше шести годин.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.4.1.4 Викиди діоксиду сірки

НДТ 100. Для запобігання або зменшення викидів SO_2 (крім тих, які спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2) від завантаження, виплавки та випускання у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Лужне вилуговування сировини, що містить сірку у формі сульфатів	Загальнозастосовні
b	Сухий або напівсухий скрубер ([1])	Загальнозастосовні
c	Мокрий скрубер ([1])	Застосовність може бути обмежена у наступних випадках: дуже високі швидкості потоку відхідних газів (через значні об'єми відходів та відпрацьованих вод) у посушливих районах (через потребу у великій кількості води та в очищенні відпрацьованих вод)
d	Фіксація сірки у фазі плавки	Застосовується тільки до виробництва вторинного свинцю
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Опис

НДТ 100(a): розчин лужної солі використовується для видалення сульфатів із вторинних матеріалів перед плавкою.

НДТ 100(d): фіксація сірки у фазі плавки досягається шляхом додавання заліза і соди (Na_2CO_3) у плавильні печі, які вступають в реакцію з сіркою, що міститься в сировині, з утворенням шлаку Na_2S-FeS.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.28.

Таблиця 11.28: Рівні викидів SO_2 у повітря, пов'язані з НДТ, (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти або рідкого SO_2) від завантаження, виплавки та випускання у виробництві первинного та вторинного свинцю та/або олова

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])([2])
SO_2	50–350
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Якщо мокрі скрубери не застосовуються, верхнє значення діапазону становить 500 мг/Нм^3.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.4.2 Захист ґрунту та підземних вод

НДТ 101. Для запобігання забрудненню ґрунту та підземних вод внаслідок операцій зі зберігання акумуляторів, дроблення, просіювання та розділення НДТ полягають у використанні кислотостійкої поверхні підлоги та системи збору розливів кислоти.

11.4.3 Утворення відпрацьованих вод та їхнє очищення

НДТ 102. Для запобігання утворенню стічних вод від процесу лужного вилуговування НДТ полягають у повторному використанні води з кристалізації сульфату натрію з розчину лужної солі.

НДТ 103. Для зменшення викидів у воду від підготовки акумуляторів, коли кислотний туман спрямовується на установку з очищення відпрацьованих вод, НДТ полягає в експлуатації належним чином спроєктованої установки з очищення відпрацьованих вод для зниження викидів забруднювальних речовин, що містяться в цьому потоці.

11.4.4 Відходи

НДТ 104. З метою зменшення кількості відходів, що направляються на утилізацію, від виробництва первинного свинцю НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання технологічних залишків або, якщо це неможливо, перероблення технологічних залишків, в тому числі за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Повторне використання пилу із системи видалення пилу в процесі виробництва свинцю	Загальнозастосовні
b	Вилучення Se і Te з пилу/осаду мокрого або сухого очищення газів	Застосовність може бути обмежена кількістю присутньої ртуті
c	Вилучення Ag, Au, Bi, Sb та Cu з дросу рафінування	Загальнозастосовні
d	Вилучення металів з осаду від очищення стічних вод	Пряма плавка осаду з установки з очищення відпрацьованих вод може бути обмежена присутністю таких елементів, як As, Tl і Cd.
e	Додавання флюсових матеріалів, що роблять шлак більш придатним для зовнішнього застосування	Загальнозастосовні

НДТ 105. Для забезпечення вилучення поліпропілену та поліетилену, що містяться у свинцевому акумуляторі, НДТ полягає у його відділенні від акумуляторів перед плавкою.

Застосовність

Ця технологія може бути непридатною для шахтних печей через газопроникність, що забезпечується нерозібраними (цілими) акумуляторами, що необхідно для роботи печі.

НДТ 106. З метою повторного використання або відновлення сірчаної кислоти, зібраної в процесі відновлення акумулятора НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб сприяти її повторному використанню або відновленню на об'єкті або за його межами, в тому числі за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Повторне використання у якості травильного агента;	Зазвичай застосовується залежно від місцевих умов, таких як наявність процесу травлення та сумісність домішок, присутніх у кислоті, з процесом
b	Повторне використання у якості сировини на хімічному заводі	Застосовність може бути обмежена залежно від наявності хімічного заводу на місцевому рівні
c	Регенерація кислоти під час розщеплення	Застосовується лише за наявності установки з виробництва сірчаної кислоти або рідкого діоксиду сірки
d	Виробництво гіпсу	Застосовується тільки в тому випадку, якщо домішки, присутні у відновлюваній кислоті, не впливають на якість гіпсу, або якщо гіпс нижчої якості можна використовувати для інших цілей, наприклад, як флюс
e	Виробництво сульфату натрію	Застосовується тільки для процесу лужного вилуговування

НДТ 107. З метою зменшення кількості відходів, що направляються на утилізацію, від виробництва вторинного свинцю та/або олова НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання технологічних залишків або, якщо це неможливо, перероблення технологічних залишків, в тому числі за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Повторне використання залишків у процесі виплавки для вилучення свинцю та інших металів
b	Обробка залишків та відходів на спеціальних заводах для відновлення матеріалів
c	Обробка залишків та відходів для того, щоб їх можна було застосовувати в інших галузях

11.5 Висновки щодо НДТ для виробництва цинку та/або кадмію

11.5.1 Виробництво первинного цинку

11.5.1.1 Гідрометалургійне виробництво цинку

11.5.1.1.1 Енергія

НДТ 108. Для ефективного використання енергії НДТ полягають у регенерації тепла від відхідних газів, утворених піччю для випалювання за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Використання котла-утилізатора та турбін для виробництва електроенергії	Застосовність може бути обмежена в залежності від цін на енергію та енергетичної політики країни-члена
b	Використання котла-утилізатора та турбін для виробництва механічної енергії для використання у процесі	Загальнозастосовні
c	Використання котла-утилізатора для виробництва тепла для використання в процесі та/або для опалення офісів	Загальнозастосовні

11.5.1.1.2 Викиди у повітря

11.5.1.1.2.1 Дифузні викиди

НДТ 109. Для зменшення дифузних викидів пилу в повітря від підготування сировини для печі для випалювання та від самого подання сировини НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Подання вологого матеріалу
b	Повністю закрите технологічне обладнання, підключене до системи боротьби з викидами

НДТ 110. Для зменшення дифузних викидів пилу в повітря від обробки обпаленого матеріалу НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Здійснення операцій під негативним тиском
b	Повністю закрите технологічне обладнання, підключене до системи боротьби з

НДТ 111. Для зменшення дифузних викидів у повітря від вилуговування, розділення твердої та рідкої фаз та очищення НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Накривання резервуарів кришкою	Загальнозастосовні
b	Покривання жолобів вхідного та вихідного потоків технологічної рідини	Загальнозастосовні
c	Підключення резервуарів до центральної системи боротьби з викидами штучної тяги або до єдиної системи боротьби з викидами з резервуара	Загальнозастосовні
d	Покривання вакуумних фільтрів ковпаками та підключення їх до системи боротьби з викидами	Застосовується тільки для фільтрування гарячих рідин на етапах вилуговування та розділення твердої та рідкої фаз

НДТ 112. Для зменшення дифузних викидів у повітря від електровідновлення НДТ полягають у використанні добавок, особливо піноутворювальних агентів, в камерах електровідновлення.

11.5.1.1.2.2 Каналізовані викиди

НДТ 113. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря від поводження та зберігання сировини, підготовки сухої сировини для печі для випалювання, подання сухої сировини в піч для випалювання та обробки обпаленого матеріалу НДТ полягають у використанні рукавного фільтра

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.29.

Таблиця 11.29: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від поводження та зберігання сировини, підготовки сухої сировини для печі для випалювання, подання сухої сировини в піч для випалювання та обробки обпаленого матеріалу

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	≤ 5
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 114. Для зменшення викидів цинку та сірчаної кислоти у повітря від вилуговування, очищення та електролізу, а також для зменшення викидів арсину та стибіну від очищення НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])
a	Мокрий скрубер
b	Краплевловлювач
c	Відцентрова система
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.30.

Таблиця 11.30: Рівні викидів цинку та сірчаної кислоти в повітря, пов'язані з НДТ, від вилуговування, очищення та електролізу, а також викиди арсину та стибіну від очищення

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Zn	≤ 1
H_2SO_4	< 10
Сума AsH_3 та SbH_3	≤ 0,5
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.5.1.1.3 Захист ґрунту та підземних вод

НДТ 115. Для запобігання забрудненню ґрунту та підземних вод НДТ полягають у використанні водонепроникної зони з обвалуванням для резервуарів, що використовуються під час вилуговування або очищення, та вторинної системи уловлювання для цехів електролізу

11.5.1.1.4 Утворення відпрацьованих вод

НДТ 116. Для зменшення споживання прісної води та запобігання утворенню стічних вод НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Повернення зливу з котла та води із замкнутих контурів охолодження печі для випалювання у процес мокрого очищення газів або етап вилуговування
b	Повернення стічних вод з операцій очищення/розливів печі для випалювання, електролізу та лиття на етап вилуговування
c	Повернення стічних вод з операцій очищення/розливів вилуговування та очищення, промивання осаду у фільтрі та мокрого очищення газів на етапи вилуговування та/або очищення

11.5.1.1.5 Відходи

НДТ 117. З метою зменшення кількості відходів, що направляються на утилізацію, НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання технологічних залишків або, якщо це неможливо, перероблення технологічних залишків, в тому числі за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Повторне використання пилу, вловленого у зоні зберігання концентрату та поводження з ним, у процесі (разом з сировинним концентратом)	Загальнозастосовні
b	Повторне використання пилу, вловленого в процесі випалювання у силосі з обпаленим матеріалом	Загальнозастосовні
c	Перероблення залишків, що містять свинець та срібло, у якості сировини на сторонньому заводі	Застосовність залежить від складу металу та від наявності ринку/процесу
d	Перероблення залишків, що містять Cu, Co, Ni, Cd, Mn у якості сировини на сторонньому заводі для отримання товарного продукту	Застосовність залежить від складу металу та від наявності ринку/процесу

НДТ 118. Для того, щоб зробити відходи вилуговування придатними для остаточної утилізації НДТ полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Пірометалургійна обробка у вельц-печі.	Застосовується лише до нейтральних відходів вилуговування, які не містять занадто багато феритів цинку та/або не містять високих концентрацій дорогоцінних металів
b	Процес Jarofix	Застосовується лише до залізних залишків ярозиту. Обмежена застосовність через наявний патент
c	Процес сульфідування	Застосовується тільки до залізних залишків ярозиту і залишків прямого вилуговування
d	Ущільнення залишків заліза	Застосовується тільки до залишків ґетиту та осаду з високим вмістом гіпсу з установки з очищення відпрацьованих вод

Опис

НДТ 118(b): Процес Jarofix складається зі змішування осаду ярозиту з портландцементом, вапном і водою.

НДТ 118(c): процес сульфідування полягає в додаванні NaOH і Na_2S до залишків у резервуарі декантації та в реакторах сульфідування.

НДТ 118(d): ущільнення залишків заліза полягає у зниженні вмісту вологи за допомогою фільтрів та додавання вапна або інших агентів.

11.5.1.2 Пірометалургійне виробництво цинку

11.5.1.2.1 Викиди у повітря

11.5.1.2.1.1 Каналізовані викиди пилу

НДТ 119. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти) від пірометалургійного виробництва цинку НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Застосовність
У разі високого вмісту органічного вуглецю в концентратах (наприклад, близько 10 % мас.) рукавні фільтри можуть бути незастосовні через засмічення мішків, та можуть використовуватись інші технології (наприклад, мокрий скрубер).

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.31.

Таблиця 11.31: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, (крім тих, що прямуються на установку із виробництва сірчаної кислоти) від пірометалургійного виробництва цинку

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])([2])
Пил	2–5
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Якщо рукавний фільтр не застосовується, верхнє значення діапазону складає 10 мг/Нм^3.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 120. Для зменшення викидів SO_2 у повітря (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти) від пірометалургійного виробництва цинку НДТ полягають у використанні технології мокрої десульфуризації.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.32.

Таблиця 11.32: Рівні викидів SO_2в повітря, пов'язані з НДТ, (крім тих, що прямуються на установку із виробництва сірчаної кислоти) від пірометалургійного виробництва цинку

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
SO_2	≤ 500
([1]) Середнє значення за день.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.5.2 Виробництво вторинного цинку

11.5.2.1 Викиди у повітря

11.5.2.1.1 Каналізовані викиди пилу

НДТ 121. Для зниження викидів пилу та металів у повітря від гранулювання та обробки шлаку НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.33.

Таблиця 11.33: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від гранулювання та обробки шлаку

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	≤ 5
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 122. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків, а також від шлаковипарної печі та вельц-печі НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Застосовність
Рукавний фільтр може бути незастосовний для роботи з клінкером (де необхідно зменшувати викиди хлоридів замість оксидів металів).

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.34.

Таблиця 11.34: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків, а також від шлаковипарної печі та вельц-печі

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])([2])([3])
Пил	2–5
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Якщо рукавний фільтр не застосовується, верхнє значення діапазону може бути вище, до 15 мг/Нм^3. ([3]) Очікується, що викиди пилу будуть ближче до нижнього значення діапазону, коли викиди миш'яку та кадмію перевищують 0,05 мг/Нм^3.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.5.2.1.2 Викиди органічних сполук

НДТ 123. Для зменшення викидів органічних сполук у повітря від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків, а також від шлаковипарної печі та вельц-печі НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Введення адсорбенту (активоване вугілля або буровугільний кокс) з подальшим застосуванням рукавного фільтра та/або електростатичного фільтра	Загальнозастосовні
b	Термічний окисник	Загальнозастосовні
c	Регенеративний термічний окисник	Може не застосовуватися з міркувань безпеки
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.35.

Таблиця 11.35: Рівні викидів ЗЛОС та ПХДД/Ф в повітря, пов'язані з НДТ, від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків, а також від шлаковипарної печі та вельц-печі

Параметр	Одиниці вимірювання	BAT-AEL
ЗЛОС	мг/нм^3	2–20 ([1])
ПХДД/Ф	нг МТЕ/Нм^3	≤ 0,1 ([2])
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб. ([2]) Середнє значення за період відбору проб не менше шести годин.		

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.5.2.1.3 Викиди кислоти

НДТ 124. Для зменшення викидів HCl та HF у повітря від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків, а також від шлаковипарної печі та вельй-печі НДТ полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Процес
a	Введення адсорбенту з подальшим застосуванням рукавного фільтра	- Плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків - Вельц-піч
b	Мокрий скрубер	Шлаковипарна піч
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.36.

Таблиця 11.36: Рівні викидів HCl та HF в повітря, пов'язані з НДТ, від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків, а також від шлаковипарної печі та вельй-печі

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
HCl	≤ 1,5
HF	≤ 0,3
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.5.2.2 Утворення відпрацьованих вод та їхнє очищення

НДТ 125. Для зменшення споживання прісної води в процесі у вельц-печі НДТ полягають у використанні багатоетапного процесу протитечійного промивання.

Опис
Вода, що надходить з етапу попереднього промивання, фільтрується і повторно використовується на наступному етапі промивання. Можна використовувати два або три етапи, що дозволяє знизити споживання води до трьох разів у порівнянні з одноетапним протитечійним промиванням.

НДТ 126. Для запобігання або зменшення викидів галогенідів у воду на етапі промивання у вельц-печі НДТ полягають у використанні операції кристалізації.

11.5.3 Плавлення, легування та лиття цинкових виливків та виробництво цинкового пилу

11.5.3.1 Викиди у повітря

11.5.3.1.1 Дифузні викиди пилу

НДТ 127. Для зменшення дифузних викидів пилу в повітря від плавлення, легування та лиття цинкових виливків НДТ полягають у використанні обладнання, що працює під негативним тиском.

11.5.3.1.2 Каналізовані викиди пилу

НДТ 128. Для зниження викидів пилу та металів у повітря від плавлення, легування та лиття цинкових виливків та виробництва цинкового пилу НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.37.

Таблиця 11.37: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від плавлення, легування та лиття цинкових виливків та виробництва цинкового пилу

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	≤ 5
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.5.3.2 Стічні води

НДТ 129. Для запобігання утворенню стічних вод від плавлення та лиття цинкових виливків НДТ полягають у повторному використанні охолоджувальної води.

11.5.3.3 Відходи

НДТ 130. З метою зменшення кількості відходів, що направляються на утилізацію, від плавлення цинкових виливків НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання технологічних залишків або, якщо це неможливо, перероблення технологічних залишків, в тому числі за допомогою однієї з або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання окисненої фракції цинкового дросу та пилу, що містить цинк, з плавильних печей у печі для випалювання або в гідрометалургійному процесі виробництва цинку
b	Використання металевої фракції цинкового дросу та металевого шлаку від лиття катодів у плавильній печі або відновлення у вигляді цинкового пилу або оксиду цинку на заводі з рафінування цинку

11.5.4 Виробництво кадмію

11.5.4.1 Викиди у повітря

11.5.4.1.1 Дифузні викиди

НДТ 131. Для зменшення дифузних викидів у повітря НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Центральна витяжна система, підключена до системи боротьби з викидами для вилуговування та розділення твердої та рідкої фаз у гідрометалургійному виробництві; для брикетування/гранулювання та випарювання у пірометалургійному виробництві; а також для процесів плавлення, легування та лиття
b	Покривання камер для етапу електролізу в гідрометалургійному виробництві

11.5.4.1.2 Каналізовані викиди пилу

НДТ 132. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря від пірометалургійного виробництва кадмію, а також від плавлення, легування та лиття кадмієвих виливків НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Рукавний фільтр	Загальнозастосовні
b	Електростатичний фільтр	Загальнозастосовні
c	Мокрий скрубер	Застосовність може бути обмежена у наступних випадках: дуже високі швидкості потоку відхідних газів (через значні об'єми відходів та відпрацьованих вод) у посушливих районах (через потребу у великій кількості води та в очищенні відпрацьованих вод)
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: Див. Таблицю 11.38.

Таблиця 11.38: Рівні викидів пилу та кадмію в повітря, пов'язані з НДТ, у пірометалургійному виробництві кадмію, а також від плавлення, легування та лиття кадмієвих виливків

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	2–3
Cd	≤ 0,1
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.5.4.2 Відходи

НДТ 133. З метою зменшення кількості відходів, що направляються на утилізацію, від гідрометалургійного виробництва кадмію НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання технологічних залишків або, якщо це неможливо, перероблення технологічних залишків, в тому числі за допомогою однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Вилучені кадмію з процесу виробництва цинку у вигляді цементату з високим вмістом кадмію в секції очищення для його подальшого концентрування та рафінування (за допомогою електролізу або пірометалургійного процесу) і, нарешті, перетворення його на товарний металевий кадмій або сполуки кадмію.	Застосовується тільки за наявності економічно обґрунтованого попиту
b	Вилучення кадмію з процесу виробництва цинку у вигляді цементату з високим вмістом кадмію в секції очищення і подальше застосування низки гідрометалургійних операцій для отримання осаду з високим вмістом кадмію (наприклад, цемент (металевий Cd), $Cd(OH)_2$), який піддається захороненню, тоді як всі інші технологічні потоки рециркулюються в потоці заводу з виробництва кадмію або заводу з виробництва цинку	Застосовується тільки за наявності відповідного полігону для захоронення

11.6 Висновки щодо НДТ для виробництва дорогоцінних металів

11.6.1 Викиди у повітря

11.6.1.1 Дифузні викиди

НДТ 134. Для зменшення дифузних викидів у повітря від операції попередньої обробки (наприклад, дроблення, просіювання та змішування) НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Закриті зони попередньої обробки та системи транспортування пилоподібних матеріалів
b	Підключення операцій попередньої обробки та поводження з пилоподібними матеріалами до пиловловлювачів або витяжних вентиляторів через витяжні ковпаки та систему повітропроводів
c	Електрично взаємопов'язане обладнання для попередньої обробки та поводження з його пиловловлювачем або витяжним вентилятором, щоб ніяке обладнання не могло працювати, якщо пиловловлювач та система фільтрування не працюють

НДТ 135. Для зменшення дифузних викидів у повітря від виплавки та плавлення (як операцій з Доре, так і без Доре) НДТ полягають у використанні всіх технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Закриті приміщення та/або зони плавильних печей
b	Здійснення операцій під негативним тиском
c	Підключення операцій печі до пиловловлювачів або витяжних вентиляторів через витяжні ковпаки та систему повітропроводів
d	Електрично взаємопов'язане обладнання печі з його пиловловлювачем або витяжним вентилятором, щоб ніяке обладнання не могло працювати, якщо пиловловлювач та система фільтрування не працюють

НДТ 136. Для зменшення дифузних викидів у повітря від вилуговування та електролізу золота НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Закриті резервуари/ємності та закриті труби для передавання розчинів
b	Ковпаки та витяжні системи для електролітичних камер
c	Водяна завіса у виробництві золота для запобігання викидам газоподібного хлору під час вилуговування анодного шламу соляною кислотою або іншими розчинниками.

НДТ 137. Для зменшення дифузних викидів від гідрометалургійної операції НДТ полягають у використанні всіх технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Заходи уловлювання, такі як герметизовані або закриті реакційні ємності, резервуари для зберігання, обладнання та фільтри для вилучення розчинником, ємності та резервуари, обладнані регулятором рівня, закриті труби, герметизовані дренажні системи та програми планового технічного обслуговування
b	Реакційні ємності та резервуари, підключені до загальної системи повітропроводів з видаленням відпрацьованого газу (автоматична резервна/дублювальна установка, доступна у разі несправності)

НДТ 138. Для зменшення дифузних викидів у повітря від спалювання, обпалювання та сушіння НДТ полягають у використанні всіх технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Підключення всіх печей для обпалювання, установок для спалювання та сушильних печей до системи повітропроводів, що відводять технологічні вихлопні гази
b	Скруберна установка в пріоритетному електричному контурі, що обслуговується резервним генератором у разі відключення електроенергії
c	Управління запусками та зупинками, утилізація відпрацьованої кислоти та підживлення скруберів свіжою кислотою за допомогою автоматизованої системи управління

НДТ 139. Для зменшення дифузних викидів у повітря від плавлення кінцевих металевих продуктів під час рафінування НДТ полягають у використанні обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Закрита піч із негативним тиском
b	Відповідні корпуси, покриття та ковпаки-уловлювачі з ефективною витяжкою/вентиляцією

11.6.1.2 Каналізовані викиди пилу

НДТ 140. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря від усіх операцій, що утворюють пил, таких як дроблення, просіювання, змішування, плавлення, виплавка, спалювання, обпалювання, сушіння та рафінування, НДТ полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Рукавний фільтр	Може не застосовуватися для відхідних газів, що мають високий рівень вмісту випареного селену
b	Мокрий скрубер у поєднанні з електростатичним фільтром дозволяє вилучити селен	Застосовується тільки до відхідних газів, що містять випарений селен (наприклад, у виробництві металу Доре).
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.39.

Таблиця 11.39: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від всіх операцій, що утворюють пил, таких як дроблення, просіювання, змішування, плавлення, виплавка, спалювання, обпалювання, сушіння та рафінування

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	2–5
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.6.1.3 Викиди NO_X

НДТ 141. Для зменшення викидів NO_X у повітря від гідрометалургійної операції, що передбачає розчинення/вилуговування азотною кислотою, НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])
a	Лужний скрубер з каустичною содою
b	Скрубер з окиснювачами (наприклад, киснем, перекисом водню) та відновниками (наприклад, азотною кислотою, сечовиною) для тих ємностей, які використовуються у гідрометалургійних операціях та можуть утворювати високі концентрації NO_X. Часто застосовується в поєднанні з НДТ 141(a)
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.40.

Таблиця 11.40: Рівні викидів NO_X в повітря, пов'язані з НДТ, від гідрометалургійної операції, що передбачає розчинення/вилуговування азотною кислотою

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
NO_X	70–150
([1]) Середнє значення за годину або середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.6.1.4 Викиди діоксиду сірки

НДТ 142. Для зменшення викидів SO_2 (крім тих, які спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти) від плавлення та виплавки для виробництва металу Доре, в тому числі від пов'язаних з цим операцій спалювання, обпалювання та сушіння, НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Вдування вапна у поєднанні з рукавним фільтром	Загальнозастосовні
b	Мокрий скрубер	Застосовність може бути обмежена у наступних випадках: дуже високі швидкості потоку відхідних газів (через значні об'єми відходів та відпрацьованих вод) у посушливих районах (через потребу у великій кількості води та в очищенні відпрацьованих вод)
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.41.

Таблиця 11.41: Рівні викидів SO_2 в повітря, пов'язані з НДТ, (крім тих, що спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти) від плавлення та виплавки для виробництва металу Доре, в тому числі від пов'язаних з цим операцій спалювання, обпалювання та сушіння

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
SO_2	50–480
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 143. Для зменшення викидів SO_2 у повітря від гідрометалургійної операції, в тому числі від пов'язаних з нею операцій спалювання, обпалювання та сушіння НДТ полягають у використанні мокрого скрубера.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.42.

Таблиця 11.42: Рівні викидів SO_2 в повітря, пов'язані з НДТ, від гідрометалургійної операції, в тому числі від пов'язаних з нею операцій спалювання, обпалювання та сушіння

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
SO_2	50–100
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.6.1.5 Викиди HCl та Cl_2

НДТ 144. Для зменшення викидів HCl та Cl_2 у повітря від гідрометалургійної операції, в тому числі від пов'язаних з нею операцій спалювання, обпалювання та сушіння НДТ полягають у використанні лужного скрубера.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.43.

Таблиця 11.43: Рівні викидів HCl та Cl_2 в повітря, пов'язані з НДТ, від гідрометалургійної операції, в тому числі від пов'язаних з нею операцій спалювання, обпалювання та сушіння

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
HCl	≤ 5–10
Cl_2	0,5–2
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.6.1.6 Викиди NH_3

НДТ 145. Для зменшення викидів NH_3 у повітря від гідрометалургійного виробництва з використанням аміаку або хлориду амонію НДТ полягають у використанні мокрого скрубера із сірчаною кислотою.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.44.

Таблиця 11.44: Рівні викидів NH_3 в повітря, пов'язані з НДТ, від гідрометалургійного виробництва з використанням аміаку або хлориду амонію

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
NH_3	1–3
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.6.1.7 Викиди ПХДД/Ф

НДТ 146. Для зменшення викидів ПХДД/Ф у повітря від операції сушіння, коли сировина містить органічні сполуки, галогени або інші прекурсори ПХДД/Ф, операції спалювання, а також від операції обпалювання, НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Допалювач або регенеративний термічний окисник ([1])
b	Введення агента, що адсорбує, у комбінації з ефективною системою уловлювання пилу ([1])
c	Оптимізація умов горіння або процесу для зниження викидів органічних сполук ([1])
d	Відмова від витяжних систем із накопиченням великої кількості пилу за температури > 250 °C ([1])
e	Швидке охолодження ([1])
f	Термічне руйнування ПХДД/Ф у печі за високих температур (> 850 °C)
g	Застосування вдування кисню у верхню зону печі
h	Система внутрішнього пальника ([1])
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.45.

Таблиця 11.45: Рівні викидів ПХДД/Ф у повітря, пов'язані з НДТ, від операції сушіння, коли сировина містить органічні сполуки, галогени або інші прекурсори ПХДД/Ф, операції спалювання, а також від операції обпалювання

Параметр	BAT-AEL (нг МТЕ/Нм^3) ([1])
ПХДД/Ф	≤ 0,1
([1]) Середнє значення за період відбору проб не менше шести годин.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.6.2 Захист ґрунту та підземних вод

НДТ 147. Для запобігання забрудненню ґрунту та підземних вод НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання закритих дренажних систем.
b	Використання резервуарів з подвійними стінками або розміщення у стійких обвалуваннях
c	Використання непроникних та кислотостійких підлог
d	Автоматичний регулятор рівня в реакційних ємностях

11.6.3 Утворення відпрацьованих вод

НДТ 148. Для запобігання утворенню стічних вод НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Перероблення відпрацьованих/відновлених змочувальних рідин та інших гідрометалургійних реагентів у вилуговуванні та інших операціях з рафінування.
b	Рециркуляція розчинів від операцій вилуговування, вилучення та осадження

11.6.4 Відходи

НДТ 149. З метою зменшення кількості відходів, що направляються на утилізацію, НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання технологічних залишків або, якщо це неможливо, перероблення технологічних залишків, в тому числі за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Процес
a	Вилучення вмісту металу зі шлаків, пилу з фільтра та залишків з системи мокрого знепилення	Виробництво сплаву Доре
b	Вилучення селену, зібраного у відхідних газах системи мокрого знепилення, що містять випарений селен	
c	Вилучення срібла з відпрацьованого електроліту та відпрацьованих розчинів промивання шламу	Електролітичний афінаж срібла
d	Вилучення металів із залишків очищення електроліту (наприклад, цементне срібло, залишок на основі карбонату міді)	
e	Вилучення золота з електроліту, шламів та розчинів від процесів вилуговування золота	Електролітичний афінаж золота
f	Відновлення металів із відпрацьованих анодів	Електролітичний афінаж срібла або золота
g	Вилучення металів платинової групи із розчинів насичених металами платинової групи	
h	Вилучення металів з обробки кінцевих розчинів процесу	Всі процеси

11.7 Висновки щодо НДТ для виробництва феросплавів

11.7.1 Енергія

НДТ 150. Для ефективного використання енергії НДТ полягають у регенерації енергії з вихлопного газу з високим вмістом CO, що утворюється в закритій печі із зануреною дугою або у закритому процесі плазмової обробки пилу з використанням однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Використання парового котла та турбін для регенерації енергії, що міститься у вихлопних газах, та виробництва електроенергії	Застосовність може бути обмежена в залежності від цін на енергію та енергетичної політики країни-члена
b	Пряме використання вихлопних газів у якості палива в процесі (наприклад, для сушіння сировини, підігрівання шихтових матеріалів, спікання, нагрівання ковшів)	Застосовується лише у випадку потреби в технологічному теплі
c	Використання вихлопних газів у якості палива на сусідніх заводах	Застосовується за наявності економічно обґрунтованого попиту на цей тип палива

НДТ 151. Для ефективного використання енергії НДТ полягають у регенерації енергії з гарячого вихлопного газу, що утворюється у напівзакритій печі із зануреною дугою з використанням однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Використання котла-утилізатора та турбін для регенерації енергії, що міститься у вихлопних газах, та виробництва електроенергії	Застосовність може бути обмежена в залежності від цін на енергію та енергетичної політики країни-члена
b	Використання котла-утилізатора для виробництва гарячої води	Застосовується тільки за наявності економічно обґрунтованого попиту

НДТ 152. Для ефективного використання енергії НДТ полягають у регенерації енергії з вихлопних газів, що утворюються у відкритій печі з зануреною дугою, шляхом виробництва гарячої води.

Застосовність
Застосовується тільки за наявності економічно обґрунтованого попиту на гарячу воду.

11.7.2 Викиди у повітря

11.7.2.1 Дифузні викиди пилу

НДТ 153. Для запобігання або зменшення та вловлювання дифузних викидів у повітря під час випускання та лиття НДТ полягають у використанні однієї або обох технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Використання системи витяжного ковпака	Для наявних заводів застосовується залежно від конфігурації заводу
b	Уникнення лиття, використовуючи феросплави в рідкому стані	Застосовується лише тоді, коли споживач (наприклад, виробник сталі) об'єднаний з виробником феросплавів

11.7.2.2 Каналізовані викиди пилу

НДТ 154. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря від зберігання, обробки та транспортування твердих матеріалів, а також від операцій попередньої обробки, таких як дозування, змішування, усереднення та знежирення, а також від випускання, лиття та пакування, НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.46.

НДТ 155. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря від дроблення, брикетування, гранулювання та спікання НДТ полягають у використанні рукавного фільтра або рукавного фільтра у поєднанні з іншими технологіями.

Застосовність
Застосовність рукавного фільтра може бути обмежена у разі низьких температур навколишнього середовища (від -20 ºC до -40 ºC) і високої вологості відхідних газів, а також для подрібнення CaSi з міркувань безпеки (тобто вибухонебезпеки).

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.46.

НДТ 156. Для зменшення викидів пилу та металів у повітря з відкритої або напівзакритої печі з зануреною дугою НДТ полягає у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.46.

НДТ 157. Для зменшення викиди пилу та металу в повітря від закритої печі з зануреною дугою або закритого процесу плазмової обробки пилу НДТ полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Мокрий скрубер у поєднанні з електростатичним фільтром	Загальнозастосовні
b	Рукавний фільтр	Широко застосовується, якщо немає проблем безпеки, пов'язаних із вмістом CO та H_2 у вихлопних газах
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.46.

НДТ 158. Для зниження викидів пилу та металів у повітря з тигля з вогнетривкою футерівкою для виробництва феромолібдену та феровanадія НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.46.

Таблиця 11.46: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, у виробництві феросплавів

Параметр	Процес	BAT-AEL (мг/нм^3)
Пил	- Зберігання, поводження та транспортування твердих матеріалів - Операції попередньої обробки, такі як дозування, змішування, усереднення та знежирення - Випускання, лиття та пакування	2–5 ([1])
	Дроблення, брикетування, гранулювання та спікання	2–5 ([2])([3])
	Відкрита або напівзакрита дугова піч з зануреною дугою	2–5 ([2])([4])([5])
	- Закрита піч із зануреною дугою або закритий процес плазмової обробки пилу - Тигель з вогнетривкою футерівкою для виробництва феромолібдену та феровanадія	2–5 ([2])

([1]) Середнє значення за період відбору проб.
([2]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб.
([3]) Верхнє значення діапазону може становити до 10 мг/Нм^3 для випадків, коли рукавний фільтр не може використовуватись.
([4]) Верхнє значення діапазону може становити до 15 мг/Нм^3 для виробництва FeMn, SiMn, CaSi через липку природу пилу (обумовленої, наприклад, його гігроскопічними властивостями або хімічними характеристиками), що впливає на ефективність рукавного фільтра.
([5]) Очікується, що викиди пилу будуть ближче до нижнього значення діапазону, якщо викиди металів перевищать такі рівні: 1 мг/Нм^3 для свинцю, 0,05 мг/Нм^3 для кадмію, 0,05 мг/Нм^3 для хрому ^{VI}, 0,05 мг/Нм^3 для талію.

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.7.2.3 Викиди ПХДД/Ф

НДТ 159. Для зменшення викидів ПХДД/Ф у повітря з печі для виробництва феросплавів НДТ полягають у введенні адсорбентів і використанні електростатичного фільтра та/або рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.47.

Таблиця 11.47: Рівні викидів ПХДД/Ф в повітря, пов'язані з НДТ, від печі для виробництва феросплавів

Параметр	BAT-AEL (нг МТЕ/Нм^3)
ПХДД/Ф	≤ 0,05 ([1])
([1]) Середнє значення за період відбору проб не менше шести годин.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.7.2.4 Викиди ПАВ та органічних сполук

НДТ 160. Для зменшення викидів ПАВ та органічних сполук у повітря від знежиренні титанової стружки в обертових печах НДТ полягають у використанні термічного окисника.

11.7.3 Відходи

НДТ 161. З метою зменшення кількості шлаку, що направляються на утилізацію, НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання шлаків або, якщо це неможливо, перероблення шлаків, в тому числі за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Використання шлаку в галузях будівельної промисловості	Застосовується тільки до шлаків від виробництва високовуглецевих FeCr і SiMn, шлаків від відновлення сплавів із залишків зі сталеливарного заводу і стандартного відпрацьованого шлаку від виробництва FeMn і FeMo
b	Використання шлаку як матеріалу для піскоструминної обробки	Застосовується тільки до шлаків виробництва FeCr з високим вмістом вуглецю
c	Використання шлаку для виробництва бетонної вогнетривкої суміші	Застосовується тільки до шлаків виробництва FeCr з високим вмістом вуглецю
d	Використання шлаку в процесі виплавки	Застосовується тільки до шлаків з виробництва силікокальцію
e	Використання шлаку як сировини для виробництва силікомарганцю або інших галузей металургійної промисловості	Застосовується лише до багатого шлаку (з високим вмістом MnO) з виробництва FeMn

НДТ 162. З метою зменшення кількості пилу з фільтра та осаду, що направляються на утилізацію, НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання пилу з фільтра та осаду або, якщо це неможливо, перероблення пилу з фільтра та осаду, в тому числі за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність ([1])
a	Використання пилу з фільтра в процесі виплавки	Застосовується лише до пилу з фільтра з виробництва FeCr та FeMo.
b	Використання пилу з фільтра у виробництві неіржавкої сталі	Застосовується тільки для пилу з фільтра від операцій дроблення та просіювання у виробництві високовуглецевого FeC
c	Використання пилу з фільтра та осаду як сировинного концентрату	Застосовується тільки для пилу з фільтра та осаду від очищенні відхідних газів у випалюванні Mo
d	Використання пилу з фільтра в інших галузях промисловості	Застосовується тільки для виробництва FeMn, SiMn, FeNi, FeMo та FeV
e	Використання мікрокремнезему як добавки в цементній промисловості	Застосовується тільки до мікрокремнезему з виробництва FeSi та Si
f	Використання пилу з фільтра та осаду в цинковій промисловості	Застосовується тільки до пилу печі та осаду від мокрого скрубера від вилучення сплаву із залишків зі сталеливарного заводу

([1]) Сильно забруднений пил та осад не можуть бути повторно використані або перероблені. Повторне використання та перероблення можуть бути обмежені проблемами накопичення (наприклад, повторне використання пилу від виробництва FeCr може призвести до накопичення Zn у печі).

11.8 Висновки щодо НДТ для виробництва нікелю та/або кобальту

11.8.1 Енергія

НДТ 163. Для ефективного використання енергії НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання збагаченого киснем повітря у плавильних печах та кисневих конвертерах
b	Використання утилізаційного парового котла
c	Використання димових газів, що утворюються в печі, у процесі (наприклад, сушіння)
d	Використання теплообмінників

11.8.2 Викиди у повітря

11.8.2.1 Дифузні викиди

НДТ 164. Для зменшення дифузних викидів пилу в повітря від завантаження печі НДТ полягають у використанні закритих конвеєрних систем.

НДТ 165. Для зменшення дифузних викидів пилу в повітря від виплавки НДТ полягають у використанні критих і обладнаних ковпаками жолобів, підключених до системи боротьби з викидами.

НДТ 166. Для зменшення дифузних викидів пилу від процесів конвертування НДТ полягають у застосуванні роботи під негативним тиском і ковпаків-вловлювачів, підключених до системи боротьби з викидами.

НДТ 167. Для зменшення дифузних викидів від атмосферного вилуговування та вилуговування під тиском НДТ полягають у використанні обох технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Герметизовані або закриті реактори, відстійники та автоклави/ємності під тиском
b	Використання кисню або хлору замість повітря на етапах вилуговування

НДТ 168. Для зменшення дифузних викидів від рафінування шляхом вилучення розчинником НДТ полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Використання мішалки з малими або великими зсувними зусиллями для суміші розчинника/води
b	Використання покриття для мішалки та сепаратора
c	Використання повністю герметизованих резервуарів, підключених до системи боротьби з викидами

НДТ 169. Для зменшення дифузних викидів від електровідновлення НДТ полягають у використанні комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Вловлювання та повторне використання газоподібного хлору	Застосовується тільки до електровідновлення на основі хлориду
b	Використання полістиролових гранул для покриття камер	Загальнозастосовні
c	Використання піноутворювальних агентів для покриття камер стійким шаром піни	Застосовується тільки до електровідновлення на основі сульфату

НДТ 170. Для зменшення дифузних викидів від процесу відновлення воднем у виробництві нікелевого порошку та нікелевих брикетів (процеси під тиском) НДТ полягають у використанні герметизованого або закритого реактора, відстійника та автоклаву/ємності під тиском, конвеєра для порошку та силосу для продуктів.

11.8.2.2 Каналізовані викиди пилу

НДТ 171. Під час обробки сульфідних руд для зменшення викидів пилу та металів у повітря від поводження та зберігання сировини, процесів попередньої обробки матеріалів (таких як підготовка руди та сушіння руди/концентрату), завантаження печі, виплавки, конвертування, термічного рафінування та виробництва нікелевого порошку та брикетів НДТ полягають у використанні рукавного фільтра або комбінації електростатичного фільтра та рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.48.

Таблиця 11.48: Рівні викидів пилу в повітря, пов'язані з НДТ, від поводження та зберігання сировини, процесів попередньої обробки матеріалів (таких як підготовка руди та сушіння руди/концентрату), завантаження печі, виплавки, конвертування, термічного рафінування та виробництва нікелевого порошку та брикетів під час обробки сульфідних руд

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	2–5
([1]) Середнє значення за день або середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.8.2.3 Викиди нікелю та хлору

НДТ 172. Для зменшення викидів нікелю і хлору в повітря від процесів атмосферного вилуговування або вилуговування під тиском НДТ полягають у використанні мокрого скрубера.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.49.

Таблиця 11.49: Рівні викидів нікелю та хлору в повітря, пов'язані з НДТ, від процесів атмосферного вилуговування або вилуговування під тиском

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Ni	≤ 1
Cl_2	≤ 1
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 173. Для зменшення викидів нікелю в повітря від процесу рафінування нікелевого штейну з використанням хлориду заліза з хлором НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.50.

Таблиця 11.50: Рівні викидів нікелю в повітря, пов'язані з НДТ, від процесу рафінування нікелевого штейну з використанням хлориду заліза з хлором

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Нікель	≤ 1
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.8.2.4 Викиди діоксиду сірки

НДТ 174. Під час обробки сульфідних руд для зменшення викидів SO_2у повітря (крім тих, які спрямовуються на установку з виробництва сірчаної кислоти) від виплавки та конвертування НДТ полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])
a	Задування вапна з подальшим застосуванням рукавного фільтра
b	Мокрий скрубер
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

11.8.2.5 Викиди NH_3

НДТ 175. Для зменшення викидів NH_3 в повітря від виробництва нікелевого порошку та брикетів НДТ полягають у використанні мокрого скрубера.

11.8.3 Відходи

НДТ 176. З метою зменшення кількості відходів, що направляються на утилізацію, НДТ має організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання технологічних залишків або, якщо це неможливо, перероблення технологічних залишків, в тому числі за допомогою однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія	Застосовність
a	Використання гранульованого шлаку, що утворюється в дуговій електропечі (використовується у виплавці), у якості абразивного або будівельного матеріалу	Застосовність залежить від вмісту металу у шлаку
b	Використання пилу з відхідних газів дугової електропечі (використовується у виплавці) у якості сировини для виробництва цинку	Загальнозастосовні
c	Використання пилу відхідних газів від грануляції штейну, вилученого з дугової електропечі (використовується у виплавці), у якості сировини для рафінування/переплавлення нікелю	Загальнозастосовні
d	Використання залишку сірки, отриманого після фільтрування штейну у хлорному вилуговуванні, у якості сировини для виробництва сірчаної кислоти	Загальнозастосовні
e	Використання залишку заліза, отриманого після сульфатного вилуговування, у якості сировини для заводу з виплавки нікелю	Застосовність залежить від вмісту металу у відходах
f	Використання залишку карбонату цинку, отриманого від рафінування шляхом вилучення розчинником, у якості сировини для виробництва цинку	Застосовність залежить від вмісту металу у відходах
g	Використання залишків міді, отриманих після сульфатного і хлорного вилуговування, у якості сировини для виробництва міді	Загальнозастосовні

11.9 Висновки щодо НДТ для виробництва вуглецю та/або графіту

11.9.1 Викиди у повітря

11.9.1.1 Дифузні викиди

НДТ 177. Для зменшення дифузних викидів ПАВ у повітря від зберігання, поводження та транспортування рідкого пеку НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія
a	Деаерація резервуарів для зберігання рідкого пеку
b	Конденсація шляхом зовнішнього та/або внутрішнього охолодження за допомогою повітряних та/або водяних систем (наприклад, у колонах-кондиціонерах) з подальшим фільтруванням (адсорбційні скрубери або електростатичний фільтр)
c	Вловлювання і передача вловлених відхідних газів до заходів усунення забруднення довкілля (сухий скрубер або термічний окисник/регенеративний термічний окисник), доступні на інших етапах процесу (наприклад, змішування і формування або випікання)

11.9.1.2 Викиди пилу та ПАВ

НДТ 178. Для зменшення викидів пилу в повітря від зберігання, поводження та транспортування коксу та пеку, а також від механічних процесів (таких як подрібнення), графітизації та механічної обробки НДТ полягають у використанні рукавного фільтра.

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.51.

Таблиця 11.51: Рівні викидів пилу та BaP (як індикатора ПАВ) в повітря, пов'язані з НДТ, від зберігання, поводження та транспортування коксу та пеку, а також від механічних процесів (таких як подрібнення), графітизації та механічної обробки

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	2–5
BaP	≤ 0,01 ([2])
([1]) Середнє значення за період відбору проб. ([2]) Частки BaP передбачені лише у разі обробки твердого пеку.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 179. Для зменшення викидів пилу та ПАВ у повітря від виробництва зеленої пасти та зелених форм НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])
a	Сухий скрубер з використанням коксу у якості адсорбенту з попереднім охолодженням або без нього, з подальшим застосуванням рукавного фільтра
b	Коксовий фільтр
c	Регенеративний термічний окисник
d	Термічний окисник
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.52.

Таблиця 11.52: Рівні викидів пилу та BaP (як індикатора ПАВ) у повітря, пов'язані з НДТ, від виробництва зеленої пасти та зелених форм

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	2–10 ([2])
BaP	0,001–0,01
([1]) Середнє значення за період відбору проб. ([2]) Нижнє значення діапазону пов'язане з використанням сухого скрубера з використанням коксу у якості адсорбенту з подальшим застосуванням рукавного фільтра. Верхнє значення діапазону пов'язане з використанням термічного окисника.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 180. Для зменшення викидів пилу та ПАВ у повітря від обпалювання НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])	Застосовність
a	Електростатичний фільтр у поєднанні з етапом термічного окиснення (наприклад, регенеративний термічний окисник), коли очікується присутність високолетких сполук	Загальнозастосовні
b	Регенеративний термічний окисник у поєднанні з попередньою обробкою (наприклад, електростатичний фільтр) у випадках високого вмісту пилу у вихлопних газах	Загальнозастосовні
c	Термічний окисник	Не застосовується до кільцевих печей безперервної дії
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.		

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.53.

Таблиця 11.53: Рівні викидів пилу та BaP (як індикатора ПАВ) у повітря, пов'язані з НДТ, від випікання та повторного випікання

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	2–10 ([2])
BaP	0,005–0,015 ([3])([4])
([1]) Середнє значення за період відбору проб. ([2]) Нижнє значення діапазону пов'язане з використанням комбінації електростатичного фільтра та регенеративного термічного окисника. Верхнє значення діапазону пов'язане з використанням термічного окисника. ([3]) Нижнє значення діапазону пов'язане з використанням термічного окисника. Верхнє значення діапазону пов'язане з використанням комбінації електростатичного фільтра та регенеративного термічного окисника. ([4]) Для виробництва катодів верхнє значення діапазону становить 0,05 мг/Нм^3.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

НДТ 181. Для зменшення викидів пилу та ПАВ у повітря від просочення НДТ полягають у використанні однієї або комбінації технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])
a	Мокрий скрубер з подальшим застосуванням рукавного фільтра
b	Коксовий фільтр
c	Термічний окисник
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.54.

Таблиця 11.54: Рівні викидів пилу та BaP (як індикатора ПАВ) у повітря, пов'язані з НДТ, від просочення

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])
Пил	2–10
BaP	0,001–0,01
([1]) Середнє значення за період відбору проб.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.9.1.3 Викиди діоксиду сірки

НДТ 182. Для зменшення викидів SO_2 у повітря у випадку додавання сірки в процес НДТ полягають у використанні сухого та/або мокрого скрубера

11.9.1.4 Викиди органічних сполук

НДТ 183. Для зменшення викидів органічних сполук у повітря, в тому числі фенолу та формальдегіду з етапу просочення, де використовуються спеціальні просочувальні речовини, такі як смоли та розчинники, що піддаються біологічному розкладанню, НДТ полягають у використанні однієї з технологій, наведених нижче.

	Технологія ([1])
a	Регенеративний термічний окисник у поєднанні з електростатичним фільтром для етапів змішування, випікання та просочення
b	Біофільтр та/або біоскрубер для етапу просочення, де використовуються спеціальні просочувальні речовини, такі як смоли та розчинники, що піддаються біологічному розкладанню
([1]) Описи технологій наведені у Розділі 11.10.	

Рівні викидів, пов'язані з НДТ: див. Таблицю 11.55.

Таблиця 11.55: Рівні викидів ЗЛОС у повітря, пов'язані з НДТ, від змішування, випікання та просочення

Параметр	BAT-AEL (мг/Нм^3) ([1])([2])
ЗЛОС	≤ 10–40
([1]) Середнє значення за період відбору проб. ([2]) Нижнє значення діапазону пов'язане з використанням комбінації електростатичного фільтра та регенеративного термічного окисника. Верхнє значення діапазону пов'язане з використанням біофільтра/біоскрубера.	

Відповідний моніторинг у НДТ 10.

11.9.2 Відходи

НДТ 184. З метою зменшення кількості відходів, що направляються на утилізацію, НДТ мають організувати операції на об'єкті таким чином, щоб полегшити повторне використання технологічних залишків або, якщо це неможливо, перероблення технологічних залишків, в тому числі шляхом повторного використання або перероблення вуглецю та інших відходів виробничих процесів в межах процесу або в інших зовнішніх процесах.

11.10 Опис технологій

11.10.1 Викиди у повітря

Технології, описані нижче, перелічені відповідно до основної(-их) забруднювальної (-их) речовини (речовин), на зменшення викидів яких вони спрямовані.

11.10.1.1 Викиди пилу

Технологія	Опис
Рукавний фільтр	Рукавні фільтри, часто іменовані тканинними фільтрами, виготовляються з пористої тканини або повсті, через яку проходять гази для видалення часток. Використання рукавного фільтра вимагає вибору матеріалу тканини з урахуванням характеристик відхідних газів і максимальної температури експлуатації.
Електростатичний фільтр	Електростатичні фільтри працюють таким чином, що частки заряджаються та відокремлюються під дією електричного поля. Вони здатні працювати в широкому діапазоні умов. У сухому електростатичному фільтрі зібраний матеріал видаляється механічним способом (наприклад, струшуванням, вібрацією, стисненим повітрям), а в мокрому електростатичному фільтрі він промивається відповідною рідиною, зазвичай водою.
Мокрий скрубер	Мокре очищення в скрубері полягає у відділенні пилу шляхом інтенсивного змішування газу, що надходить, з водою, найчастіше в поєднанні з видаленням грубодисперсних часток через використання відцентрової сили. Видалений пил збирається на дні скрубера. Крім того, можуть бути видалені такі речовини, як SO_2, NH_3, деякі ЛОС та важкі метали.

11.10.1.2 Викиди NO_X

Технологія	Опис
Пальник з низьким рівнем виходу NO_X	Пальники з низьким рівнем виходу NO_X зменшують утворення NO_X через зниження максимальних температур полум'я, затримки, але завершення спалювання та збільшення теплопередачі (збільшення випромінювальної здатності полум'я). Пальники з ультранизьким рівнем виходу NO_X передбачають ступеневе спалювання (повітря/паливо) та рециркуляцію димових газів
Киснево-паливний пальник	Ця технологія передбачає заміну повітря для горіння киснем із подальшим усуненням/зменшенням утворення термічних NO_X з азоту, що надходить у піч. Залишковий вміст азоту в печі залежить від чистоти кисню, що подається, якості палива й можливого впуску повітря
Рециркуляція димового газу	Це передбачає повторне подання димових газів з печі в полум'я для зниження вмісту кисню і, отже, температури полум'я. Використання спеціальних пальників засноване на внутрішній рециркуляції газоподібних продуктів згорання, які охолоджують основу полум'я та знижують вміст кисню у найгарячішій частині полум'я

11.10.1.3 Викиди SO_2, HCl та HF

Технологія	Опис
Сухий або напівсухий скрубер	Сухий порошок або суспензія/розчин лужного реагенту (наприклад, вапна або бікарбонату натрію) вводять і диспергують у потоці відхідного газу. Матеріал реагує із кислотними газоподібними компонентами (наприклад, SO_2) з утворенням твердої речовини, яка видаляється шляхом фільтрування (рукавним або електростатичним фільтром). Використання реакційної колони підвищує ефективність видалення скруберної системи. Адсорбція може бути досягнута за допомогою використання насадкових колон (наприклад, коксового фільтра). Для наявних заводів продуктивність пов'язана з параметрами процесу, такими як температура (мін. 60 ºC), вміст вологи, час контактування, коливання газу та здатність системи фільтрування пилу (наприклад, рукавного фільтра) справлятися з додатковим пиловим навантаженням
Мокрий скрубер	У процесі мокрого очищення газоподібні сполуки розчиняються в промивному розчині (наприклад, лужному розчині, що містить вапно, NaOH або H_2O_2). Після мокрого скрубера відхідні гази насичуються водою, і перед випуском відхідних газів здійснюється відділення вологи. Отримана рідина далі піддається очищенню на установці з очищення відпрацьованих вод, а нерозчинні речовини уловлюються шляхом седиментації або фільтрування. Для наявних заводів ця технологія може потребувати значного вільного простору
Використання палива з низьким вмістом сірки	Використання природного газу або мазуту з низьким вмістом сірки знижує кількість викидів SO_2 і SO_3 від окиснення сірки, що міститься в паливі, під час згорання
Система абсорбції/десорбції на поліефірній основі	Розчинник на поліефірній основі використовується для селективної абсорбції SO_2 із вихлопних газів Потім поглинений SO_2 випаровується в іншій колоні, а розчинник повністю регенерується Видалений SO_2 використовується для виробництва рідкого SO_2 або сірчаної кислоти

11.10.1.4 Викиди ртуті

Технологія	Опис
Адсорбція активованим вугіллям	Цей процес заснований на адсорбції ртуті активованим вугіллям. Коли поверхня адсорбує стільки, скільки може, адсорбований вміст десорбується як частина процесу регенерації адсорбенту
Адсорбція селеном	Цей процес заснований на використанні покритих селеном сфер в насадці. Червоний аморфний селен вступає в реакцію з ртуттю у газі з утворенням HgSe. Потім фільтр обробляється для регенерації селену.

11.10.1.5 Викиди ЛОС, ПАВ та ПХДД/Ф

Технологія	Опис
Допалювач або термічний окисник	Система спалювання, в якій забруднювальна речовина у потоці вихлопних газів вступає у реакцію з киснем у середовищі з контрольованою температурою, викликаючи реакцію окиснення
Регенеративний термічний окисник	Система спалювання, у якій використовується регенеративний процес для використання теплової енергії газу та сполук вуглецю з використанням вогнетривких опорних шарів. Колекторна система необхідна для зміни напрямку потоку газу для очищення шару. Вона також відома як регенеративний допалювач
Каталітичний термічний окисник	Система спалювання, в якій розкладання здійснюється на поверхні металевого каталізатора за нижчих температур, зазвичай від 350 °C до 400 °C. Вона також відома як каталітичний допалювач
Біофільтр	Він складається з шару органічного або інертного матеріалу, в якому забруднювальні речовини з потоків відхідних газів піддаються біологічному окисненню мікроорганізмами
Біоскрубер	Він поєднує в собі мокре очищення газу (абсорбцію) та біологічне розкладання, при цьому промивна вода містить популяцію мікроорганізмів, що підходять для окиснення шкідливих компонентів газу
Вибір та подання сировини відповідно до печі та методів усунення забруднення довкілля, що використовуються	Сировина обирається таким чином, щоб піч і система боротьби з викидами, що використовуються для досягнення необхідної ефективності очищення, могли належним чином обробляти забруднювальні речовини, що містяться у сировині
Оптимізація умов горіння для зменшення викидів органічних сполук	Належне перемішування повітря або кисню та вмісту вуглецю, контроль температури газів та часу перебування за високих температур для окиснення органічного вуглецю, що містить ПХДД/Ф. Це також може передбачати використання збагаченого повітря або чистого кисню
Використання системи завантаження для напівзакритої печі, щоб подавати невеликі добавки сировини	Додавання сировини невеликими порціями у напівзакриті печі для зменшення ефекту охолодження печі під час завантаження. Це підтримує вищу температуру газу та запобігає повторному утворенню ПХДД/Ф
Система внутрішнього пальника	Вихлопний газ спрямовується через полум'я пальника, а органічний вуглець перетворюється за допомогою кисню на CO_2
Відмова від витяжних систем із накопиченням великої кількості пилу за температури > 250 °C	Присутність пилу за температури вище 250 °C сприяє утворенню ПХДД/Ф шляхом синтезу de novo
Введення, що адсорбує, у комбінації з ефективною системою уловлювання пилу	ПХДД/Ф можуть адсорбуватися пилом, тому викиди можна зменшити за допомогою ефективної системи фільтрування пилу. Використання спеціального адсорбенту полегшує цей процес та знижує викиди ПХДД/Ф
Швидке охолодження	Синтезу de novo ПХДД/Ф можна запобігти шляхом швидкого охолодження газу з 400 °C до 200 °C.

11.10.2 Викиди у воду

Технології	Описи
Хімічне осадження	Перетворення розчинених забруднювальних речовин на нерозчинну сполуку шляхом додавання осаджувальних хімічних речовин Тверді осади, що утворилися, потім відокремлюють шляхом седиментації, флотації або фільтрування. За необхідності після цього може бути застосована ультрафільтрація або зворотний осмос. Типовими хімічними речовинами, що використовуються для осадження металів, є вапно, гідроксид натрію та сульфід натрію.
Седиментація	Відділення завислих часток та завислого матеріалу шляхом гравітаційним осадження
Флотація	Відділення твердих або рідких часток від стічних вод шляхом прикріплення їх до дрібних бульбашок газу, зазвичай повітря. Плавучі частки накопичуються на поверхні води і збираються скімерами
Фільтрування	Відділення твердих часток від стічних вод шляхом пропускання їх через пористе середовище. Пісок є найчастіше використовуваним фільтрувальним матеріалом
Ультрафільтрація	Процес фільтрації, у якому як фільтрувальний матеріал використовуються мембрани з розміром пор приблизно 10 мкм
Фільтрування за допомогою активованого вугілля	Процес фільтрування, у якому у якості фільтрувального матеріалу використовується активоване вугілля.
Зворотний осмос	Мембранний процес, у якому різниця тисків між відсіками, розділеними мембраною, призводить до перетікання води з більш концентрованого розчину в менш концентрований.

11.10.3 Інші описи

Технології	Описи
Краплевловлювач	Краплевловлювачі є фільтрувальними пристроями, які видаляють захоплені потоком краплі рідини з газового потоку. Вони складаються з переплетення із металевих або пластикових дротів з великою питомою поверхнею. Завдяки їх імпульсу маленькі краплі, присутні в газовому потоці, ударяються об дроти та об'єднуються у великі краплі
Відцентрова система	Відцентрові системи використовують інерцію для видалення крапель з потоків відхідних газів шляхом застосування відцентрових сил
Посилена система всмоктування	Системи, призначені для зміни потужності витяжного вентилятора в залежності від джерел диму, що змінюються під час циклів завантаження, плавлення та випускання. Також застосовується автоматизоване регулювання швидкості пальника під час завантаження для забезпечення мінімального потоку газу під час операцій з відчиненим вікном
Цетрифугування стружки	Центрифугування — це механічний метод відокремлення мастила від стружки. Для збільшення швидкості процесу седиментації до стружки прикладається сила центрифугування для відокремлення мастила
Сушіння стружки	У процесі сушіння стружки використовується обертовий барабан з непрямим нагрівом. Для видалення мастила відбувається піролітичний процес за температури від 300 °C до 400 °C.
Герметизоване вікно печі або герметизація вікна печі	Вікно печі спроєктоване таким чином, щоб забезпечити ефективну герметизацію для запобігання виходу дифузних викидів та підтримання позитивного тиску всередині печі на етапі виплавки/плавлення

12 ПРИКІНЦЕВІ ЗАУВАЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПОДАЛЬШОЇ РОБОТИ

Основні етапи процесу перегляду узагальнені в Таблиці 12.1.

Таблиця 12.1: Основні етапи процесу перегляду ДДНДТ для підприємств кольорової металургії

Основні етапи	Дата
Відновлення ТРГ	12 грудня 2006 р.
Висловлення побажань	23 лютого 2007 р.
Стартова нарада	24–26 вересня 2007 р.
Збір інформації	31 березня 2008 р.
Перший проєкт (П1) ДДНДТ для підприємств кольорової металургії	14 листопада 2008 р.
Кінець періоду для коментарів до першого проєкту (приблизно 1800 коментарів)	26 січня 2009 р.
Другий проєкт ДДНДТ для підприємств кольорової металургії (П2)	29 липня 2009 р.
Кінець періоду для коментарів (приблизно 1240 коментарів)	15 жовтня 2009 р.
Новий напрямок подальших дій (реструктуризація ДДНДТ за підгрупами та збір нових даних)	26 травня 2011 р.
Третій проєкт ДДНДТ для підприємств кольорової металургії (П3)	28 лютого 2013 р.
Кінець періоду для коментарів (приблизно 2700 коментарів)	26 квітня 2013 р.
Заключна зустріч ТРГ	17–21 березня 2014 р.

У процесі перегляду було здійснено близько 40 відвідувань об'єктів у дев'яти державах-членах ЄС, в тому числі об’єктів з виробництва первинної та вторинної міді, виробництва первинного та вторинного алюмінію та перероблення сольового шлаку, виробництва первинного та вторинного свинцю, виробництва первинного та вторинного цинку (вельц-піч), виробництва кобальту, виробництва феросплавів, виробництва нікелю та виробництва вуглецю та графіту.

Джерела інформації та інформаційні прогалини

У процесі перегляду кілька сотень документів було передано ТРГ через інформаційну систему Комісії щодо НДТ (BATIS). Вони включали приблизно 100 анкет, що містять дані про викиди у повітря та воду за конкретними заводами. Додаткові дані щодо цих викидів також були надані в вигляді сукупності інформації без використання узгодженого шаблону анкети. Основними джерелами інформації були ЄАА, ЄІМ, МАВС, МЦА, ЄФДМ, Euroalliages, Інститут нікелю, ЄАВВГ, кілька країн-членів ЄС (Австрія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Італія, Нідерланди, Португалія, Іспанія та Сполучене Королівство) та Норвегія.

Перегляд ДДНДТ для підприємств кольорової металургії було розпочато відповідно до Директиви комплексного запобігання та контролю забруднення (96/61/ЄС замінено на 2008/1/ЄС). У 2011 році, після публікації Директиви про промислові викиди (ДПВ) (2010/75/ЄС), було вирішено, що доступної інформації, як правило, недостатньо для отримання обґрунтованих висновків щодо НДТ з рівнем деталізації, необхідним відповідно до нового режиму ДПВ, зокрема, щодо опису та застосовності технологій. Крім того, враховуючи зростання значення рівня викидів, пов'язаних з НДТ, в режимі ДПВ, було визначено за необхідне покращити ситуацію з даними, на яких вони засновані.

Крім того, були створені підгрупи ТРГ для покращення ситуації з даними та реструктуризації розділів «технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ». Це

не стосується виробництва ртуті, тугоплавких металів і лужних та лужноземельних металів через те, що в ЄС-28 працює дуже мало заводів. Інформація, доступна для тугоплавких металів та виробництва лужних та лужноземельних металів, тепер міститься в окремому документі, доступному на вебсайті ЄБКЗКЗ (Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднення). Документи, надані підгрупами ТРГ, та інші документи, надані у процесі перегляду ДДНДТ для підприємств кольорової металургії, були оцінені ЄБКЗКЗ. В результаті приблизно 315 документів, в тому числі список літератури, використаної для складання оригінальної ДДНДТ для підприємств кольорової металургії (2001 р.), яка все ще корисна, згадуються в переглянутій ДДНДТ (див. Главу СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ).

Виробництво сірчаної кислоти на установках з виробництва кольорових металів знаходиться у сфері застосування Довідкової документації за найкращими доступними технологіями для неорганічної хімічної промисловості у великих обсягах — аміак, кислоти, добрива (LVIC-AAF). На стартовій нараді ТРГ щодо кольорової металургії було ухвалено:

- що технології, що застосовуються в галузях кольорової металургії, посилатимуться на ДДНДТ LVIC-AAF і ґрунтуватимуться на наявній інформації;
- зібрати дані з ефективних установок з виробництва сірчаної кислоти на установках з виробництва кольорових металів, які можуть надати додаткову інформацію для перегляду ДДНДТ LVIC-AAF.

Інформація про технології, що застосовуються підприємствами кольорової металургії для виробництва сірчаної кислоти, була надана членами ТРГ. Щоб надати додаткову інформацію для перегляду ДДНДТ LVIC-AAF, технології, які зараз не описані в ДДНДТ LVIC-AAF, описані в переважно Главах 2, 3, 5 та 6 цього документа. З метою послідовності та запобігання дублювання ТРГ з кольорової металургії вирішила на завершальній зустрічі ТРГ з кольорової металургії виключити виробництво сірчаної кислоти зі сфери застосування ДДНДТ для підприємств кольорової металургії Чеська Республіка, Данія, Іспанія, Фінляндія, Польща, Швеція, Eurometaux та Orgalime вважали б за краще залишити виробництво сірчаної кислоти в рамках ДДНДТ для підприємств кольорової металургії, оскільки вони вважають, що це краще враховувало б особливості сірчаної кислоти, що виробляється установками з виробництва кольорових металів.

Поправка до ДДНДТ LVIC-AAF, прийнята у 2007 р.
На завершальній зустрічі ТРГ було визнано, що в Таблиці 4.24 *«Коефіцієнти перетворення та рівні викидів SO_2, пов'язані з НДТ»* у НДТ LVIC-AAF (прийнятому у 2007 р.) у рядку «Інші установки подвійного контактування/подвійної абсорбції» верхнє значення діапазону BAT-AEL для викидів SO_2 у виробництві сірчаної кислоти у виробництві кольорових металів на установці подвійного контактування/подвійної абсорбції потребує коригування. Це значення має становити 770 мг/Нм^3 (в середньому за добу) замість 680 мг/Нм^3 (в середньому за добу).

Ступінь консенсусу, досягнутого під час обміну інформацією
Усього зроблено 206 висновків щодо НДТ. На завершальній зустрічі ТРГ у березні 2014 р. було досягнуто високого ступеня консенсусу з більшості висновків щодо НДТ. Проте, було висловлено 18 протилежних думок (див. Таблицю 12.2).

Таблиця 12.2: Протилежні думки

Висновки щодо НДТ	Точку зору висловили	Протилежна думка
НДТ 11 Таблиця 11.1	Cefic, Eurometaux	Протилежна думка була висловлена компанією Eurometaux за підтримки Cefic, що запропонувала змінити виноску ([2]) у Таблиці 11.1 наступним чином: «Нижнє значення діапазону може бути досягнуте за допомогою комбінації технології, за винятком процесів з використанням сировини з різним вмістом ртуті (наприклад, вельц-печі)».
НДТ 17 Таблиця 11.2	Австрія, Німеччина, ЕЕВ	Протилежна думка була висловлена Австрією, Німеччиною, ЕЕВ, що запропонували видалити виноску ([2]) з Таблиці 11.2.
	Cefic, Eurometaux, Euromines	Протилежна думка була висловлена компаніями Eurometaux, Euromines та Cefic, які вважають, що BAT-AEL для викидів ртуті у воду під час виробництва міді має становити ≤ 0,05 мг/л
Загальні	Австрія, Фінляндія, Німеччина, Нідерланди, Швеція, ЕЕВ	Протилежна думка була висловлена Австрією, Фінляндією, Німеччиною, Нідерландами, Швецією та ЕЕВ, які вважали б за краще встановити BAT-AEL для викидів міді, свинцю, миш'яку та кадмію в повітря замість того, щоб вказувати їх з орієнтовними значеннями у виносках, пов'язаних з BAT-AEL для пилу
НДТ 48 Таблиця 11.5	Польща, Іспанія, Cefic, Euroalliages, Eurometaux, Euromines	Компанія Eurometaux, за підтримки Польщі, Іспанії, Euromines, Euroalliages та Cefic, висловила протилежну думку про те, що BAT-AEL для викидів ПХДД/Ф у повітря для наявних шахтних печей, що виробляють вторинну мідь, має бути виражено у діапазоні 0,1–0,4 нг МТЕ/Нм^3
НДТ 50 Таблиця 11.6	Eurometaux, Euromines	Компанія Eurometaux, за підтримки Euromines, висловила протилежну думку про те, що верхнє значення діапазону BAT-AEL для викидів SO_2 в повітря від виробництва вторинної міді має бути встановлено на рівні 450 мг/Нм^3.
НДТ 60	Німеччина, ЕЕВ	Німеччина за підтримки ЕЕВ висловила протилежну думку про те, що BAT-AEL для викидів SO_2 у повітря від заводу з обпалювання на заводі з виробництва анодів, інтегрованому в завод з виплавки первинного алюмінію, має бути встановлено та виражено у діапазоні 35–150 мг/Нм^3.
НДТ 67 Таблиця 11.11	Іспанія, Eurometaux, Euromines	Компанія Eurometaux, за підтримки Іспанії та Euromines, висловила протилежну думку про те, що рівні діапазону BAT-AEL для викидів пилу в повітря з камер Сьодерберга мають становити 5–10 мг/Нм^3.
НДТ 68 Таблиця 11.13	Німеччина, ЕЕВ	Німеччина та ЕЕВ висловили протилежну думку про те, що верхнє значення діапазону BAT-AEL для пилу від плавлення та обробки розплавленого металу та лиття у виробництві первинного алюмінію має бути встановлено на рівні 5 мг/Нм^3
НДТ 69, Таблиця 11.14	Сполучене Королівство Великої Британії та Північної Ірландії	Сполучене Королівство висловило протилежну думку про те, що опис НДТ 69(a) слід змінити, додавши таке речення: «Проте, вважається, що світові тенденції щодо вартості та доступності анодів з низьким вмістом S можуть призвести до ситуації, де установки, що застосовують цю технологію, повинні будуть покладатися на аноди з вищим вмістом сірки до 2 % у середньому за рік». Отже, вони також висловили протилежну думку про те, що верхнє значення діапазону BAT-AEL для викидів SO_2 у повітря з електролітичних камер має становити 20 кг/т Al
	Франція, Іспанія, Eurometaux, Euromines	Eurometaux, за підтримки Франції, Іспанії та Euromines, висловила протилежну думку про те, що в описі НДТ 69(a) вміст сірки в аноді має становити 2,5 %, і в той же опис слід додати таке речення: «План управління забезпечує контроль вмісту S у сировині та дозволяє передбачати викиди SO_2 з урахуванням місцевих умов навколишнього середовища». Отже, вони також висловили протилежну думку про те, що верхнє значення діапазону BAT-AEL для викидів SO_2 у повітря з електролітичних камер має становити 25 кг/т Al

НДТ 82 Таблиця 11.17	Австрія, Німеччина, ЕЕВ	Австрія, Німеччина та ЕЕВ висловили протилежну думку про те, що виноску ([2]) про викиди пилу під час переплавлення вторинного алюмінію слід видалити
НДТ 122 Таблиця 11.34	Німеччина, Нідерланди, ЕЕВ	Німеччина, Нідерланди та ЕЕВ висловили протилежну думку про те, що верхнє значення в діапазоні BAT-AEL для пилу від плавлення металевих та змішаних металевих/оксидних потоків, а також від шлаковипарної печі та вельц-печі має бути нижчим за 5 мг/Нм^3
НДТ 156 Таблиця 11.46	Німеччина, Нідерланди, ЕЕВ	Німеччина, Нідерланди та ЕЕВ висловили протилежну думку про те, що виноску ([2]) у Таблиці 11.46 слід видалити
НДТ 157	Іспанія, Eurometaux, Euroalliages	Іспанія та Euroalliages за підтримки Eurometaux висловили протилежну думку про те, що мокрі скрубери (як автономна технологія) слід розглядати як НДТ для зниження викидів пилу та металів із закритих печей при виробництві феросплавів для наявних заводів, де застосування електростатичних фільтрів або рукавних фільтрів обмежене, через обмеження, пов'язані з безпекою та конфігурацією
НДТ 157 Таблиця 11.46	Іспанія, Euroalliages	Іспанія та Euroalliages висловили протилежну думку про те, що до Таблиці 11.46 слід додати виноску, що вказує на те, що для наявних заводів верхнє значення діапазону BAT-AEL може становити до 20 мг/Нм^3, де через обмеження, пов'язані з безпекою та розміщенням, не можна використовувати рукавний фільтр або електростатичний фільтр
НДТ 178 Таблиця 11.51	Франція, ЄАВВГ (ECGA), Eurometaux	Франція та ЄАВВГ за підтримки Eurometaux висловили протилежну думку про те, що до Таблиці 11.51 слід додати виноску, що вказує на те, що верхнє значення діапазону може становити до 10 мг/Нм^3 під час тимчасових операцій, таких як поводження з матеріалами, завантаження та розвантаження засипки
НДТ 180 Таблиця 11.53	Австрія, Німеччина, ЕЕВ	Австрія, Німеччина та Європейське екологічне бюро (ЕЕВ (European Environmental Bureau)) висловили протилежну думку про те, що виноску ([4]) у Таблиці 11.53 слід видалити.

Консультації Форуму та наступна процедура офіційного прийняття Висновків щодо НДТ

Відповідно до Статті 13(3) Директиви Форум висловив свою думку щодо проєкту Довідкового документа за найкращими доступними технологіями (НДТ) для підприємств кольорової металургії на своєму засіданні 4 грудня 2014 року:

1. Форум прийняв наданий Комісією проєкт Довідкового документа за найкращими доступними технологіями (НДТ) для підприємств кольорової металургії.
2. Форум взяв до уваги обговорення, що відбулися на його засіданні 4 грудня 2014 р., та погодився з тим, що зміни до проєкту Довідкового документа за найкращими доступними технологіями (НДТ) для підприємств кольорової металургії, запропоновані в Додатку A, мають бути включені до остаточного варіанта документа.
3. Форум підтвердив, що коментарі у Додатку B репрезентують думку деяких членів форуму, але щодо яких на форумі не досягнуто консенсусу для включення їх до остаточного варіанта документа.

Згодом Комісія взяла до уваги думку Форуму за Статтею 13 ДПВ під час підготовки проєкту Виконавчого рішення Комісії, що встановлює висновки щодо найкращих доступних технологій (НДТ) для підприємств кольорової металургії. Комітет за Статтею 75 ДПВ на своєму засіданні 3 грудня 2015 року дав позитивний висновок щодо цього проєкту Виконавчого рішення Комісії.

Згодом Виконавче рішення Комісії (ЄС) 2016/1032, що встановлює висновки щодо найкращих доступних технологій (НДТ) для підприємств кольорової металургії, було ухвалено 13 червня 2016 року та опубліковано в Офіційному віснику Європейського Союзу (OJ L 174, 30.06.2016 р., стор. 32).

Рекомендації для подальшої роботи

Обмін інформацією виявив низку питань, щодо яких необхідно зібрати додаткову інформацію під час наступного перегляду ДДНДТ для підприємств кольорової металургії. Рекомендації для наступного перегляду передбачають:

- Збір даних про викиди у повітря та воду з відповідними нормальними умовами, в тому числі для викидів у повітря, вміст кисню.
- Збір інформації про виробництво інших кольорових металів в ЄС-28, не згаданих конкретно в цьому ДДНДТ (наприклад, вольфраму). Зокрема, до наступного ДДНДТ для підприємств кольорової металургії може бути додана нова глава, присвячена виробництву тугоплавких металів, в тому числі розділ про Технології, які необхідно враховувати у визначенні НДТ.
- Може виявитися корисним зібрати конкретні дані та інформацію, у тому числі про вміст кисню у викидах, використовуваній сировині, виробництво та питомі навантаження та швидкість потоків (маса викинутої забруднювальної речовини на масу виробленого продукту або масу використаної сировини, а також швидкість потоку викидів на масу виробленого продукту або масу використаної сировини) для оцінки ефективності інтегрованих у процес технологій.
- Збір інформації за конкретними заводами про технології, інтегровані в технологічний процес, та про технології, що застосовуються в кінці виробничого циклу для запобігання або зменшення викидів металів у повітря з різних секторів кольорової металургії, а також про рівні викидів металів, що досягаються за допомогою цих технологій, з метою перегляду можливості встановлення BAT-AEL для викидів металів у повітря.
- Збір даних про викиди NO_X у повітря в «навантаженнях» і концентраціях, а також іншої відповідної контекстуальної інформації, такої як застосування технологій у виробництві кольорових металів, щоб розглянути встановлення належного BAT-AEL під час наступного перегляду ДДНДТ для підприємств кольорової металургії. Дані про викиди повинні збиратися з урахуванням відповідних нормальних умов, включно з вмістом кисню у димових газах.
- Збір інформації про вміст миш'яку в сировинних матеріалах, що містять мідь, заводів з виробництва міді та відповідні викиди у воду.
- Збір інформації за конкретними заводами про викиди, що виникають від охолодження штейну, та про загальну енергоефективність на заводах, що використовують печі зваженого конвертування, а також у порівнянні з енергією, заощадженою конвертерами іншого типу під час плавлення мідного брухту.
- Збір даних про викиди пилу від лиття анодів у виробництві міді з усією необхідною контекстуальною інформацією (наприклад, про технології, що використовуються, застосовний моніторинг і характеристики пилу, зокрема вміст металу).
- Збір даних про вплив на різні компоненти довкілля, пов'язані з використанням регенеративного допалювача у виробництві міді.
- Збір інформації про вміст хлору у вхідному потоці мідеплавильних заводів.
- Збір даних про каналізовані викиди H_2SO_4 в повітря з камери електровідновлення, ванн електролітичного рафінування, промивної камери машини для обдирання катоду та машини промивання анодного скрапу у виробництві первинної та вторинної міді.
- Збір за конкретними заводами про викиди у воду під час виробництва первинного та вторинного алюмінію.
- Збір за конкретними заводами про викиди SO_2 у повітря з печей для обпалювання у виробництві первинного алюмінію.
- Збір за конкретними заводами щодо ефективності вловлювання як на заводах з попереднього обпалювання, так і на заводах Сьодерберга у виробництві первинного алюмінію.
- Збір інформації про наявність на ринку коксу з низьким вмістом сірки (менше ніж 1,5 %) та конкретних даних про відсотковий вміст сірки в анодах, що використовуються у виробництві первинного алюмінію.
- Збір інформації за конкретними заводами про витрати на встановлення рукавних фільтрів у ливарних цехах, інтегрованих із заводами з виплавки первинного алюмінію.

- Збір інформації про вплив на різні компоненти довкілля, пов'язаний з повторним використанням тепла, та його вплив на викиди ПХДД/Ф, особливо у виробництві свинцю та олова.
- Збір інформації про викиди SbH_3 в повітря на етапі очищення у виробництві цинку.
- Збір додаткової інформації та даних про викиди SO_2 від пірометалургійного виробництва цинку, у тому числі за межами Європи.
- Збір даних про викиди ПХДД/Ф від вельц-печей у виробництві цинку.
- Збір даних про продуктивність скруберів з пероксидом з щодо викидів SO_2 у повітря у виробництві дорогоцінних металів.
- Збір інформації про викиди Cl_2 в повітря від гідрометалургійних операцій у виробництві дорогоцінних металів та про технології, що використовуються для зменшення цих викидів, а також інформації про вплив на боротьбу з іншими забруднювальними речовинами (наприклад, NO_X, SO_2).
- Збір інформації про викиди в повітря від попереднього сушіння та обпалювання латеритних руд у виробництві феросплавів.
- Збір інформації про економічну ефективність використання рукавного фільтра або мокрого скрубера у поєднанні з електростатичним фільтром для зниження викидів пилу із закритих печей у виробництві феросплавів.
- Збір інформації та даних про викиди ПАВ (BaP) та ЗЛОС від знежирення титанової стружки та інших відповідних джерел у виробництві феросплавів.
- Збір інформації про викиди Ni та Cl_2 від атмосферного вилуговування та вилуговування під тиском у виробництві нікелю.
- Збір інформації та даних про викиди NH_3 в повітря від виробництва нікелевого порошку та брикетів.
- Збір даних про викиди та відповідної контекстуальної інформації для виробництва вуглецю та графіту.
- Може бути корисним збирати конкретну інформацію щодо рівня точності та репрезентативності нижнього рівня викидів пилу, виміряного на установках з виробництва кольорових металів.
- Також може бути корисним збирати конкретну інформацію про точність та репрезентативність викидів ПХДД/Ф, виміряних на установках з виробництва кольорових металів.

Запропоновані теми для майбутніх досліджень та розробок

Комісія запускає та підтримує в межах своїх програм науково-технічних розробок серію проєктів, пов'язаних із чистими технологіями, перспективними технологіями обробки та переробки стічних вод та стратегіями управління виробництвом. Потенційно ці проєкти можуть зробити корисний внесок у майбутні перегляди ДДНДТ. Тому читачам пропонується інформувати Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднення про будь-які результати досліджень, що стосуються сфери застосування цього документа (див. також п'ятий розділ передмови до цього документа).

13 ДОДАТКИ

13.1 Процеси виробництва металу

Існує кілька процесів або комбінацій процесів, які використовуються для виробництва та плавлення металів. У цьому розділі описані як пірометалургійні, так і гідрометалургійні процеси. Порядок, у якому вони згадуються, не має значення та не вказує на пріоритетність. Технології, описані в главах, присвячених конкретним металам (з 3 по 10), дають більш детальну інформацію про пірометалургійні або гідрометалургійні процеси, метали, для яких вони використовуються, і конкретні переваги та недоліки в у їх застосуванні.

У цій галузі промисловості печі використовуються для різних цілей, таких як випалювання або обпалювання сировини, плавлення та рафінування металів, а також для плавки руд та концентратів.

Один і той самий тип печі або процесу може використовуватися для різних цілей, і тому він має надати огляд різних галузей застосувань [21, COM 1991], [25, OSPARCOM 1996], [34, UNECE 1995].

Важливим аспектом при виборі процесу є взаємозв'язок із вловлюванням диму та газів; зустрічаються герметизовані, напівзакриті та відкриті процеси. На конструкцію системи вловлювання диму сильно впливає геометрія, яка в деяких випадках може ускладнити вловлювання диму. Прикладом цього аспекту, пов'язаного з конструкцією, є використання систем транспортування, що потребують зняття ковпаків з печі.

Використовувались дослідження обчислювальної гідродинаміки (CFD (computerised fluid dynamics)) та індикатори для моделювання потоку пічних газів, а також руху розплавлених електролітів [233, COM 2008] для запобігання або мінімізування дифузних викидів. Використання цих технологій призвело до створення оптимізованих систем уловлювання газу (див. Розділ 2.12.4.3).

Іншим важливим фактором застосування відповідного типу процесу є тип і різноманітність використовуваної сировини; деякі процеси дозволяють використовувати цілу низку матеріалів, але інші потребують певного типу матеріалу. Паралельно розроблялися модифікації печей або систем завантаження електроліту для забезпечення невеликих рівномірних добавок сировини, які також сприяють запобіганню дифузним викидам [233, COM 2008]. Ці питання докладніше розглядаються у главах, присвячених виробництву окремих металів (з 3 по 10). Експлуатація та технічне обслуговування цих систем також є важливими. Типи печей, які можуть зустрічатися, наведено у Таблиці 13.1.

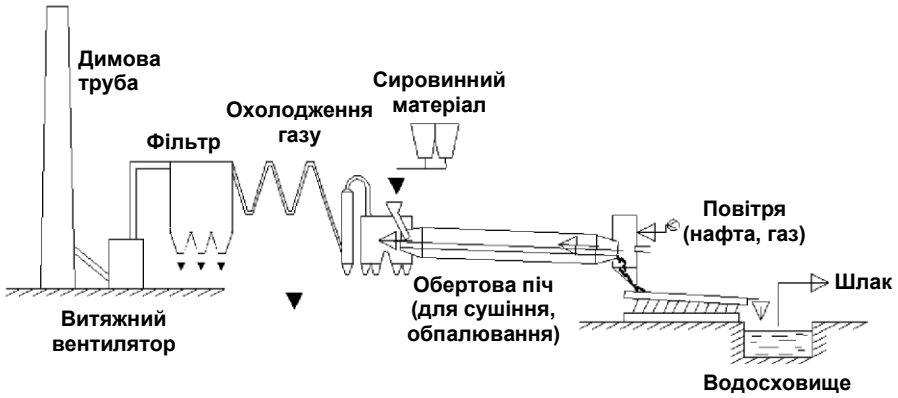
Таблиця 13.1: Типові галузі застосування печей

Метал	Типи печей, які можуть зустрічатися	Коментар
Мідь	Піч зваженої плавки Піч плавки у ванні Електрична піч Обертова піч або конвертер Доменні та шахтні печі Індукційна піч Відбивна піч (також подові та камерні печі)	Різноманітність галузей застосування в залежності від сировини та етапу процесу
Алюміній	Камери з розплавленим електролітом Відбивна (та із закритим колодязем) піч Обертова, нахильна обертова та шахтна піч Індукційна піч	Камери з розплавленим електролітом тільки для процесів виробництва первинного металу
Свинець	Плавильна піч Imperial (ISF) Піч Doerschel (обертова/що гойдається) Піч зваженої плавки (Kivcet) Ванна піч (QSL, Ausmelt/ISASMELT) Обертова піч прискореної дії або обертова нахильна піч Відбивна піч Котел з нагрівом Агломераційна машина Доменна піч Електрична піч Обертовий конвертер з верхнім дуттям (Kaldo)	Струшувальний ківш застосовується для виробництва олова зі свинцево-олов'яних сплавів
Цинк	Піч ISF та дистилювання за методом «Нью-Джерсі» Піч для випалювання у псевдозрідженому шарі та агломераційна машина Індукційні та тигельні печі Шлаковипарні печі та вельц-піч	Контроль температури розплаву є дуже важливим
Дорогоцінні метали	Електрична піч Доменна піч Обертовий конвертер з верхнім дуттям (Kaldo) Тигельна піч Обертова та статична установка для спалювання Купель або кисневий купель з донним дуттям (ККДД) (BBOC (bottom-blown oxygen cupel) Вакуумне дистилювання	Різноманітність галузей застосування в залежності від сировини та етапу процесу
Тугоплавкі метали	Штовхальна піч Піч з бандажем Піч періодичної дії Обертова піч Електронно-променева піч Вакуумна індукційна піч Піч Херрешоффа	Штовхальна, з бандажем, періодичної дії та обертова піч використовуються для виробництва порошку. Електронно-променева піч використовується для плавки виливків. Піч Херрешоффа використовується тільки для випалювання Mo концентрату.
Феросплави	Доменна піч Дугові електропечі, печі із зануреною дугою та електричні печі Реакційний тигель Металотермічний реактор Індукційна піч	Дугова електропіч використовується як відкрита, напівзакрита та закрита піч. Індукційна піч також використовується для переплавлення
Лужні метали	Камери з розплавленим електролітом Електрична піч, індукційна піч	Індукційні печі переважно використовується для переплавлення
Нікель і кобальт	Піч зваженої плавки Піч плавки у ванні Електрична піч, відбивна піч Конвертер Піч для випалювання у псевдозрідженому шарі Обертові печі Індукційна піч	Різноманітність галузей застосування в залежності від сировини та етапу процесу
Вуглець та графіт	Шахтна піч та вакуумна піч Електрична піч	

13.1.1 Печі для випалювання та обпалювання

13.1.1.1 Обертові печі (для сушіння, обпалювання тощо)

Обертові печі для сушіння, обпалювання тощо мають ту ж конструкцію, що і обертові печі, але працюють без плавлення шихти, як показано на Рисунку 13.1.



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]

Рисунок 13.1: Обертова піч (для сушіння, обпалювання)

Ці печі використовуються для різних процесів випарювання та обпалювання. Основними прикладами є виробництво оксиду цинку шляхом випарювання у вельц-печі; виробництво обпаленого матеріалу для процесу виробництва феронікелю; обпалювання гідроксиду алюмінію та обпалювання гідроксиду магнію до легкообпаленого оксиду магнію для електролітичного виробництва магнію. Іншими галузями застосування є попередня обробка різних видів сировини за високих температур, спалювання фотоплівки та паперу, а також сушіння концентратів та усереднених матеріалів за нижчих температур.

13.1.1.2 Реактор з псевдозрідженим шаром

Ці печі особливо підходять, коли необхідний належний контроль температури, наприклад, для випалювання концентратів сульфідну мідні, нікелю, кобальту та/або цинку, а також для повного випалювання цинкових концентратів та часткового випалювання мідних концентратів, а також для обпалювання Al_2O_3.

Повітря для згорання продувається через фурми в решітці в нижній частині печі та через псевдозріджений шар випалюваного на решітці матеріалу. (Див. Рисунок 13.2.)

Концентрат подається на верхню частину шару. Кисень вступає в реакцію із сульфідами у шарі з утворенням діоксиду сірки (іменований обпаленим матеріалом). Газ SO_2 утворюється за температури від 900 °C до 1000 °C.

Частина обпаленого матеріалу видаляється з печі механічним способом, але деяка частина переноситься з газовим потоком і видаляється в котлі-утилізаторі, циклонах або електростатичному фільтрі. Випалювання видаляє деякі незначні домішки, такі як хлор, фтор, селен і ртуть у газову фазу.

Тепло, що виділяється під час випалювання, регенерується у вигляді пари охолоджувальними змійовиками в шарі та в котлі-утилізаторі. Використання пари може дещо змінюватись в залежності від потреб на заводському майданчику, але його частина завжди використовується для підігріву в процесі.

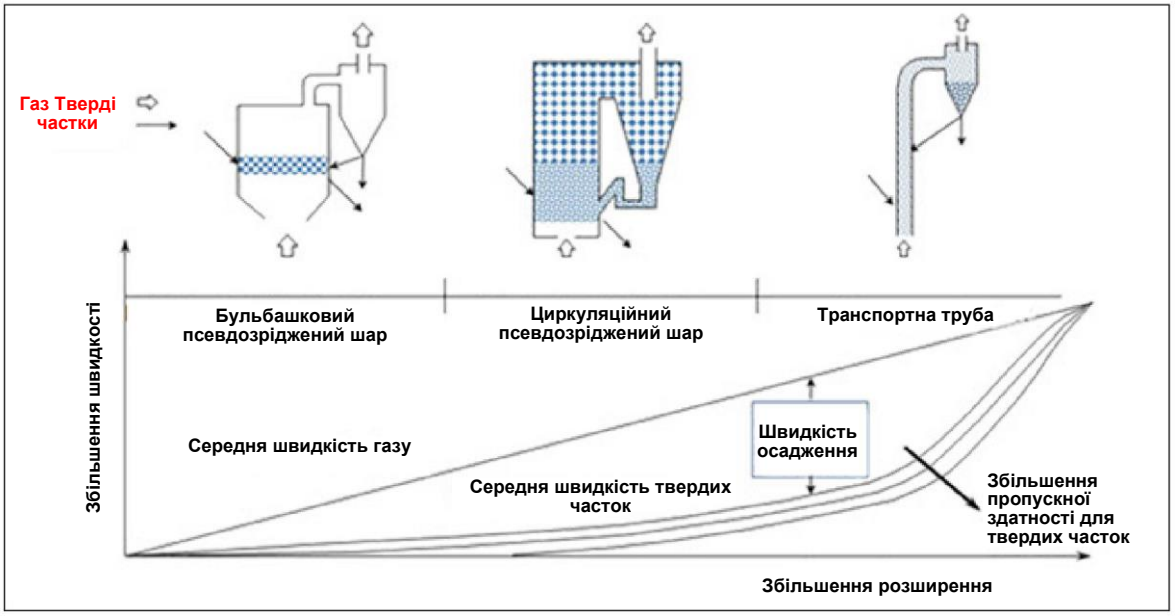


Рисунок 13.2: Реактор з псевдозрідженим шаром

13.1.1.3 Багатоподова піч або піч Херрешоффа

Багатоподова піч, або піч Херрешоффа, складається з колони, що містить від 8 до 16 подів кільцевої форми з вогнетривкої цегли, розташованих вертикально і поміщених у циліндричний сталевий кожух з вогнетривкою футерівкою. Матеріал зазвичай подається ззовні верхнього поду печі та переміщається до центру цього поду за допомогою гребків, де він падає до центру другого поду. Потік матеріалу в другому поді спрямовується від центру назовні, де він падає назовні третього поду. Цей зигзагоподібний потік повторюється, поки не буде вивантажений випалений матеріал. Гребки прикріплені до центральної вертикальної обертової труби з повітряним охолодженням. Газові або нафтові пальники встановлені у різних точках печі залежно від характеристик згорання матеріалу. Охолоджувальне повітря, яке використовується для охолодження центральної труби, зазвичай використовується як підігріте повітря для згорання в печі.

Піч показана на Рисунку 13.3.

Ця піч використовується для випалювання сульфідних руд або прямого виробництва металу або оксиду, такого як оксид молібдену. Випарений реній, який виділяється в процесі випалювання молібденіту, може бути вилучений з відхідних газів печі для випалювання з використанням системи мокрого скрубера разом з подальшим застосуванням установки для вилучення ренію.

Багатоподова піч також використовується для регенерації активованого вугілля. Також повідомляється, що вона використовується для обробки пилу сталеливарного виробництва, залишків вилуговування та осадів покриття для вилучення цинку як альтернатива вельц-процесу [227, IZA Report 2008]. Повідомляється, що вона використовується для виробництва сталі та інших металів із залишків у поєднанні із відновлювальною піччю [257, Paul Wurth 2008].

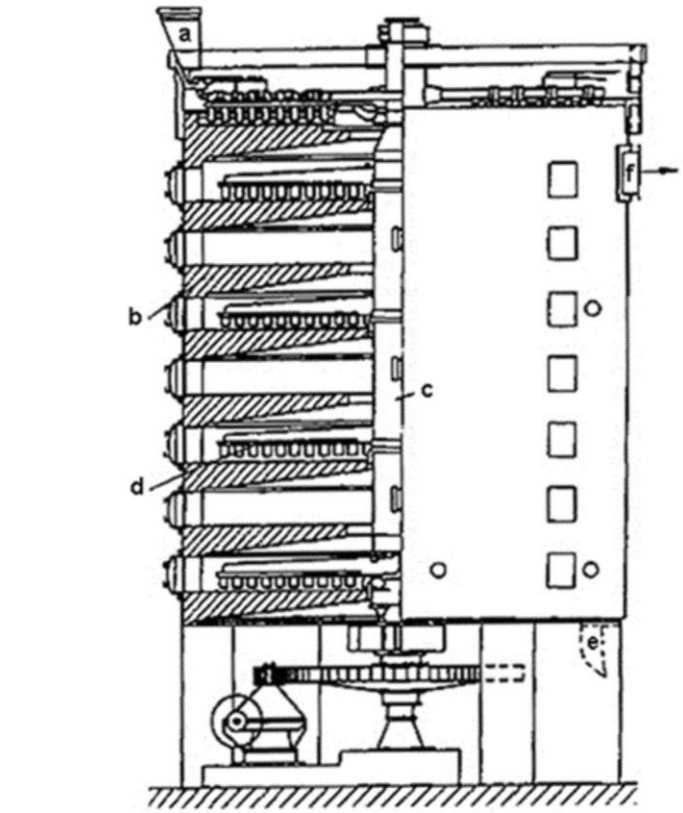


Рисунок 13.3: Піч Херрешоффа або багатоподова піч

13.1.1.4 Печі для спікання

Сировиною для агломераційного заводу є концентрати, рудний дріб'язок, димовий пил та інші вторинні матеріали. На агломераційному заводі матеріал спочатку агломерується до необхідного ступеня і може бути гранульований. Агломерований матеріал подається в піч для спікання шаром або в носіях, нагріті гази пропускаються вгору (висхідний потік) або вниз (низхідний потік) через шар або агломераційну машину з рухомим колосником.

У агломераційній машині зі сталевою стрічкою використовується багатосекційна піч, через яку необроблений агломерат проходить на перфорованій сталевій конвеєрній стрічці. Агломерат сушать у сушильній секції газом, що циркулює, з останньої секції охолодження. У секції підігріву температура агломерату підвищується, щоб матеріал обпалювався, а вугілля у шарі займалося. Газ для нагрівання відбирається з другої секції охолодження. У секції спікання досягається температура спікання. Газ для нагрівання, крім енергії від спалювання вуглецю та окиснення заліза, відбирається з першої секції охолодження.

Передні секції мають конфігурацію з низхідним потоком, і охолоджувальне повітря вдувається в три секції охолодження через шар. Якщо для регулювання температурного профілю в секціях потрібна додаткова енергія, газ CO з процесу плавки або природний газ спалюється в секціях підігрівання та спікання. Частина отриманого спека або котунів використовується як нижній шар на стальній стрічці для захисту її від надмірно високих

температур. Вихлопні гази очищаються в каскадних скруберах та/або тканинних фільтрах. Пил повертається на агломерацію. Піч показана на Рисунку 13.4.

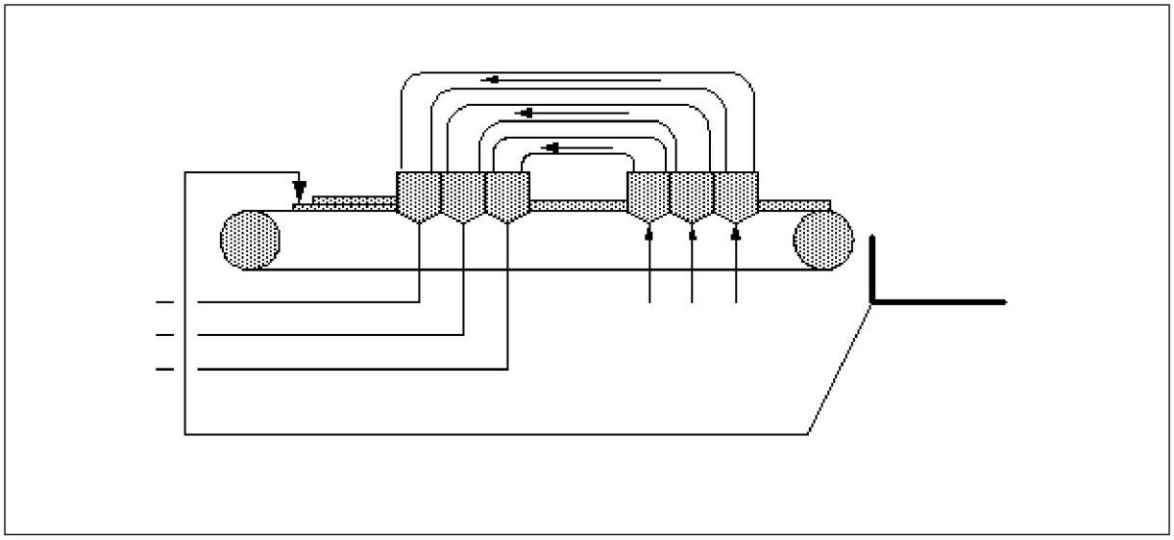


Рисунок 13.4: Піч для спікання зі сталевою стрічкою

Піч для спікання застосовуються для спікання різних руд, пилу та осадів. Піч для спікання зі сталевою стрічкою використовується для хромітових котунів, марганцевої руди та концентрату ніобію, але може мати й інші застосування.

13.1.2 Металоплавильні печі

Виплавка передбачає використання або утворення великої кількості тепла, і більша частина цього тепла регенерується з відхідних газів у котлах-утилізаторах. Проте, необхідно контролювати тепло всередині печі, щоб забезпечити ефективну виплавку і водночас захистити піч. Системи охолодження використовуються для захисту печей та подовження строку експлуатації вогнетривів. Система Waterfall може бути використана для охолодження кожуху або спеціальні охолоджувальні елементи можуть бути використані для охолодження футерівки. Довгострокові операції використовуються, коли застосовується належним чином спроєктована система охолодження печі.

Охолодження також корисне в горловині печі для запобігання накопиченню шлаку та інших матеріалів, які перешкоджають ефективній герметизації ковпаків для вловлювання відхідних газів. Розробки забезпечили надійні та безпечні системи охолодження у цих чутливих зонах.

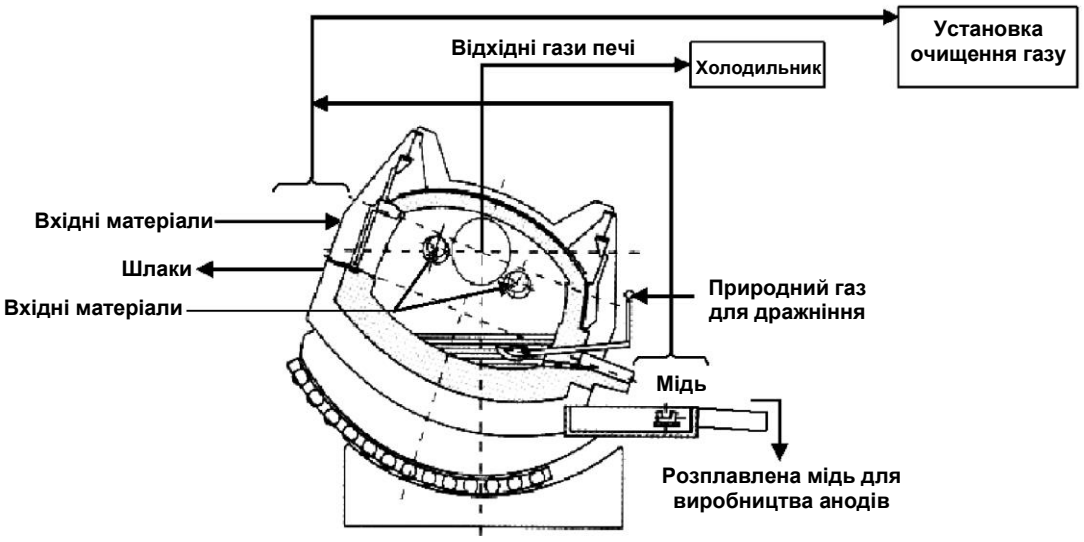
13.1.2.1 Відбивні, подові печі або печі із закритим колодязем

Відбивна піч також відома як подова піч або піч із закритим колодязем. Вона використовується для плавки концентратів та вторинної сировини. Існують два основних типи: проста ванна піч для плавки обпаленого матеріалу або концентратів та відбивна подова піч для плавлення або рафінування. Печі іноді можна нахиляти для лиття або продування металу. Фурми можна використовувати для вдування газів для обробки або для додавання дрібнодисперсного матеріалу.

Піч конструюється в декількох конфігураціях залежно від конкретного металу та галузі застосування. Варіанти включають обладнання похилими подами та бічними колодязями для конкретних цілей плавлення; а також фурмами та трубками для подання газів.

Шлак зазвичай видаляють шляхом випускання.

Коли сульфідні руди плавляться у відбивній печі, концентрації діоксиду сірки зазвичай низькі через великий обсяг газоподібних продуктів згорання та низьку швидкість видалення сірки в печі. Піч показана на Рисунку 13.5.



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999], [121, Rentz, O. et al. 1999]

Рисунок 13.5: Приклад нахильної відбивної подової печі, що використовується для вторинних матеріалів

Ці печі використовуються для плавки різної первинної та вторинної сировини, а також для вогняного рафінування. Використання відбивної печі (із закритим колодязем) для плавлення та вилучення алюмінію описано нижче.

13.1.2.2 Доменні печі (та плавильна піч Imperial)

Це шахтні печі, в яких використовується дуття нагрітого повітря з фурм у нижній частині печі для спалювання коксу, який змішується із шихтою, що складається з оксиду металу або вторинного матеріалу та флюсів. Матеріали часто брикетують перед завантаженням. Спалювання частини коксу підвищує температуру печі, а частина, що залишилася, утворює CO, який разом з воднем, що утворюється в результаті реакції водяного газу, відновлює оксиди металів до металу. В результаті реакції утворюється газ, з високим вмістом чадного газу. Його можна вловлювати, очищати та спалювати для підігрівання повітря дуття або спалювати в окремому допалювачі або частини печі з надлишком кисню. У деяких випадках сировина, така як пил оксиду цинку, подається через фурми.

Метал збирається в поді або тиглі на дні печі та може випускатися безперервно або періодично. Під час періодичного випускання шлак спливає на поверхню металу, а метал випускається з окремої льотки. Видалення та зменшення викидів диму використовуються у процесі випускання.

Кожух печі зазвичай охолоджується водою або по всій висоті або в нижній частині. Доменну піч також можна назвати ватержакетною піччю. Існує два варіанти доменної печі

залежно від способу подання та температури експлуатації, що використовуються для плавлення металу. Печі можуть бути:

- з гарячим склепінням, куди шихтовий матеріал подається через конус або конвеєр через перехідний шлюзовий відсік;
- з холодним склепінням, де піч завантажується з бункера, а вихідна сировина забезпечує герметизацію самого склепіння.

Печі показані на Рисунку 13.6 та Рисунку 13.7.

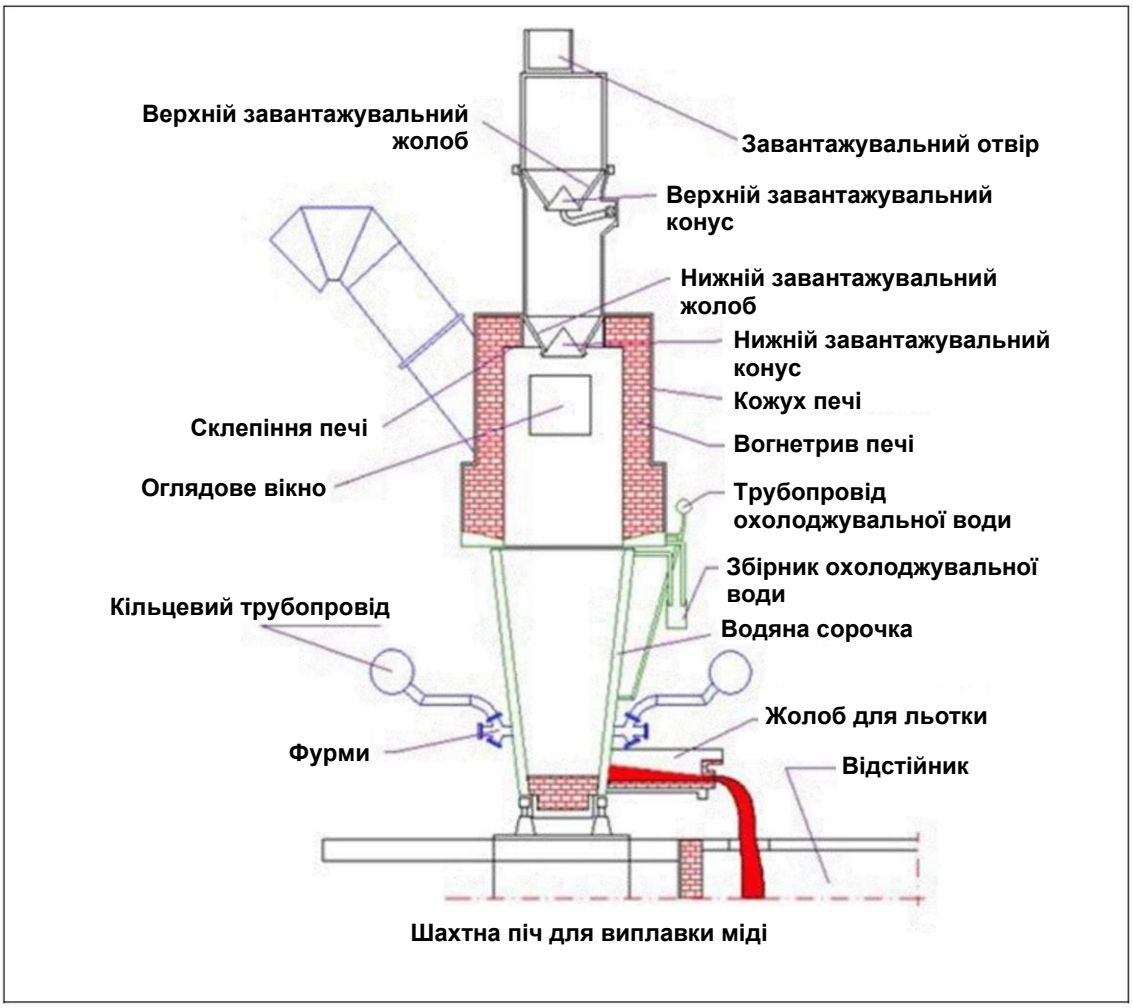
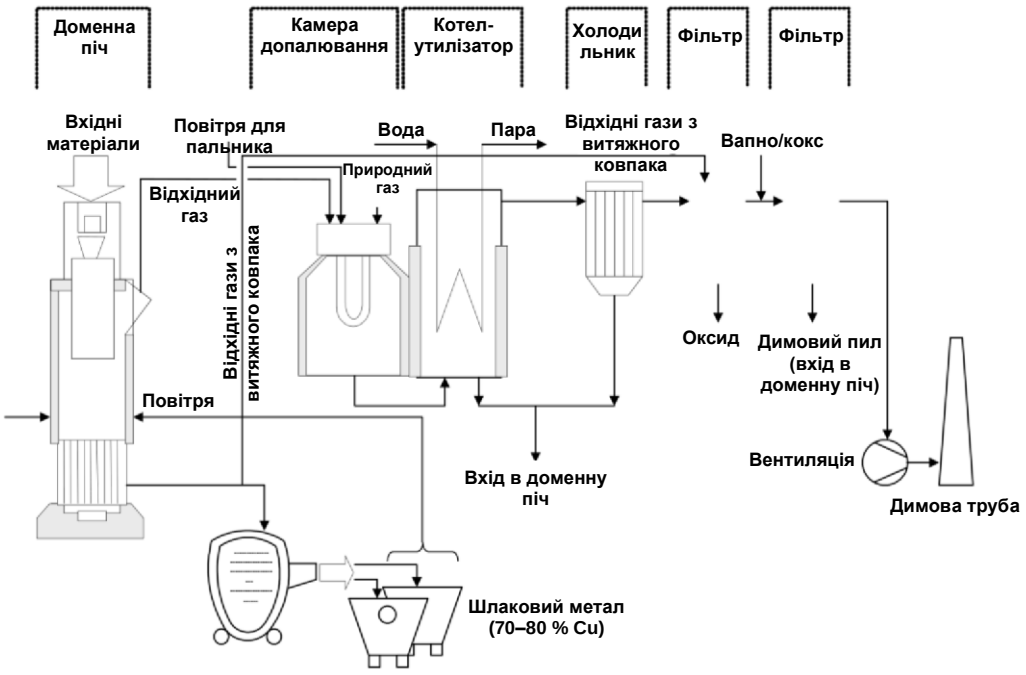


Рисунок 13.6: Доменна піч для виплавки первинної міді



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999],

Рисунок 13.7: Доменна піч для виробництва вторинної міді

Доменні печі використовуються для виплавки та вилучення різних металів, в тому числі дорогоцінних металів, міді та свинцю, з первинної та вторинної сировини, а також високовуглецевого феромарганцю. Розробки дозволяють завантажувати дрібнодисперсні матеріали в піч через фурми, що дозволяє уникнути брикетування та зменшити обсяг роботи з пилоподібним матеріалом.

Одним із конкретних застосувань доменної печі є плавильна піч Imperial (ISF), яка використовується для змішаних концентратів свинцю та цинку. У цій печі використовується конденсатор з розбризкуванням розплавленого свинцю після секції доменної печі для вловлювання парів цинку, що виділяються в газах, тоді як свинець збирається в поді. Зібрані в конденсаторі цинк та кадмій очищають у системі фракційного дистилювання (дистиляційна колона «Нью-Джерсі»).

13.1.2.3 Електричні відновлювальні печі

Процес в електричній відновлювальній печі зазвичай полягає у відновленні елемента в оксидному стані до металевої форми. Процес зазвичай передбачає додавання оксиду та відновника, часто вуглецю, в піч. Також можуть бути додані металеві компоненти. Для доведення реагентів до температури реакції, а також підтримання ендотермічних реакцій додається електроенергія. Ця електроенергія перетворюється на теплову енергію в зосередженій реакційній зоні біля електрода печі. Печі показані на Рисунку 13.8, Рисунку 13.9 та Рисунку 13.10.

Деякі печі використовують шар шлаку для отримання необхідної енергії. Інші засновані на опорі в самій шихті або шарі коксу. Деякі процеси підтримують плазмову дугу від наконечника електрода до шару коксу або кратера. Такі електричні відновлювальні печі іноді називають печами із зануреною дугою. Причина в тому, що занурена дуга є важливою частиною перетворення електроенергії на теплову енергію в реакційній зоні процесу. Електропостачання зазвичай ґрунтується на трифазній системі електроживлення. Електроживлення буде перетворено з високої напруги на низьку напругу. Також можна використовувати джерело DC (постійного струму), і в цьому випадку дуга запалюється між електродами та вугільною футерівкою печі або між електродами та сировиною в нижній частині печі.
Електричну відновлювальну піч можна розділити на основні компоненти, показані нижче:

- обладнання для додавання сировини, такої як руди, концентрати та відновники, або суміші сировини у піч;
- обладнання для подання електроенергії в піч, що складається з електричної мережі, трансформаторів, струмопровідних шин та електродів;
- корпус печі або шахта, що складається з кожуху, футерівки та ковпака, що захищає обладнання від тепла;
- обладнання для випускання металу та шлаку з печі; часто метал необхідно сортувати після подрібнення;
- система відхідних газів (канали відпрацьованих газів, з'єднані з системою зменшення викидів газу, такою як циклон, скрубер або фільтр), тут з установкою регенерації енергії, а також з фільтром для очищення газу.

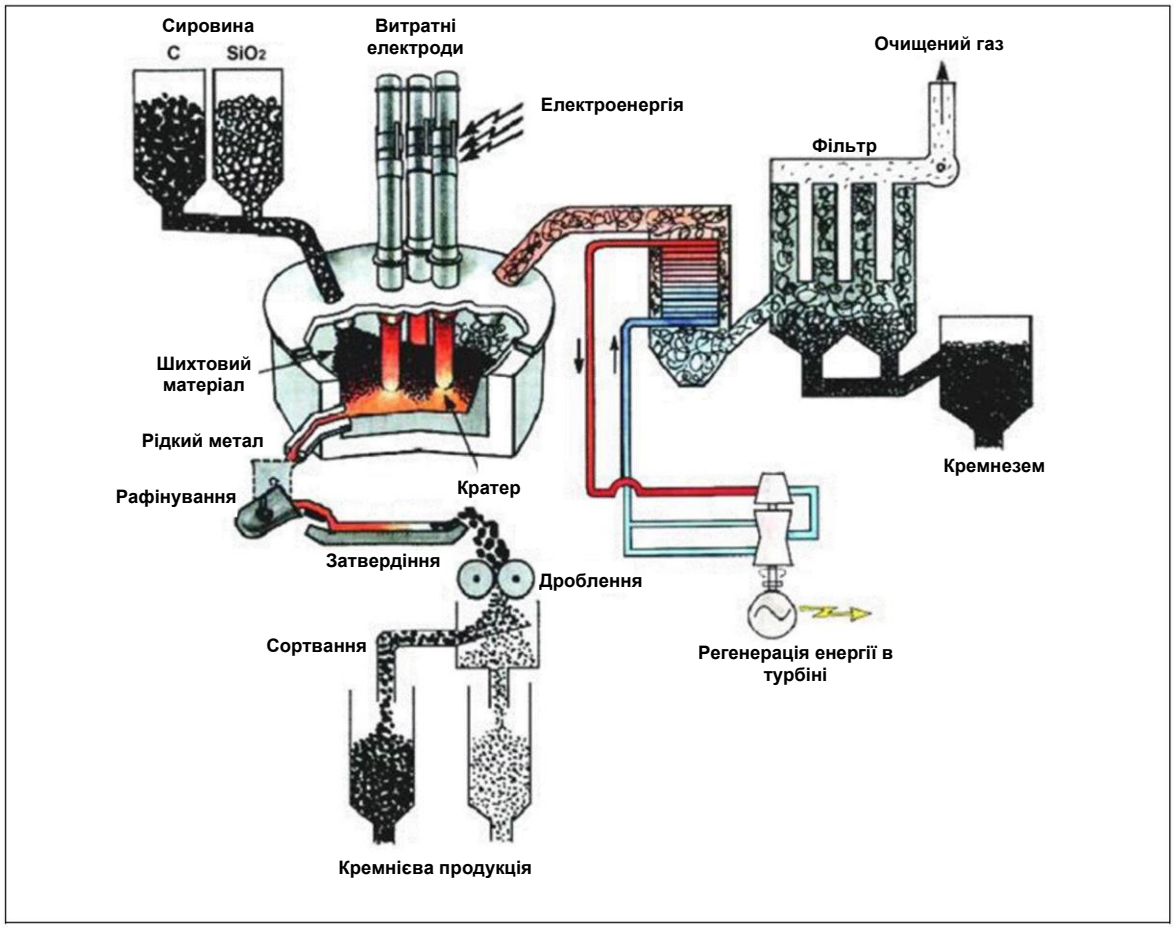


Рисунок 13.8: Процес в електричній відновлювальній печі та допоміжному обладнанні

Сировина може бути завантажена в піч різними способами. Для менших печей сировину можна завантажувати за допомогою завантажувального візка. Завантажувальний візок іноді можна використовувати й для необхідного завантаження, щоб зруйнувати утворення кірки у верхній частині шихти. Великі дугові електропечі зазвичай завантажуються через завантажувальні труби, де шихта переміщається з труб на рівень шихти печі.

Система електропостачання перетворює електроенергію, яка зазвичай має високу напругу, до рівня низької напруги/великого струму, необхідного для процесу. Пічні трансформатори зазвичай розташовуються симетрично навколо печі, щоб забезпечити електричну симетрію та короткі електричні лінії з'єднання, щоб уникнути непотрібних втрат. У невеликих та старих печах іноді використовується один трифазний трансформатор. Робота однофазних трансформаторів має деякі переваги для керування піччю. Електроди підключаються до системи електропостачання через струмопровідну шину Електроди

можуть бути попередньо обпаленими або типу Сьодерберга. Вони виготовлені з графіту або вуглецевого матеріалу, витрачаються у процесі та мають постійно замінюватися.

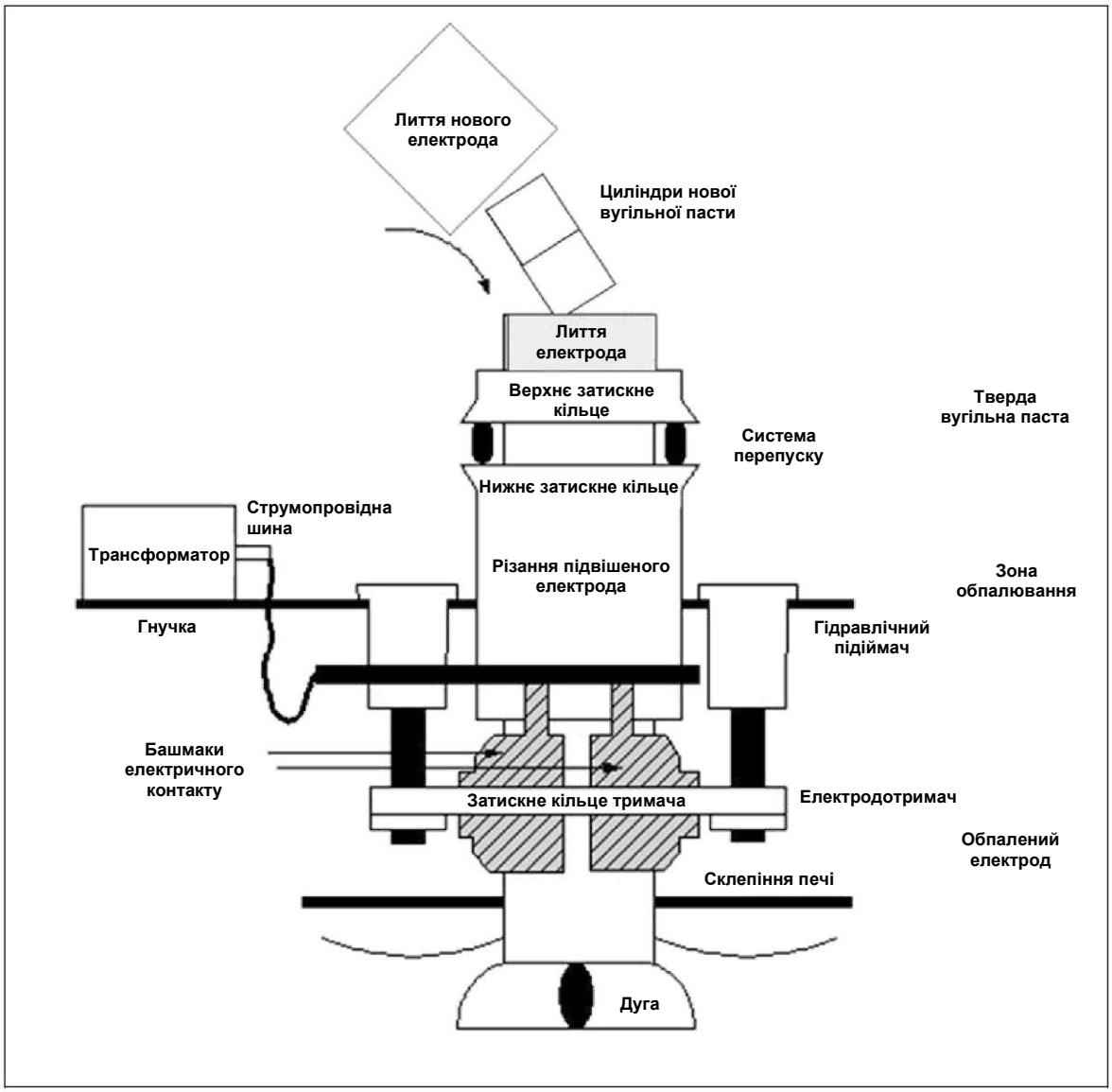


Рисунок 13.9: Система з електродом Сьодерберга в дуговій електропечі

Система Сьодерберга, показана на Рисунку 13.9, заснована на зовнішньому сталевому корпусі електрода, який діє як форма для вугільної пасти. Вугільна паста обпалюється у твердий електрод всередині сталевого корпусу під час нагрівання електрода, проходячи через зону верхньої контактної щоки. Твердий вугільний електрод витрачається в печі частково внаслідок термічної реакції та частково внаслідок окиснення. Можуть утворюватись значні концентрації чадного газу. У деяких установках використовуються порожнисті електроди, які дозволяють подавати матеріал у піч через електрод. Сировина забезпечує частину опору в електричному ланцюзі та сприяє утворенню електричної дуги, що забезпечує необхідні високі температури. Глибина введення електродів регулює опір. Існують дугові печі постійного струму, в яких використовуються анодні штирі або струмопровідні поди. Дугові електропечі можуть працювати у режимі періодичної або безперервної дії.

Печі можуть бути відкритими, напівзакритими або повністю закритими з використанням завантажувальних жолобів та герметизаційних клапанів для завантаження. В останньому випадку всі пічні гази ефективно видаляються, очищаються і можуть використовуватися

як джерело палива, використовуючи високі концентрації CO, або для підігрівання сировинних матеріалів, використовуючи тепловміст [112, Outokumpu Oy (SF) 1998]. Ковпаки та іноді корпус печі можуть охолоджуватися водою для контролю процесу та запобігання пошкодженням.

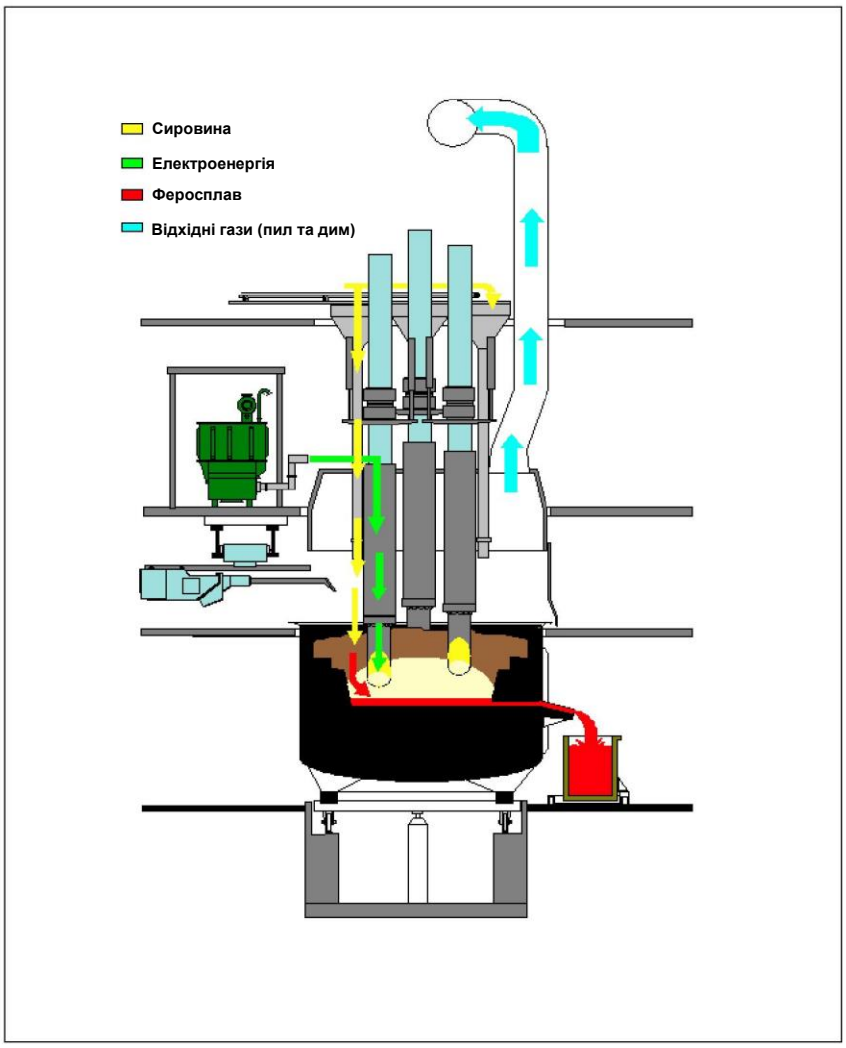


Рисунок 13.10: Обертова електрична відновлювальна піч

Розплавлена або тверда сировина подається кількома способами за допомогою жолобів, подавальних труб або через порожнисті електроди. Закриті або напівзакриті умови печі є простими в обслуговуванні. У процесах виплавки випалені рудні концентрати передаються на рідкий розплав через верхню частину печі або збоку за допомогою окремих завантажувальних пристроїв, а електроди занурюють у шар розплавленого шлаку.

Ці печі використовуються для виплавки низки феросплавів і можуть використовуватися для підігріву або попереднього відновлення матеріалу для використання вмісту CO. Вони також використовуються для плавлення та рафінування тугоплавких металів та жароміцних сплавів, і в цих випадках вони працюють у вакуумі.

13.1.2.4 Електричні печі (опору)

Цей тип печі має таку ж конструкцію, що й електрична відновлювальна піч. Залежно від розміру печі у шар рідини занурюють від трьох до шести електродів Сьодерберга або попередньо обпалених електродів. Температуру плавлення підтримують за допомогою електричного резистивного нагріву. Піч зазвичай працює безперервно. Піч показана на Рисунку 13.11.

Розплавлена або тверда сировина подається кількома способами за допомогою жолобів, подавальних труб або через порожнисті електроди. Герметизовані або напівзакриті умови печі є простими в обслуговуванні. У процесах виплавки випалені рудні концентрати передаються на рідкий розплав через верхню частину печі або збоку за допомогою окремих завантажувальних пристроїв, а електроди занурюють у шар розплавленого шлаку.

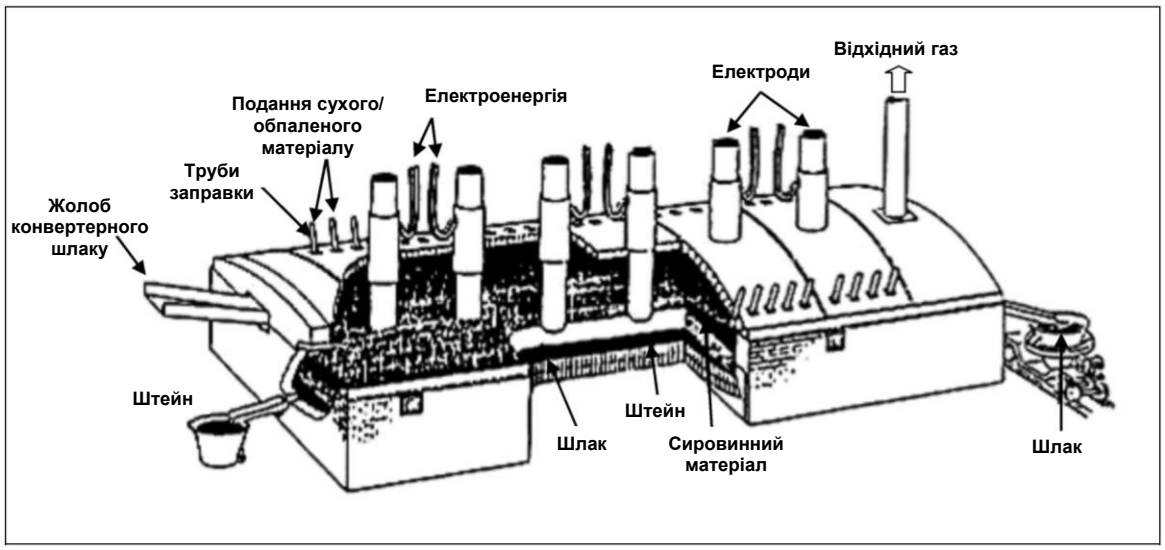


Рисунок 13.11: Електрична піч для плавки концентрату або обпаленого матеріалу

Електричні печі можуть працювати декількома способами з використанням коксу (у якості відновника) та шлакоутворювальних речовин в залежності від застосування. Вугільні електроди витрачаються як оксиди та відновлюються, але обсяги газу, що утворюються під час роботи, мінімізуються, оскільки під час згорання палива не утворюються гази. Тепло, необхідне для виплавки, виробляється виключно внаслідок електроенергії, що подається електродами, зануреними в розплавлений шлак, що діє як електричний опір. Ці печі зазвичай герметизовані, а гази легко вловлюються та обробляються для видалення і, якщо це можливо, повторного використання пилу, CO та діоксиду сірки.

Ці печі використовуються у виробництві низки металів з первинної та вторинної сировини, в тому числі дорогоцінних металів, свинцю та міді, а також можуть використовуватись для очищення шлаку [121, Rentz, O. et al. 1999]. Деякі шлаки від виплавки первинних металів, наприклад, міді, як правило, очищають у кільцевих печах. Вони також використовуються для вилучення дорогоцінних металів, особливо срібла.

Коли використовується вторинна сировина, шихта готується зі складом, що відповідає конкретній програмі виплавки, і подається в піч через закриту систему завантаження. Розплавлені продукти випускаються в ковші через різні льотки. Відновлювальна плавка призводить до випаровування переважно цинку, олова і свинцю, які викидаються у вигляді оксидів з відхідними газами та збираються в системі вловлювання пилу, що складається з резервуара для пилу, охолоджувача технологічного газу і фільтра.

13.1.2.5 Обертова піч

Обертова піч описана в Додатку 13.1.1.1.

13.1.2.6 Шахти та тиглі з вогнетривкою футерівкою

Шахти та тиглі з вогнетривкою футерівкою є простими шахтами, виготовленими з Al_2O_3 або іншого вогнетривкого матеріалу і сталевих циліндрів з вогнетривкою футерівкою, які

утворюють тиглі. Вони зазвичай застосовуються для металотермічних реакцій. Шахти та тиглі з вогнетривкою футерівкою часто використовуються у виробництві спеціальних феросплавів, таких як феровanадій та феромолібден, а також тугоплавких металів. Вловлювання диму може бути проблемою для цього типу печей, і потрібна належним чином спроєктована та регульована система видалення газу.

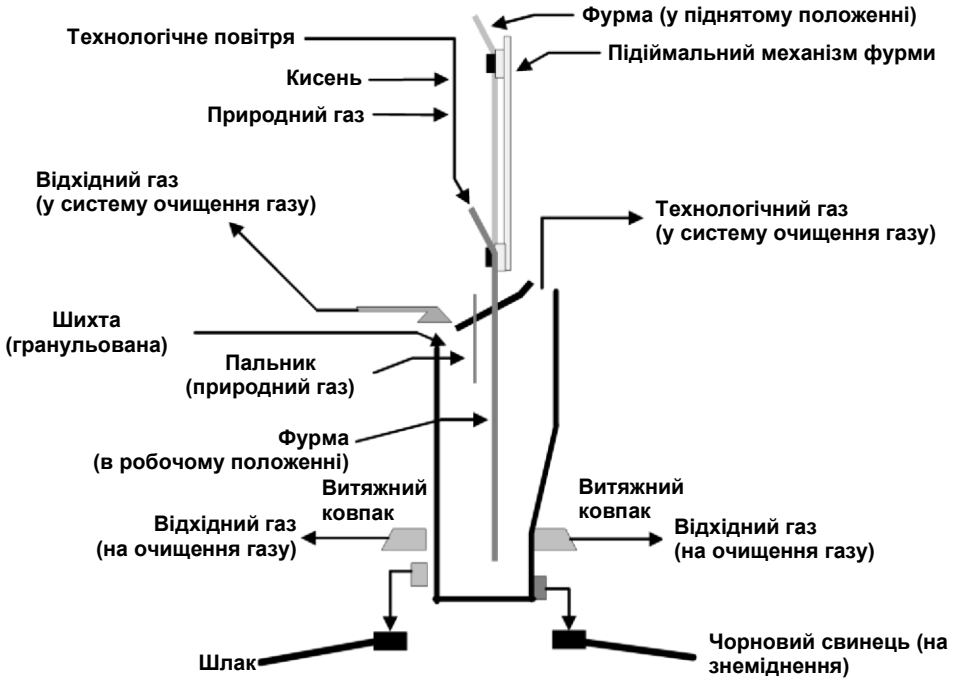
13.1.2.7 Печі Ausmelt/ISASMELT та піч KRS

Печі Ausmelt/ISASMELT і піч KRS — це печі з циліндричною ванною, в яких використовується сталева фурма для подання в розплав природного газу, нафти або вугілля, а також кисню або повітря. Фурма занурюється у ванну розплавленого металу і заснована на утворенні шлакового покриття для запобігання швидкому зносу. Піч показана на Рисунку 13.12.

Решта сировини подається герметизованим конвеєром в піч, де вона вступає в реакцію з високою швидкістю та розплавляється. Занурювальна фурма для спалювання перемішує вміст ванни й утворює шлак разом із необхідним металом або штейном. Для розділення розплавлених фаз потрібна окрема піч для витримки, з якої фази випускаються окремо. Піч можна використовувати в періодичному режимі, коли умови в печі, такі як газ, що продувається через фурму, змінюються в кінці виробничої серії. Приклади періодичної роботи:

- плавлення вторинного мідно-свинцевого матеріалу в мідно-свинцевий штейн на першому етапі з подальшим перетворенням штейну в чорнову мідь шляхом продування киснем;
- обробка залишків вилуговування цинку.

Можлива безперервна робота з використанням двох печей, що працюють послідовно, наприклад, як пропонується для процесу виробництва свинцю ISASMELT.



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]

Рисунок 13.12: Піч Ausmelt (Sirosmelt)/ISASMELT

У печі використовується надійний ковпак та витяжна система для вловлювання та обробки диму з системи печі та операцій випускання. У випадку плавлення сульфідних концентратів гази спрямовуються до системи видалення сірки.

Існує низка застосувань для цього типу печей, в тому числі виробництво мідного штейну з концентратів та конвертування, виробництво міді з вторинної сировини (KRS), виробництво свинцю з первинних та вторинних матеріалів, обробка відпрацьованого футерування електролізерів та випарювання цинку [37, Ausmelt Ltd. 1995].

Піч Ausmelt/ISASMELT використовується як піч безперервної дії для прямої плавки, а також для періодичної та поетапної роботи. У випадку плавки мідного концентрату у штейн у процесі використовується волога сировина, яка безперервно подається в піч з флюсами.

На відміну від технологій доменної та електричної печі, у печі KRS в зараз використовується періодичний двоетапний процес, що складається з етапу виплавки та етапу конвертування. Так працює кілька печей. У процесі KRS, наприклад, на першому етапі утворюється металева фаза (чорна мідь) і шлакова фаза, яка випускається через шлакову льотку і гранулюється з водою. Отриманий пісок силікату заліза продається як будівельний матеріал. Чорна мідь залишається у печі. На другому етапі чорну мідь конвертують у метал і конвертерний шлак в умовах окиснення шляхом додавання брухту сплаву. Конвертерний шлак через жолоб подається в піч для олов'яно-свинцевого сплаву (обертова піч) для подальшої обробки. Конвертерний метал KRS надходить в обертову та нахильну піч, призначену для підтримання температури, звідки розливається в ковші та надходить в анодну піч для пірометалургійного рафінування. Остаточне рафінування здійснюється в установці електролізу міді. Якість рафінованої міді (катодної міді) відповідає якості міді, отриманої з первинної сировини [234, UBA (D) 2007].

13.1.2.8 Обертовий конвертер з верхнім дуттям (TBRC) і нахильна обертова киснево-паливна піч (TROF)

Обертовий конвертер з верхнім дуттям (TBRC) і нахильна обертова киснево-паливна піч (TROF) є обертовими та нахильними печами, в яких для процесів нагрівання і продування використовуються фурми. Печі невеликі та розміщені в оболонках, щоб уловлювати вторинні викиди, що обробляються. Обертання печі сприяє належному перемішуванню шихти та необоротній реакції компонентів, але може призвести до стирання вогнетривкої футерівки. Піч показана на Рисунку 13.13.

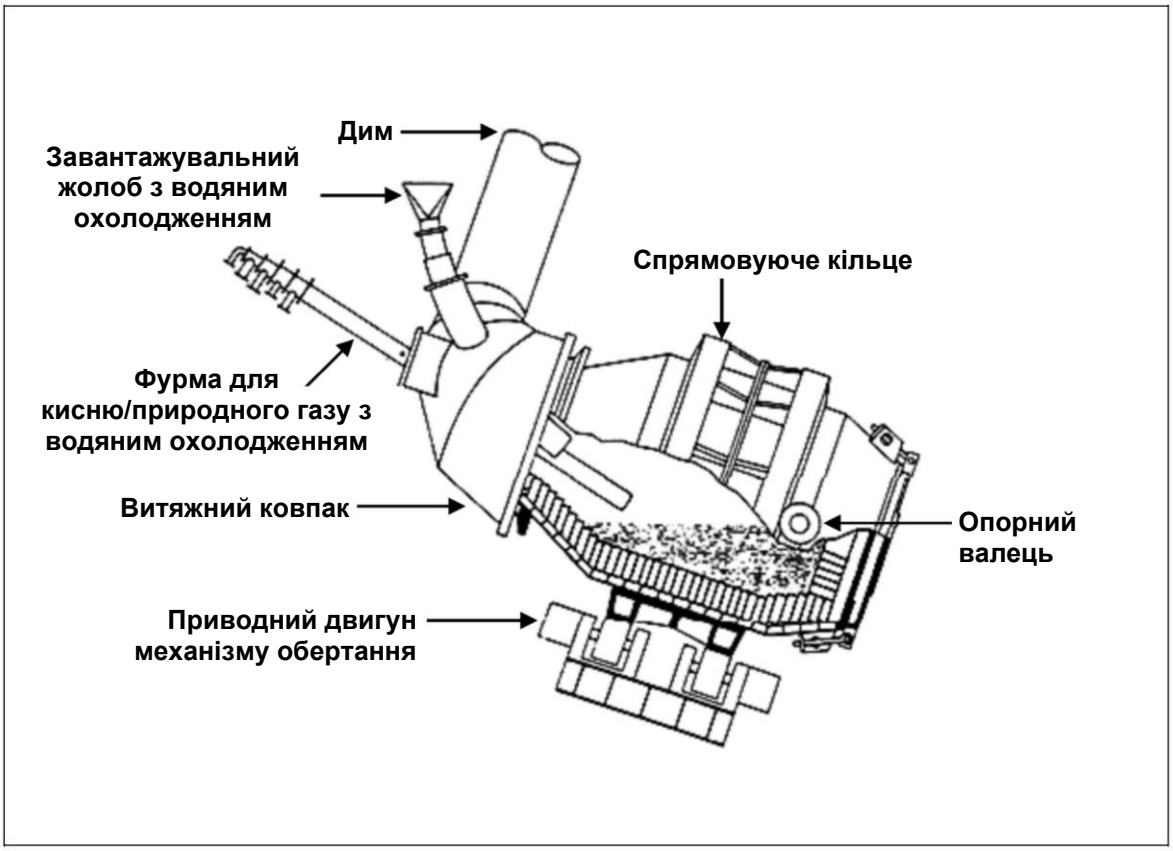


Рисунок 13.13: Обертовий конвертер з верхнім дуттям (TBRC) і нахильна обертова киснево-паливна піч (TROF)

Кисень та паливо додаються через фурми, які дують на поверхню розплаву. Використання кисню призводить до утворення невеликих обсягів відхідних газів і великої кількості діоксиду сірки під час плавки сульфідів. Процес зазвичай здійснюється в періодичному режимі, і зазвичай використовується кілька таких печей для плавки, конвертування та очищення шлаку. Він використовується для виробництва первинної та вторинної міді та свинцю, феронікелю та для вилучення дорогоцінних металів.

Інші комерційні конструкції нахильних обертових печей також використовуються для виплавки, наприклад, металоплавильна міні-піч.

13.1.2.9 Процеси Noranda, El Teniente, Baiyin та Ванюкова

У реакторі Noranda для виплавки використовується циліндрична піч з вогнетривкою футерівкою. Гранульований концентрат та добавки завантажують у ванну розплавленого шлаку у верхній частині печі. Пальники, що працюють на природному газі або рідкому паливі, розташовані на обох кінцях, виробляють тепло, необхідне для обробки. Збагачене киснем повітря вдувається у ванну розплавленого металу через фурми, викликаючи окиснення сірки та заліза. Реактор Noranda показаний на Рисунку 13.14.

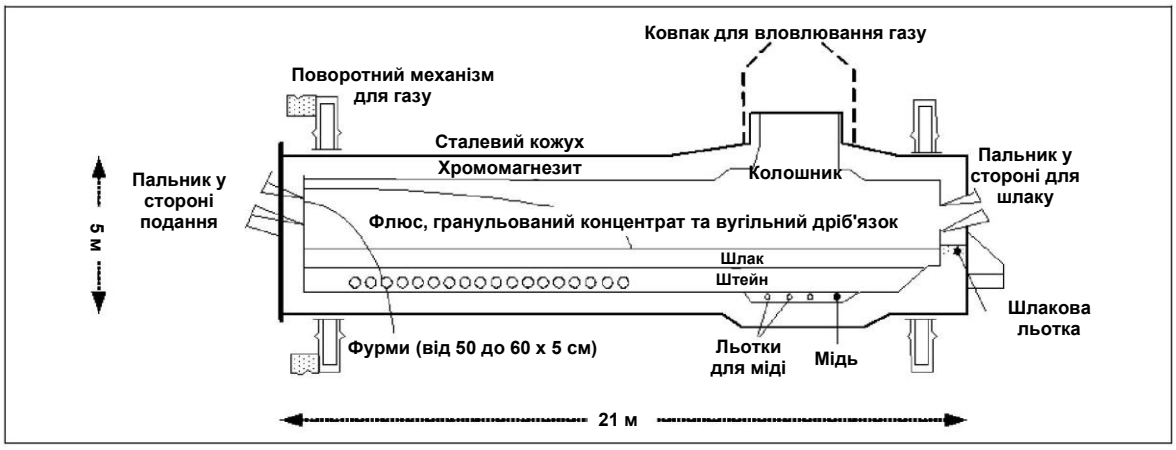


Рисунок 13.14: Реактор Noranda

У процесі безперервної виплавки в печі відбувається розділення розплаву на дві рідкі фази: шлак і штейн. Через різну густину вони осідають, утворюючи два шари. Штейн періодично випускають із дна печі, а шлак безперервно витікає у напрямку, протилежному потоку із завантажувальної сторони. Піч герметизована та обладнана витяжною системою, а жолоби забезпечені витяжкою.

Цей процес використовується для плавки мідних концентратів і може виробляти чорнову мідь, використовуючи концентрати з низьким вмістом домішок або високоякісний штейн. Звичайною виробничою практикою є отримання штейну з високим вмістом міді для подальшого конвертування.

Процеси El Teniente, Baiyin і Ванюкова подібні до процесу Noranda. У процесі El Teniente вологі концентрати додають до печі за допомогою пушки Gar, а сухі концентрати додають через фурми. Спочатку штейн поміщають у піч, щоб полегшити процес і отримати білий метал. Реактор El Teniente показаний на Рисунку 13.15. У процесі Baiyin використовується прямокутна піч, яка розділена на зони плавки та відстоювання. У процесі Ванюкова повітря, збагачене киснем, вдувається в шар шлаку, а не в шар штейну.

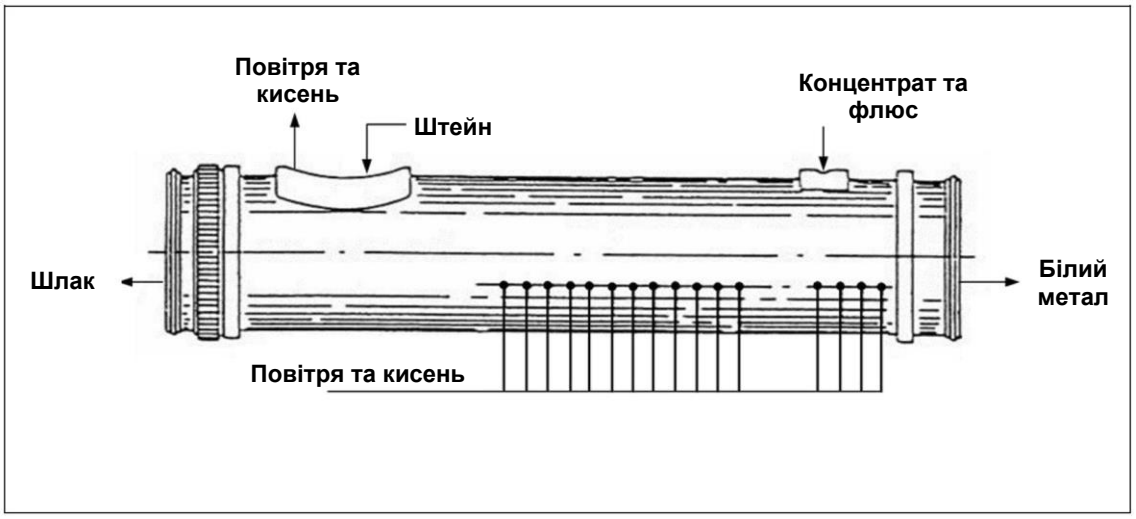


Рисунок 13.15: Реактор El Teniente

13.1.2.10 Процес Mitsubishi

У процесі Mitsubishi використовуються три з'єднані між собою печі; піч плавки у ванні, електрична піч для очищення шлаку та конвертерна піч. Самоплив використовується між печами та дозволяє уникнути переміщення у ковші. Усі печі герметизовані та обладнані витяжною системою, тепло від технологічних газів регенерується та обробляється для видалення пилу та діоксиду сірки. Піч показана на Рисунку 13.16.

Висушені концентрати, повітря, кисень і добавки завантажують у ванну піч за допомогою фурм і потім розплавляють з утворенням штейну (вміст міді 60–65 %) і шлаку. Ця суміш безперервно тече через канал в електричну подову піч, яка служить піччю для витримки для відділення шлаку. Штейн безперервно виводиться з печі для витримки через сифон у конвертерну піч.

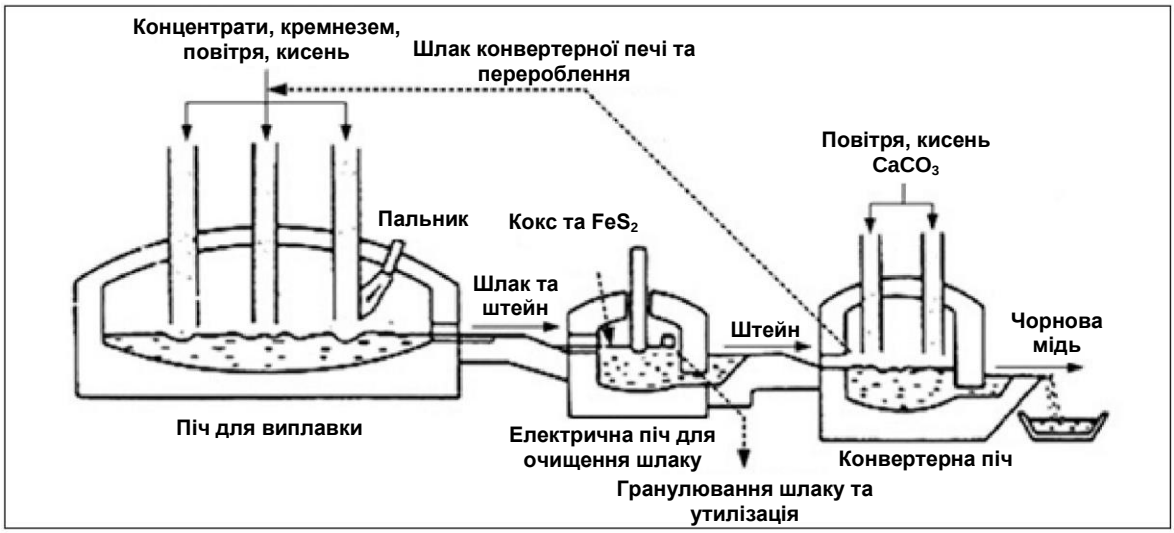


Рисунок 13.16: Процес Mitsubishi

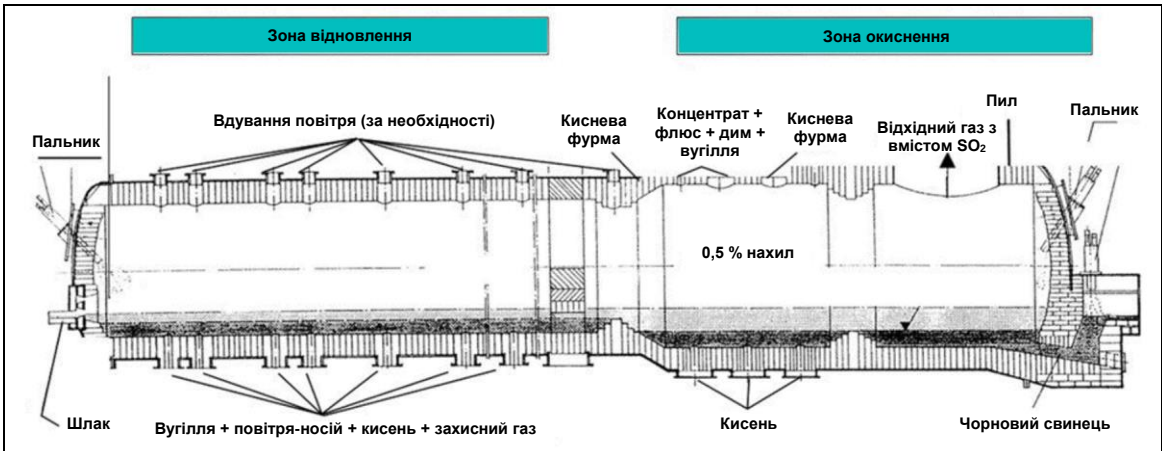
У повітрі конвертера кисень і добавки вдуваються у рідку ванну через фурми з водяним охолодженням для отримання чорнової міді. Конвертерні шлаки повертаються в плавильну піч, в яку можна подавати анодний скрап. Можливо, конвертерний етап можна використовувати з іншими плавильними печами. Цей процес безперервно виробляє чорнову мідь.

13.1.2.11 Піч QSL

Піч QSL є горизонтальним циліндром, розділеним на зону окиснення і зону відновлення. Піч футерована хромомагнезитовою цеглою, що витримує температуру 1250 °C. Фурми на дні печі подають кисень у зону окиснення та суміш повітря та вугільного пилу у зону відновлення шлаку. Використовується первинна і вторинна сировина, вона може бути вологою і мати розмір від великих шматків до дрібнодисперсного матеріалу. Її подають у верхню частину печі в суміші з вугіллям для забезпечення теплових та відновлювальних умов та флюсами для отримання шлаку з низькою температурою плавлення, який потім можна використовувати у якості будівельного матеріалу за умови контролю якості. Піч показана на Рисунку 13.17.

У зоні окиснення отримують чорновий свинець, діоксид сірки та шлак із високим вмістом свинцю. Він надходить у зону відновлення, щоб утворити більше чорнового свинцю, і він тече у напрямку, протилежному потоку зі свинцевої льотки. Шлак випускається з відновлювальної сторони, а потім гранулюється. Чорновий свинець випускається зі сторони окиснення, а потім рафінується. Ковпаки та покриття повністю закритого типу

видаляють гази з вихідних отворів та жолобів. Вихлопні гази містять 10–13 % SO_2 і використовуються для регенерації тепла, а потім очищаються від пилу в електростатичному фільтрі перед поданням на установку з виробництва сірчаної кислоти. Інші технологічні гази очищаються у тканинних фільтрах.



Джерело: [99, Hähre, S. 1998]

Рисунок 13.17: Піч QSL

Піч QSL була розроблена для виробництва свинцю з концентратів та деяких вторинних матеріалів у печі з однією ванною та для максимальної регенерації енергії.

13.1.2.12 Циклонна плавильна піч

Циклонні плавильні печі включають циклонний реактор з використанням відкритого полум'я (FCR (flame cyclone reactor) і реактор Contop. У цих високоінтенсивних процесах зваженої плавки мідні концентрати та флюси плавляться з киснем у камерах згорання циклонного типу. У процесі Contop циклон розташовується вертикально, і суміш, що прореагувала, потрапляє в відстійну камеру під циклоном. У процесі FCR спалювання відбувається у вертикальній реакційній шахті, а розділення штейну та шлаку відбувається у додатковому горизонтальному реакторі. Шлак та білий метал або штейн з високим вмістом міді розділяються у шахті та випускаються. Білий метал або штейн обробляються у стандартному конвертері. Піч показана на Рисунку 13.18.

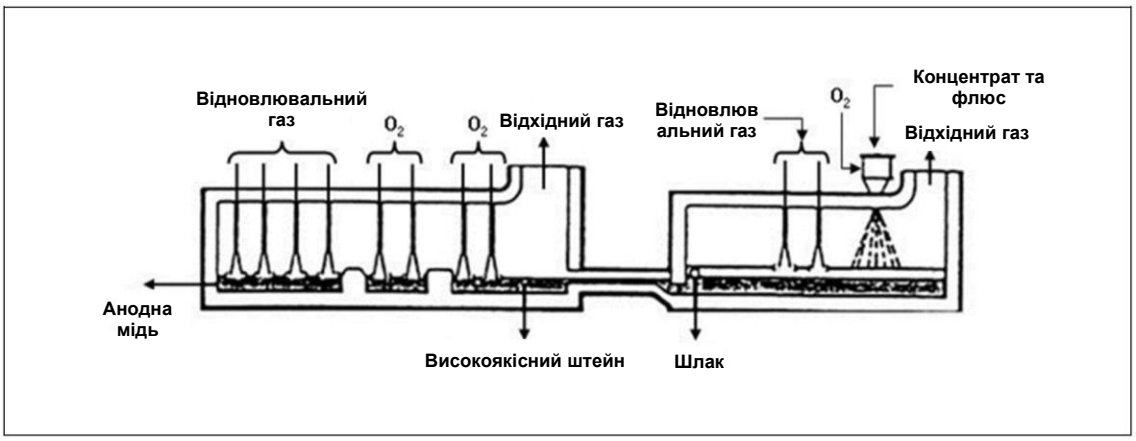


Рисунок 13.18: Процес Contop

Процес використовується переважно для плавки мідних концентратів.

13.1.2.13 Піч зваженої плавки Outotec

Піч зваженої плавки Outotec використовується для плавки сухих концентратів шляхом використання енергії, що міститься в концентратах, для виробництва тепла, необхідного для плавки концентратів та флюсу. Суміш вихідного концентрату безперервно подається з повітрям, збагаченим киснем, через пальник концентрату у вертикальну реакційну шахту герметизованої печі, де у зваженому стані швидко протікає реакція між киснем та концентратом. Теплота реакції плавить частки. Сплавлені частки утворюють штейн і шлак. У цьому процесі утворюється діоксид сірки. У старіших установках для досягнення автогенної роботи використовувалося підігрівання технологічного повітря приблизно до 200–800 °C, але в сьогодні більшість установок досягають автогенної роботи шляхом збагачення технологічного повітря киснем приблизно до 30–90 % кисню. Ступінь збагачення киснем визначається якістю концентрату та вимогами до теплового балансу. Безперервний потік відхідних газів виходить з печі через шахту аптейку для регенерації тепла і видалення пилу. Він має високу постійну концентрацію діоксиду сірки, і сірка вилучається з газу переважно шляхом перетворення на сірчану кислоту після видалення пилу. У деяких установках до шахти аптейку для допалювання пилу додається кисень, а в котел подається сульфатувальне повітря. Слабку кислоту можна рециркулювати в шахту аптейку за певних умов, щоб розкласти її, щоб SO_2, що утворився, можна було відновити на кислотній установці.

Розплавлений шлак і частки штейну відокремлюються від газу в горизонтальному відстійнику печі, утворюючи ванну розплаву, в якій фази розділяються без зовнішнього відстійника. Штейн випускається з печі в ковші або прямує через жолоб на етап гранулювання залежно від методу перетворення, що використовується. Шлак безперервно або напівбезперервно випускається з печі та може бути додатково оброблений у шлаковій печі або циклі флотації шлаку для вилучення міді. У деяких установках низький вміст міді в шлаку, отриманому на заводі з виплавки первинного металу, дозволяє викидати або використовувати шлак безпосередньо.

Піч зваженої плавки Outotec показана на Рисунку 13.19.

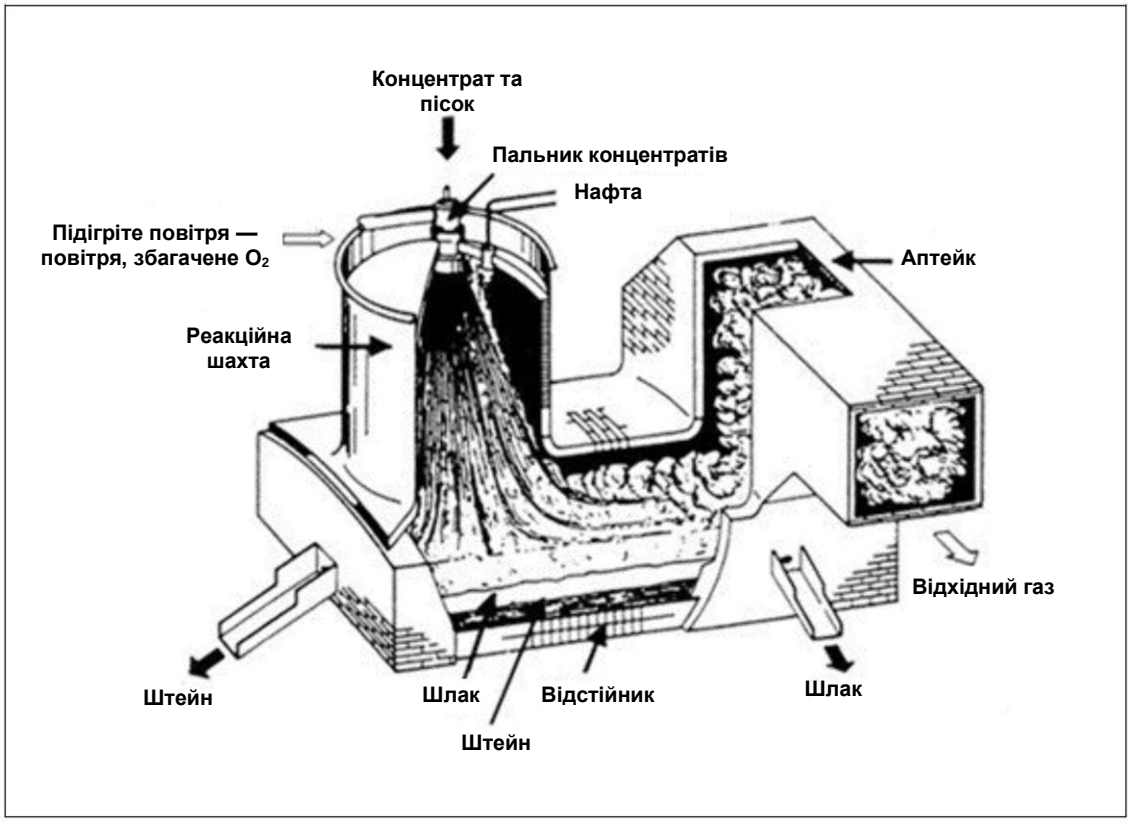


Рисунок 13.19: Піч зваженої плавки Outotec

Піч зваженої плавки створено для виробництва мідного та нікелевого штейну. Піч виробляє високоякісний штейн, тому основна частина сірки в концентраті виділяється в газах процесу виплавки та дозволяє в процесі конвертування (наприклад, в конвертері Пірса-Сміта періодичної дії) легше видалити сірку, що залишилася.

Цей процес також використовується для виробництва чорнової міді безпосередньо з відповідних концентратів з низьким вмістом заліза, що дозволяє уникнути необхідності у звичайному конвертері, який би утворював додаткову кількість діоксиду сірки. У цьому процесі прямої виплавки чорнової міді шлак з печі містить високу концентрацію міді, тому очищення шлаку для видалення цієї міді є важливою частиною процесу.

Піч використовується в демонстраційних масштабах для виробництва свинцевих виливків, для плавки піриту і для випарювання відходів ярозиту.

Цей самий тип печі також використовується в процесі зваженого конвертування для перетворення подрібненого гранульованого штейну в чорнову мідь. Цей процес має спільні риси з процесом зваженої плавки, тобто автогенний режим роботи з повітрям, збагаченим киснем, і безперервним потоком відхідного газу з високим вмістом діоксиду сірки.

13.1.2.14 Піч INCO

INCO є піччю зваженої плавки, подібною до печі зваженої плавки Outotec, але в ній використовується чистий кисень для роботи в автогенному режимі. Концентрат мідної руди, змішаний зі шлакоутворювальними речовинами, вдувається в піч горизонтально з обох кінців, а відхідні гази збираються в центрі печі.

Піч зваженої INCO показана на Рисунку 13.20.

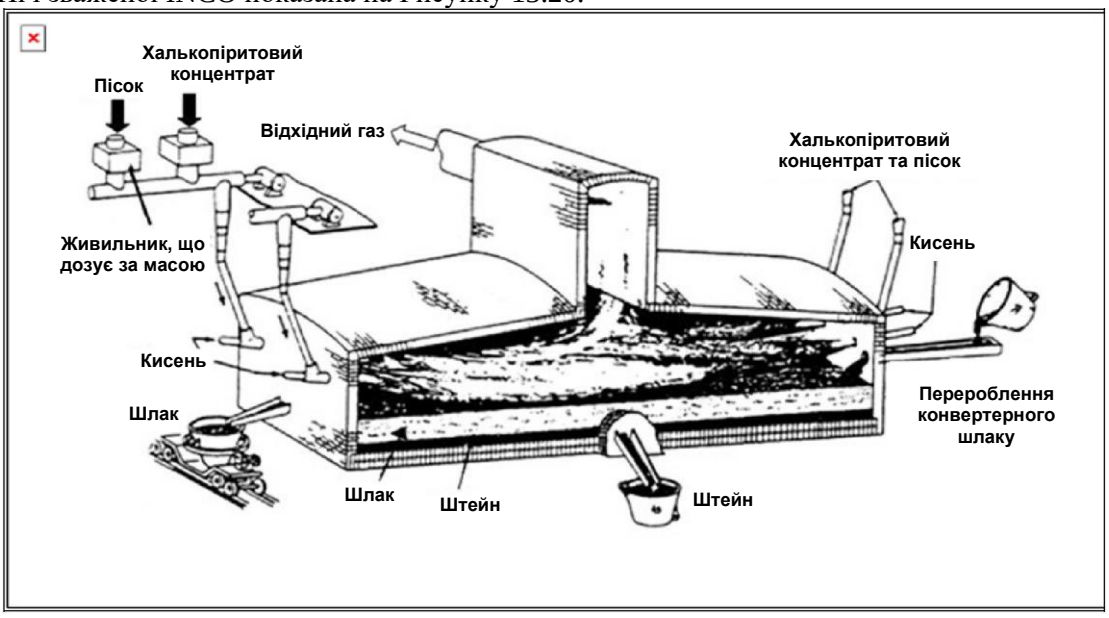


Рисунок 13.20: Піч INCO

Концентрати випалюються і плавляться у завислому стані в печі та падають у відстійник так само як і в печі зваженої плавки Outotec. Тепла, що виділяється під час випалювання, достатньо для автотермічного процесу плавки. Шлак із середнім вмістом міді безперервно витікає з одного боку печі, а штейн періодично випускається в центрі однієї бічної стінки. Відпрацьований газ містить до 75 % SO_2.

13.1.2.15 Піч Kivcet (KSS)

Піч Kivcet — це піч зваженої плавки, подібна печі зваженої плавки Outotec. Сухі та усереднені компоненти шихти та кисень безперервно подаються через пальники у верхній частині до шахти окиснення. Одночасно додається коксовий дріб'язок. Піч показана на Рисунку 13.21.

На вході в реакційну шахту шихта запалюється, досягається температура до 1400 °C і одразу відбувається повна десульфуризація. Коксовий дріб'язок нагрівається лише тоді, коли він падає у шахту. Кокс випливає у шлаковій ванні та відновлює оксид свинцю. Частково відновлений шлак та чорновий метал перетікають під зануреною роздільною перегородкою у відновлювальну секцію печі, яка обігрівається за допомогою електроенергії та куди для остаточного відновлення додається додатковий кокс або вугілля.

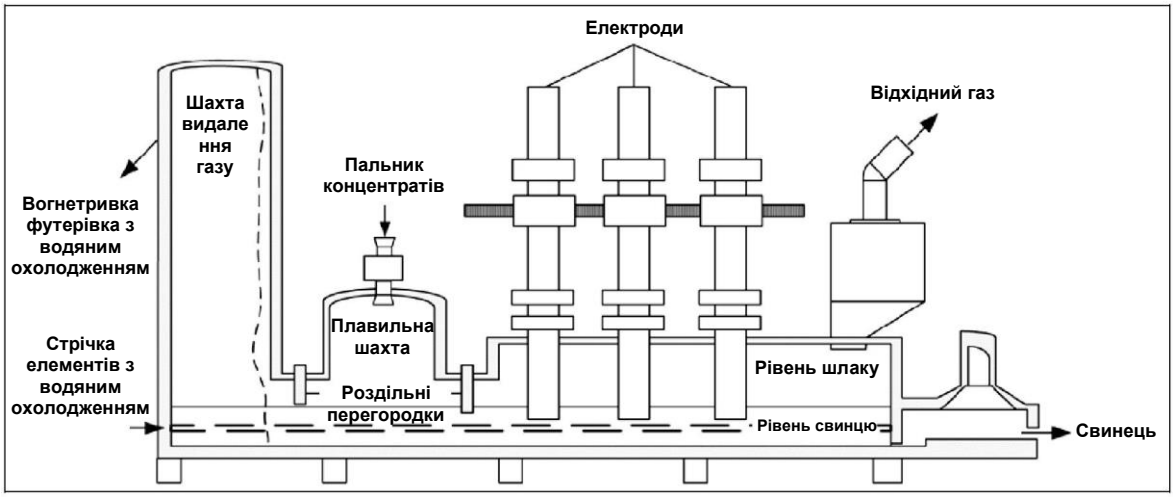


Рисунок 13.21: Піч Kivcet

Чорновий свинець відправляється на рафінування, шлак може бути спрямований у вельц-піч, а димовий пил від окиснення спрямовується безпосередньо назад у піч. Цей процес також використовується для виробництва міді. Димовий пил з етапу відновлення обробляється печі ISF.

13.1.3 Конвертери

13.1.3.1 Конвертер Пірса-Сміта

Конвертери Пірса-Сміта (PSC) працюють у режимі періодичної дії та використовують фурми для вдування повітря або кисню в штейн, щоб він вступав у реакцію у два етапи з утворенням чорнової міді або високоякісного нікелевого штейну та шлаку. Вони також використовуються для рафінування феронікелю та виробництва деяких оксидів металів. Також можна використовувати автоматизований контроль якості шлаку [329, Magnus and Olsson 2007]. Це, безумовно, найчастіше використовуваний конвертер, і він показаний на Рисунку 13.22.

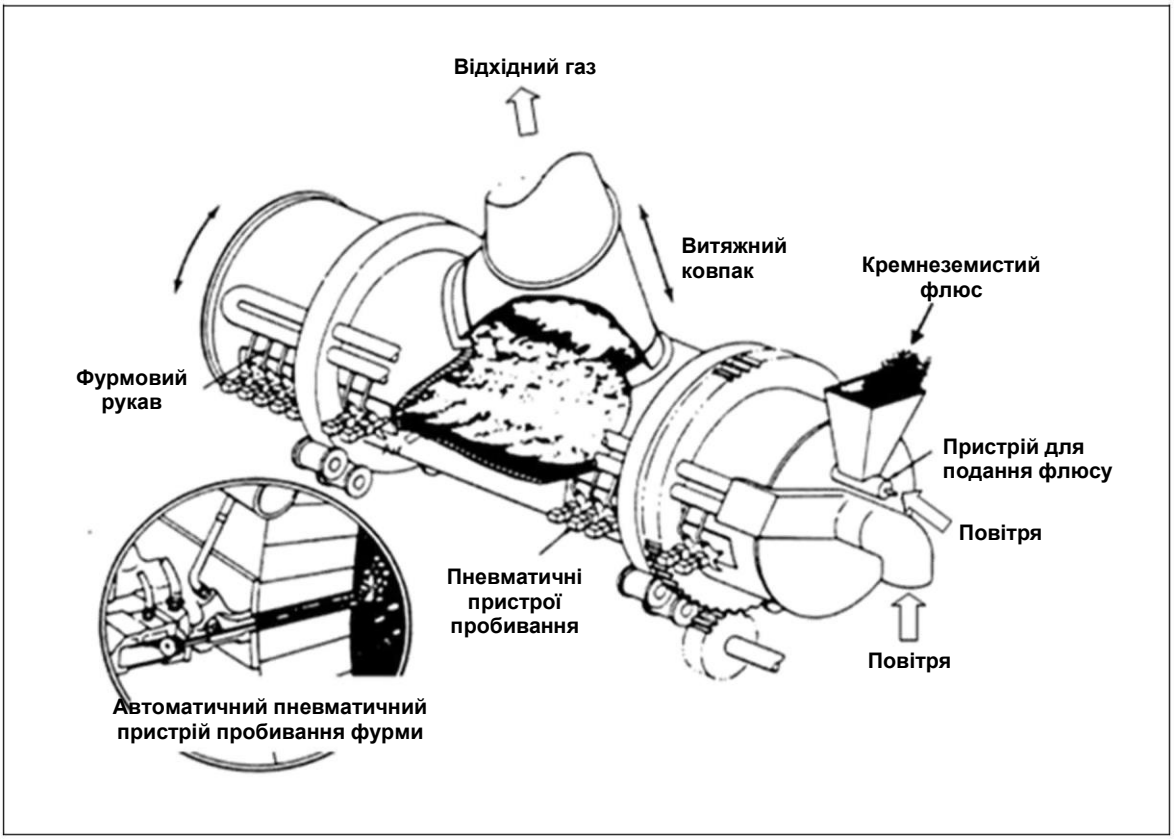


Рисунок 13.22: Конвертер Пірса-Сміта

Конвертер також можна використовувати у трьох різних типах режимів роботи конвертера та як анодну піч:

а) Конвертер для штейну

Великі обсяги гарячих газів утворюються під час періодів продування і вловлюються ковпаками над устям конвертора. Простір між корпусом конвертора і ковпаком забезпечує доступ до повітря другого контуру, що спричиняє розбавлення відпрацьованих газів з високим вмістом SO_2. Концентрація SO_2 варіюється в залежності від технологічного циклу. Під час початкового продування концентрації SO_2 можуть значно перевищувати 10 %. Проте, під час наступного періоду продування та коли конвертер відвертається від ковпака, концентрації SO_2 значно нижчі та часто нульові. Різна концентрація SO_2 не забезпечує надання задовільної сировини для кислотної установки, що потребує відносно стабільного потоку. На установках із багатьма конвертерами це долається за допомогою розробки плану роботи конвертера для досягнення відносно стабільного потоку. Гази також можна змішувати з набагато стабільнішими плавильними газами. Використання кисню для збагачення повітря дуття також підвищить вміст SO_2; проте збагачення обмежене через зношування вогнетривів, що швидко зростає. Зараз на деяких заводах використовуються ковпаки з водяним охолодженням.

У конвертер через ковші завантажують рідкий штейн, а шлаки, що утворюються під час конвертування штейну, і отриману чорнову мідь потім зливають у ковші з конвертера. Під час цих процесів випускання виділяються дифузні викиди. Використання додаткових установок для видалення диму (наприклад, вторинних ковпаків та повітряних завіс) та контроль положення конвертера для запобігання витоку під час відхилення конвертера може зменшити ці викиди. Застосовуються також системи завантаження через ковпак та фурму, що дозволяє не завжди відхиляти конвертер від ковпака під час завантаження металевого брухту та флюсів.

b) Конвертер для брухту

У плавленні вторинної міді конвертери (Пірса-Сміта) поділяються на конвертери для брухту та конвертери для штейну — обидва працюють у режимі періодичної дії. Конвертери для брухту використовують кокс та матеріали, з високим вмістом заліза у якості палива та відновників відповідно. У конвертерах для штейну як джерело енергії використовується сірка, що міститься в штейні. До сировинних матеріалів для конвертерів для брухту належать брухт сплавів, відповідний брухт Cu-Fe, а також (переважно рідка) чорнова мідь. Конвертер для штейну обробляє рідкий мідно-свинцевий штейн і оборотні шлаки, що містять мідь, у деяких випадках разом із чорної міддю, з додаванням твердого мідного брухту. Відхідні гази конвертера для штейну містять високі концентрації SO_2 і спрямовуються у контактну установку для виробництва сірчаної кислоти. Ось чому конвертери для штейну для вилучення вторинної міді переважно встановлюються на об'єктах виробництва первинної міді, оскільки вони обладнані установками з виробництва сірчаної кислоти.

c) Конвертер для сплавів

У процесі прямої виплавки чорнової міді в печі зваженої плавки утворюється шлак, який обробляється в електричній печі для отримання сплаву свинцю, заліза та міді. Цей сплав конвертується за допомогою періодичного процесу, в якому окиснене залізо та свинець переходять у шлакову фазу, та виробляється чорнова мідь.

d) Анодна піч

Конвертери Пірса-Сміта (PSC) також використовується як анодна піч, де рафінуються чорнова або чорна мідь, вироблена конвертером. У цих печах використовуються фурми для подальшого продування повітрям з подальшим додаванням відновника (зазвичай природного газу або пропану) для видалення останніх слідів сірки, а потім конвертування оксиду міді у мідь.

13.1.3.2 Конвертер Hoboken

Конвертер Hoboken працює за тим же принципом продування, що і конвертер Пірса-Сміта, але дозволяє уникнути викиду великих обсягів газу, який зазвичай відбувається, коли конвертер нахиляється для завантаження та випускання шлаку та чорнової міді.

Вихідний газ всмоктується через газовідвід у кінці конвертера. Сифон мінімізує витік газу на всіх етапах роботи. Конвертер завантажується через невеликий отвір у верхній частині корпусу, тому завантаження можливе під час продування без нахилу конвертера через меншу тривалість процесу. Розведення відпрацьованих газів внаслідок проникнення повітря невелике, тому стабільна середня концентрація SO_2 вища, ніж для конвертера Пірса-Сміта. Проте, концентрація SO_2 все одно змінюватиметься протягом усього циклу. Кінцевим результатом є менша втрата SO_2 з конвертера. Менший отвір, що використовується для завантаження, може викликати проблеми через накопичення шлаку.

Конвертер Hoboken показаний на Рисунку 13.23.

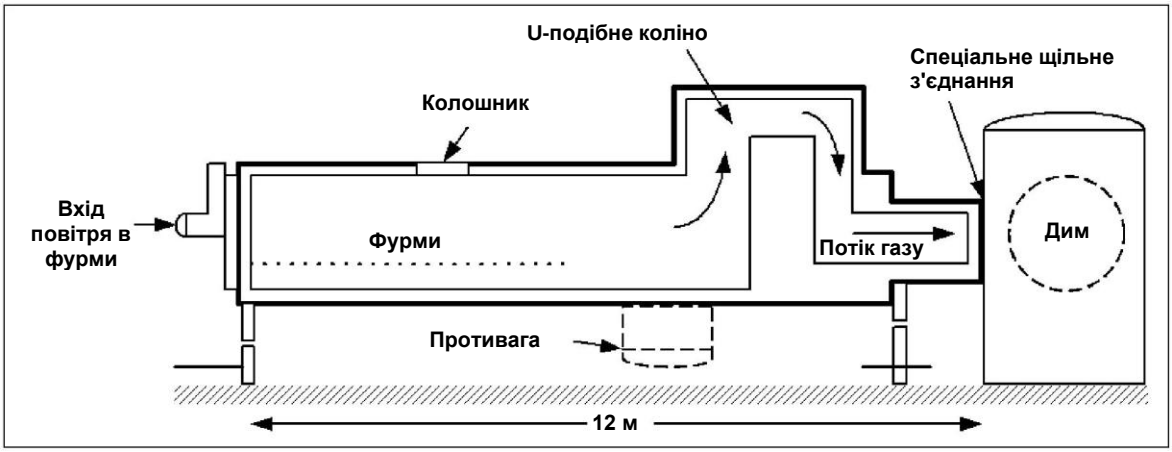


Рисунок 13.23: Конвертер Hoboken

13.1.3.3 Конвертер зваженої плавки Kennecott-Outotec

Також використовується конвертер зваженої плавки Kennecott-Outotec, який був розроблений після написання ДДНДТ для підприємств кольорової металургії 2001 року. Одна установка експлуатується в США і дві в Китаї (кожна виробляє близько 400 000 тонн міді на рік). Четверта установка будується у Китаї. В цьому випадку в якості сировини використовується подрібнений штейн, отриманий у печі зваженої плавки. Етап конвертування Mitsubishi та конвертер зваженої плавки є єдиними конверторами безперервної дії у металургії.

13.1.3.4 Інші конвертери

У якості конвертерів також використовуються піч Ausmelt/ISASMELT, конвертер TBRC, етап конвертування процесу Mitsubishi та реактор Noranda. У цих печах у якості сировини використовується розплавлений штейн, і деякі з них можуть працювати у режимі безперервної дії. Конвертер OBM використовується для феронікелю.

Конвертер AOD використовується для виробництва феромарганцю з використанням кисню для зневуглецювання та аргону для дегазації так само як і в сталеливарній промисловості [243, France 2008]

13.1.4 Печі для плавлення та рафінування

13.1.4.1 Індукційні печі

Індукційні печі це прості тиглі або канали, які нагріваються зовнішньою електричною котушкою. Канальні індукційні печі використовуються переважно для плавлення одиниць великих розмірів. В одному випадку канальна піч використовується для плавлення алюмінієвих банок.

Дві індукційні печі показані на Рисунку 13.24.

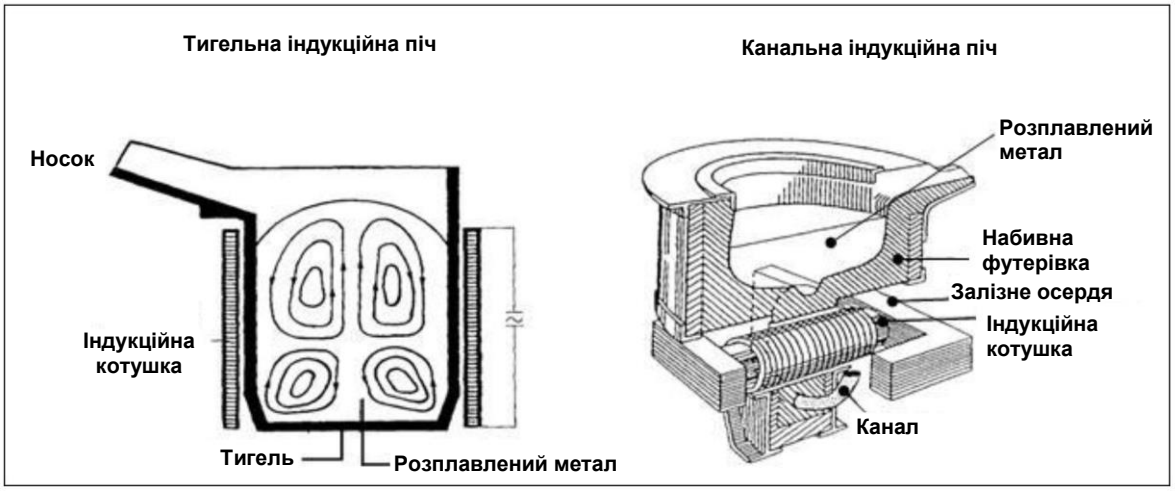


Рисунок 13.24: Індукційні печі

У металі, завантаженому в піч, індукується струм і виділяється тепло. Печі обладнані витяжними ковпаками для видалення пилу і системою зниження викидів пилу, які можна використовувати під час операцій видалення дросу та розливання. Доступ до індукційної печі для завантаження та випускання означає, що часто використовується система рухомих витяжок. Витяжки є надійними, тому вони можуть витримувати деяке механічне навантаження. У якості альтернативи використовується ефективна нерухома витяжна система або витяжна система з ущільнювальними манжетами.

Ефективність цієї печі може бути низькою для деяких матеріалів, але може бути збільшена, особливо якщо сировина невелика. Великі одиниці можна розрізати для підвищення ефективності, а також для правильного використання ковпаків для вловлювання диму. Деякі безперервні процеси зберігають дзеркало розплавленого металу на дні печі між завантаженнями, якщо це дозволяє операція.

Ці печі використовуються для плавки невеликої потужності до 30 тонн, зазвичай для міді, латуні, цинку та алюмінію. Вони також можуть працювати у вакуумі, наприклад, під час плавлення суперсплавів, високолегованої сталі та чистих металів, а в деяких випадках і для дистилювання металів. Температура печі може бути регульована автоматично, щоб мінімізувати утворення диму під час плавлення летких металів або металів, здатних до окиснення, таких як цинк або сплавів, що містять цинк.

Ці печі також використовуються для витримки розплавленого металу для легування та лиття. Індукований у цих печах струм викликає електромагнітне перемішування металу, що сприяє перемішуванню шихти та будь-яких легувальних матеріалів, що додаються.

13.1.4.2 Котли з непрямим нагрівом

Котли з непрямим нагрівом — це прості тиглі, які нагріваються ззовні газоподібними продуктами згорання від спалювання газу або нафти, за допомогою електроенергії або, для нижчих температур, термальною рідиною. Контакту з відкритим полум'ям уникають, щоб

запобігти появі локальних зон перегрівання біля основи тигля, і можна підтримувати належний контроль температури в розплаві, щоб запобігти окисненню та випаровуванню металу.

Ці котли використовуються переважно для плавлення нечистого свинцю та свинцевих сплавів, а також цинку та його сплавів, які не містять пластмаси або інших органічних матеріалів.

13.1.4.3 Шахтні печі для плавлення металу

Шахтні печі — це прості вертикальні печі зі збірним подом (всередині або зовні печі) і системою завантаження матеріалу у верхній частині. Шахтні печі можуть застосовуватись як для плавлення металів, так і для виробництва металів від відновлення інших металовмісних сполук. Якщо використовується для плавлення металу, у нижній частині є система пальників. Пальники зазвичай працюють на газі та призначені для створення атмосфери або окиснення, або відновлення. Це дозволяє плавити метал із окисненням або без нього. Для кожного пальника зазвичай передбачений індивідуальний контроль співвідношення палива та повітря. Безперервний моніторинг CO або водню також призначений для кожного ряду пальників та контролює газоподібні продукти згорання від кожного пальника по черзі. Газоподібні продукти згорання зазвичай видаляються та очищаються.

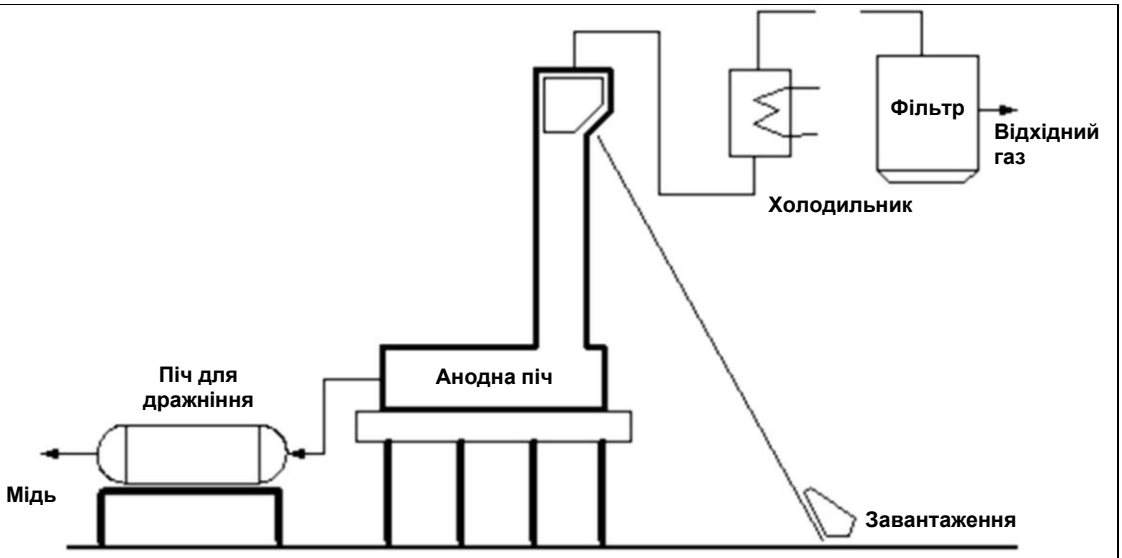
Якщо в піч подається забруднений маслом метал, він проходить через температурний градієнт, що існує між зоною завантаження і пальниками. Низька температура може призвести до утворення туману з частково спаленого органічного матеріалу.

У разі використання для виробництва металів від відновлення металовмісних сполук сировинний матеріал часто включатиме такі матеріали, як брухт свинцево-кислотних акумуляторів. Потім цю сировину змішують з коксом, флюсами, іншим металевим брухтом та проміжними продуктами перед поданням у верхню частину печі. У нижній частині печі всередину вдувається повітря, збагачене киснем, для спалювання коксу, а також для виплавки та відновлення металів у сировинному матеріалі. Відхідні гази з печі видаляються та обробляються в допалювачі для розкладання будь-якого залишкового чадного газу, масла, ЛОС або ПХДД/Ф. Шахтна піч є енергоефективною, оскільки вона підігріває шихтовий матеріал перед надходженням до гарячої зони плавки/відновлення.

13.1.4.4 Процес Contimelt

Процес Contimelt передбачає дві з'єднані між собою печі, подову шахтну піч і барабанну піч (або для дражніння). Перша є вертикальною прямокутною піччю з горизонтальною збірною камерою, в яку подається чорнова або чорна мідь та інша сировина. Киснево-газові пальники подають тепло, і сировина розплавляється з отриманням міді вогняного рафінування та невеликої кількості шлаку, що відокремлюються.

Процес Contimelt показаний на Рисунку 13.25.



Джерело: [121, Rentz, O. et al. 1999]

Рисунок 13.25: Процес Contimelt

Розплавлена мідь проходить через сифон та жолоб у горизонтальну циліндричну піч, де вона розкислюється за допомогою природного газу. Потім рафіновану мідь відливають в аноди. Потім рафіновану мідь відливають в аноди. Гази з другої печі надходять у допалювач. Потім вони об'єднуються з газами, видаленими з першої печі, і надходять у котел-утилізатор, підігрівач повітря для пальника, етап охолодження і, нарешті, тканинний фільтр.

Умовами експлуатації печі можна керувати, щоб мінімізувати окиснення металу. Конструкція дозволяє регенерувати тепло шляхом утворення пари або підігрівання шихти.

Це безперервний двоетапний процес для плавлення та обробки чорної та чорнової міді, високосортного мідного брухту та анодного скрапу для виробництва мідних анодів. Аналогічною розробкою в алюмінієвій промисловості є Meltower [113, ALFED 1998]. Цей процес використовує вертикальну плавильну колону і передбачає підігрівання шихти за допомогою гарячих вихлопних газів.

13.1.4.5 Електронно-променеві печі

Дуже високі температури плавлення тугоплавких металів, таких як вольфрам та молібден, тантал або ніобій, не дозволяють плавити їх у звичайній плавильній печі. Для металів з високою температурою плавлення була розроблена електронно-променева піч, що використовує прискорені електрони як джерело енергії для передачі їх енергії в шихту печі. Електронно-променева плавильна піч використовується для виробництва металів високої чистоти. Можливість виплавляти метали високої чистоти обумовлена ідеально чистим високотемпературним джерелом тепла (електрони) і мідним подом з водяним охолодженням. Розплавлений метал застигає на міді, отже розплав контактує лише з власним твердим станом. Електронно-променеве плавлення і рафінування — це твердо усталений процес виробництва надчистих тугоплавких металів.

13.1.4.6 Обертова піч

Обертова піч — це обертовий циліндр з вогнетривкою футерівкою, обладнаний пальником на одному кінці. На одному кінці передбачені завантажувальне вікно, і іноді в них може бути поміщений пальник. Можна використовувати киснево-паливне спалювання. Печі можуть бути довготривалої або прискореної дії, існує кілька варіантів:

- обертова піч прискореної дії для плавки вторинного свинцю, дорогоцінних металів тощо;
- обертова піч довготривалої дії для плавки та відновлення алюмінієвого брухту тощо;

- Піч Thomas для плавки та рафінування мідного брухту тощо;
- обертова піч із зануреними фурмами для рафінування чорнової або чорної міді, очищення шлаку тощо;
- нахильна обертова піч для плавки та відновлення алюмінієвого брухту, свинцю, дросу тощо;
- обертова піч/піч, що гойдається, також іменована піччю Doerschel, яка використовується для виплавки вторинного свинцю.

Обертання печі можна змінювати, щоб забезпечити повну реакцію матеріалу, що завантажується, і високу ефективність. Сировина зазвичай завантажується через торцеве вікно; воно зазвичай закрите та обладнано витяжною системою для запобігання викидам диму. У печах використовують рідке або газове паливо, і зазвичай використовуються кисневі пальники. Тепло від пальника передається вогнетривкій стіні, і шихта нагрівається вогнетривом під час обертання.

Шлак і метал, що утворюються в процесі, можна випускатися через льотку в стороні вікна або в середині печі. Льотка орієнтується частковим обертанням печі для підтримання розділення металу та шлаку. Вистукування зі сторони вікна дозволяє вловлювати дим з єдиного корпусу та витяжної системи. Також використовуються нахильні обертові печі, вони демонструють підвищений ступінь вилучення для деяких видів сировини та меншою мірою залежать від флюсів. У цих печах можна виплавляти чи плавити різні метали.

13.1.4.7 Відбивні (із закритим колодязем) печі

Відбивні печі використовуються для періодичного плавлення, рафінування та витримки різних металів, зокрема алюмінію. Це прямокутні або кільцеві ванні печі з вогнетривкою футерівкою, що працюють з пальниками, встановленими на стіні або склепінні. Вони часто експлуатуються у різних конфігураціях, іноді з похилим подом, де можна розміщувати змішані металеві предмети, а алюміній відокремлюється від інших металевих компонентів, таких як залізо, для запобігання забрудненню партії алюмінію. Вони також можуть відрізнятися кількістю колодязів або камер, що використовуються [234, UBA (D) 2007].

Використовуються різні види палива, і для збільшення швидкості плавлення можна використовувати киснево-паливні пальники. Використовується видалення та очищення газоподібних продуктів згорання, а печі частково герметизовані. Ковпаки та криті жолоби забезпечують витяжку під час випускання та завантаження. Шлак або дрос можна видалити шляхом очищення скребком або випускання.

Багато конструкцій мають великі оглядові вікна, які дозволяють завантажувати великі предмети. Це створює проблему герметизації та вилучення під час завантаження. Водяне охолодження вікон може зменшити цю проблему завдяки зменшенню деформування вікон. Використовуються герметизовані завантажувальні візки, а для концентратів можуть використовуватися завантажувальні труби. Аналогічним чином на герметичність вікна може вплинути неправильне завантаження матеріалу в піч. У деяких випадках розлитий метал або шлак можуть затвердіти в отворі, а в інших випадках дріт або кабель можуть завадити правильному зачиненню вікна.

Ефективність плавлення відбивної печі зазвичай невисока через погану передачу тепла від пальника. На практиці ефективність була підвищена шляхом збагачення киснем або використання комбінації газу та твердого палива для збільшення довжини полум'я. Використання регенеративних пальників значно знижує споживання енергії. Перемішування вмісту за допомогою електромагнітних систем або насосів також допоможе підвищити ефективність. Насосні системи можуть експлуатуватися з бічним колодязем, щоб забезпечити плавлення дрібнодисперсних часток металу з мінімальним окисненням. Застосування відбивної (ванної) печі для плавлення описано в Додатку 13.1.2.1.

13.1.5 Короткий огляд печей загального користування

Печі, що використовуються в цих промислових галузях, наведені у Таблиці 13.2, Таблиці 13.3 та Таблиці 13.4.

Таблиця 13.2: Печі для сушіння, випалювання, спікання та обпалювання

Піч	Використовувані метали	Використовувані матеріали	Коментар
Сушарка з паровим змійовиком Сушарка з псевдозрідженим шаром Труба-сушарка	Мідь та деякі інші	Концентрати	
Обертова піч (для сушіння, обпалювання)	Більшість металів для сушіння; Випарювання ZnO; Обпалювання глинозему, нікелю та феросплавів; Випалювання плівки для дорогоцінних металів; Знемаслювання міді та алюмінієвого брухту Видалення ртуті з осадів від очищення газу.	Руди, концентрати та різний брухт та залишки	Сушіння, обпалювання та випарювання
Шахтна	Феросплави (FeCr)	Кускова шихта печі	Сушіння, видалення летких речовин та підігрівання шихти печі
Реактор з псевдозрідженим шаром	Мідь, нікель, кобальт, дорогоцінні метали, цинк та Al_2O_3	Концентрати та $Al(OH)_3$	Обпалювання та випалювання
Агломераційна машина з висхідним потоком	Цинк та свинець	Концентрати та інша вторинна сировина	Спікання
Агломераційна машина з низхідним потоком	Цинк та свинець	Концентрати та інша вторинна сировина	Спікання
Агломераційній машині зі сталевою стрічкою	Феросплави, марганець, хром та ніобій	Концентрати та дрібнодисперсна фракція	Можливі інші галузі застосування
Агломераційна машина з рухомим колосником	Феросплави	Марганцева дрібна фракція	Спікання
Піч Херрешоффа	Тугоплавкі метали та молібден	Руди та концентрати	Випалювання, обпалювання

Таблиця 13.3: Печі виплавки та конвертування

Піч	Використовувані метали	Використовувані матеріали	Коментар
Закриті тиглі з вогнетривкою футерівкою	Тугоплавкі метали та спеціальні феросплави	Оксиди металів	
З відкритою шахтою	Тугоплавкі метали та спеціальні феросплави	Оксиди металів	
Штовхальна піч	Тугоплавкі метали	Оксиди	
Піч періодичної дії	Тугоплавкі метали	Метали	
Вакуумна піч	Свинець, олово та тугоплавкі метали	Вторинна сировина, вуглець	
Baiyin	Мідь	Концентрати	
Дугова електропіч	Феросплави	Концентрати, руди, вторинні матеріали	
Contop/циклонна піч	Мідь	Концентрати, руди	
Піч з зануреною дугою	Дорогоцінні метали, мідь та феросплави	Шлак, вторинні матеріали, концентрати, руди	Для виробництва феросплавів використовуються відкриті, напівзакриті та закриті типи.
Обертова піч	Алюміній, свинець та дорогоцінні метали	Брухт та інша вторинна сировина	Окиснення та реакція з субстратом
Нахильна обертова піч	Алюміній, свинець	Брухт та інша вторинна сировина Димовий пил, що містить свинець, та вторинний матеріал	Мінімізує використання сольового флюсу. Димовий пил від виробництва первинної міді. Відновлення акумуляторів
Обертова піч/піч, що гойдається	Свинець	Виплавка вторинного свинцю	Також іменовано піччю Doerschel
Відбивна та подова/із закритим колодязем	Алюміній, мідь, свинець та інші	Брухт та інша вторинна сировина	Виплавка матеріалу з оксиду міді, рафінування
Ванюкова	Мідь	Концентрати	
Ausmelt/ISASMELT/KRS	Мідь та свинець	Проміжні продукти, концентрати та інша вторинна сировина	
QSL	Свинець	Концентрати та інша вторинна сировина	
Kivcet	Свинець і мідь	Концентрати та інша вторинна сировина	
Noranda	Мідь	Концентрати	
El Teniente	Мідь	Концентрати	
Обертовий конвертер з верхнім дуттям (TBRC) (KALDO) і нахильна обертова киснево-паливна піч (TROF)	Мідь, свинець, олово та дорогоцінні метали	Більшість видів вторинної сировини, в тому числі шлами	
Мателоплавильна міні-піч	Мідь/свинець/олово	Брухт	
Доменна та ISF	Свинець, свинцево-мідний сплав, дорогоцінні метали, HC FeMn	Концентрати, більшість видів вторинної сировини	
Зваженої плавки INCO	Мідь та нікель	Концентрати	
Піч зваженої плавки Outotec	Мідь та нікель	Концентрати	
Процес Mitsubishi	Мідь	Концентрати та анодний скрап	
Пірса-Сміта	Виробництво міді (конвертерної), феросплавів, оксидів металу	Штейн та анодний скрап	
Hoboken	Мідь (конвертерна)	Штейн та анодний скрап	

Конвертер зваженої плавки Outotec	Мідь (конвертерна)	Штейн	
Noranda	Мідь (конвертерна)	Штейн	
Mitsubishi	Мідь (конвертерна)	Штейн	

Таблиця 13.4: Печі для плавлення

Піч	Використовувані метали	Використовувані матеріали	Коментар
Індукційна	Більшість	Чистий метал та брухт	Індуковане перемішування сприяє легуванню. Для деяких металів може застосовуватись вакуум
Електронно-променева	Тугоплавкі метали	Чистий метал та брухт	
Обертова піч	Алюміній та свинець	Різні сорти брухту	Флюси та солі використовуються для комплексних складів
Відбивна піч (також відома як подова або із закритим колодязем)	Алюміній (первинний та вторинний)	Різні сорти брухту. (Для дрібнодисперсних металевих часток можна використовувати додатковий бічний колодязь)	Конфігурація ванни або поду можуть відрізнятися. Плавлення або витримка металу
Contimelt	Мідь		Інтегрована система печі
Шахтна	Мідь	Мідний катод та чистий брухт	Відновлювальні умови
Барабанна (Thomas)	Мідь	Чистий мідний брухт	Плавлення та вогняне рафінування
Тиглі з нагрівом (котли з непрямим нагрівом)	Свинець і цинк	Чистий брухт та сировина	Плавлення, рафінування та легування
Тиглі з прямим нагрівом	Дорогоцінні метали	Чистий метал	Плавлення та легування
Піч з зануреною дугою	Феросплави (FeCr, FeMn, SiMn)	Кускова руда, котуни, спік, шлак та вторинні матеріали	

13.1.6 Електрохімічні процеси

13.1.6.1 Електровідновлення

В електровідновленні використовується електролітична камера, що складається з інертного анода зі свинцю або титану та катода, поміщених у водний електроліт, що містить розчин металу. Катод є або тонкою основою з чистого металу (матриця), або формоутворювальним листом з неіржавкої сталі або алюмінію (постійна катодна пластина). Іони металів виходять із розчину та осаджуються на катоді, а на аноді утворюються гази, такі як хлор або кисень. Хлор збирається в герметичному анодному відділенні, але кисень зазвичай виділяється і може захопити частину електроліту та утворювати кислотний туман, який, можливо, потрібно буде вловити та повернути в процес. Для запобігання потраплянню туману у робоче місце або в довкілля необхідні ковпаки та обладнання для очищення газів або використання гранул або піноутворювальних агентів. Відпрацьований електроліт зазвичай повертається у процес.

Таким чином виробляється мідь, кобальт, нікель, олово, цинк та дорогоцінні метали. У випадку використання постійних катодних пластин відкладення чистого металу можна обідрати або зіскребти, розплавити та відлити у потрібну форму.

13.1.6.2 Електролітичне рафінування

У електролітичному рафінуванні використовують електролітичну камеру, що складається з литого анода з металу, що рафінується, і катода, поміщеного в електроліт, що містить розчин металу. Катод є або тонкою основою з чистого металу (матриця), або формоутворювальним лист з неіржавкої сталі (постійна катодна пластина). Іони металів розчиняються з неочищеного анода і переходять у розчин, звідки осідають на катоді.

Таким чином рафінується мідь, дорогоцінні метали, свинець та олово. У випадку використання постійних катодних пластин відкладення чистого металу можна обідрати або зіскребти, розплавити та відлити у потрібну форму.

Під час електролітичного рафінування відокремлюються інші метали, які містяться в анодах, менш благородні метали розчиняються в електроліті, а більш благородні метали, такі як дорогоцінні метали, селен і телур, утворюють анодний шлам, який осідає в електролітичних камерах. Анодні шлами періодично видаляють з камер та вилучають цінні метали. У деяких випадках для утримання шламів використовуються анодні мішки.

Частина електроліту зливається з системи, та інші метали вилучаються з неї.

13.1.6.3 Електроліз розплавлених солей

Для електролізу розплавлених солей електролітична камера конструюється з використанням інертних катодів та анодів (сталевих або вуглецевих), щоб вона могла витримувати високі температури електроліту. Розплавлений метал осідає на катоді та періодично видаляється у вакуумі або шляхом зміщення. На аноді виділяються такі гази, як хлор або кисень; хлор вловлюється та переробляється або продається. Для алюмінію кисень вступає в реакцію з вугільним анодом, який безперервно витрачається.

Електроліз розплавлених солей можна використовувати для виробництва алюмінію, літію, натрію та магнію.

13.1.7 Гідрометалургійні процеси

Кислоти та NaOH, іноді також Na_2CO_3, використовуються для розчинення металевого вмісту різних руд та концентратів перед рафінуванням та електровідновленням. Матеріал, що вилуговується, зазвичай знаходиться у формі оксиду або у вигляді оксидної руди, або у вигляді оксиду, отриманого шляхом випалювання [134, Metallurgical Consulting Traulsen GmbH 1998]. Пряме вилуговування цинкового концентрату також здійснюється як під підвищеним, так і під атмосферним тиском.

Деякі руди, що містять сульфід міді, можна вилуговувати сірчаною кислотою або в інших середовищах, іноді з використанням природних бактерій для сприяння окисненню і розчиненню, але використовується дуже тривалий час перебування. У системи вилуговування можна додавати повітря, кисень або хлор для створення відповідних умов, а також використовуються розчини, що містять хлорид заліза. Процес HydroCopper® та аналогічні процеси були розроблені для розширення діапазону руд та концентратів, які можна обробляти гідрометалургійним способом [308, Haavanlammi 2007].

Отримані розчини обробляють декількома способами для очищення та вилучення металів. Загальновживаною практикою є повернення збіднених розчинів на етап вилуговування, де це необхідно, для збереження кислотних та лужних розчинів.

13.1.7.1 Купне вилуговування

Відкрите купне вилуговування зазвичай здійснюється на руднику. Матеріал дробиться і подрібнюється для забезпечення тісного контакту часток із кислотою, а потім формується у природні купи на непроникному захисному покритті. Кислота розпилюється на купи та просочується крізь масу [127, Chadwick, J. 1994]. Вона збирається на покритті та рециркулюється для накопичення вмісту металу. Час вилуговування однієї купи може бути від 100 днів для мідної оксидної руди до 500 днів для мідної сульфідної руди.

Бактерії можна використовувати для покращення процесу вилуговування та підвищення ефективності, і ця технологія використовується для деяких нікелевих руд, де цинк, кобальт і мідь вилуговуються одночасно, а потім розділяються перед вилученням металу [284, Riekkola et al. 2008].

До переваг біокупного вилуговування належать:

- воно засноване на природному процесі, бактерії сприяють вилуговуванню металів з руди в розчин;
- зрошення та аерація є єдиними додатковими процесами;
- капітальні та експлуатаційні витрати можуть бути значно нижчими, ніж у традиційних процесах виплавки та рафінування.

13.1.7.2 Атмосферне вилуговування (відкритий резервуар)

Атмосферне вилуговування оксидів та концентратів здійснюється у відкритих або частково закритих резервуарах шляхом рециркуляції суміші для підтримання температури та концентрації кислоти. Система зазвичай працює у кількох резервуарах послідовно. Далі відбувається седиментація для відділення залишку та очищення та відновлення розчину металу. Деякі залишки після вилуговування можуть піддаватися подальшому вилуговуванню у разі підвищенні концентрації кислоти та температури. Використання кількох етапів вилуговування допоможе підвищити ефективність вилуговування, але може призвести до розчинення більшої кількості домішок, зокрема заліза, яке потім слід видалити. Додавання кисню та змішування його з продуктом вилуговування шляхом перемішування може посилити процес

13.1.7.3 Вилуговування під тиском (обробка в автоклаві)

Вилуговування під тиском або обробку в автоклаві можна виконувати як повний процес вилуговування або як частину послідовності етапів вилуговування. Використовуються ємності під тиском, стійкі до кислоти або лугу, а розчин рециркулюється для забезпечення реакцій. Вилуговування під тиском також використовується для вилуговування чорної міді, щоб відокремити мідь від інших металів, в тому числі дорогоцінних металів.

Кисень, повітря або хлор можуть бути додані для посилення окиснення. Етапи зниження тиску можуть призвести до утворення кислотних туманів, і вони спроєктовані таким чином, щоб їх утримувати.

13.1.7.4 Вилучення розчинником

У вилученні розчинником метали можна вилучати з водяних розчинів деякими органічними розчинниками, нерозчинними у воді. Водну та органічну фази змішують і, регулюючи pH суміші та використовуваний комплексоутворювальний агент, цільовий метал селективно вилучають в органічну фазу. Після розділення фаз чистий розчин металу отримують шляхом повторного вилучення металу з органічної фази у вторинну водну фазу (збіднення), з якої метал можна відновити різними способами [309, Pekkala 2007], на Рисунку 13.26 показано принцип такого процесу для виробництва міді. Інші метали, такі як кобальт і цинк, можуть бути отримані таким самим способом.

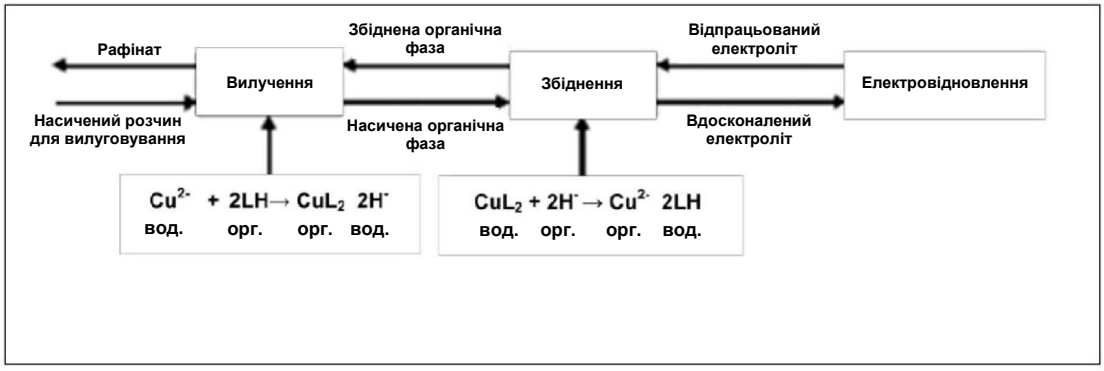


Рисунок 13.26: Етапи процесу вилучення розчинником (ВР)

Вилучення розчинником можна використовувати для вибіркового концентрування та очищення розчинів, що містять цинк, з первинної або вторинної сировини. В результаті утворюється чистий розчин цинку, який можна використовувати для виробництва спеціального високоякісного цинку після електролізу або чистого сульфату цинку, оксиду цинку або інших цинковмісних хімічних сполук.
Спочатку в процесі Zincex використовувалися дві різні цикли вилучення розчинником: у першому використовувався аніонний екстрагент, вторинний амін (Амберліт LA-2), а в другому використовувався катіонний екстрагент, ді-2-етилгексілфосфорна кислота (D2EHPA), для відділення цинку від домішок, а також збільшення концентрації цинку для отримання чистого електроліту з сульфатом цинку. Процес був спрощений і вдосконалений до використання тільки одного циклу вилучення розчинником з D2EHPA та інтегрований у три основні етапи вилуговування, відновлення розчинником та електровідновлення [327, Gnoinski et al. 2008].

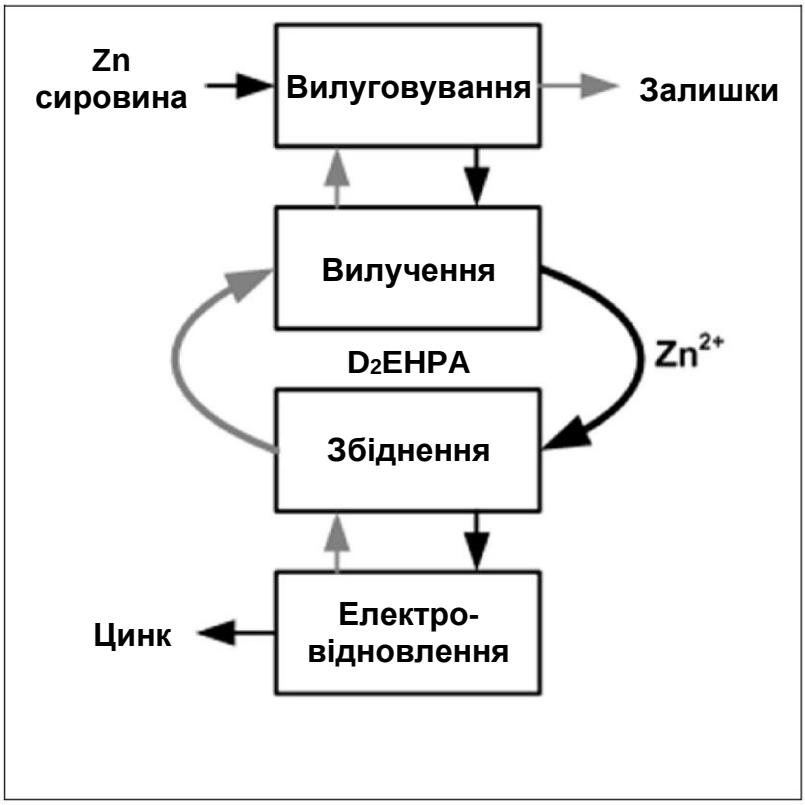


Рисунок 13.27: Схема модифікованого процесу Zincex

У випадку первинних цинкових руд і концентратів процес передбачає атмосферне вилуговування сировини, підвищення вмісту та очищення насиченого розчину для вилуговування шляхом вилучення розчинником (ВР) і вилучення цинку шляхом електровідновлення (ЕВ). Етап вилучення розчинником також використовується для отримання цинку з нечистої вторинної сировини, такої як акумулятори.

13.2 Практика екологічного моніторингу

У деяких країнах на виробничих майданчиках діють обов'язкові програми вимірювання, що охоплюють вплив на довкілля навколо виробничої установки [226, Nordic Report 2008] [226, Nordic Report 2008]. В інших випадках вимірювання здійснюються місцевими органами влади або підприємством як частина більших досліджень, які фінансуються іншими сторонами, а не виробничим майданчиком [237, UBA (A) 2004]. Як описано в Розділах 2.3.5 та 2.4 про дифузні викиди, дослідження довкілля, такі як моделювання дисперсії у повітрі, моделювання зворотної дисперсії у повітрі, моделі повітряного транспортування або дослідження водних потоків, зазвичай використовуються для виявлення потенційних джерел компонентів у довкіллі від вловлених або дифузних викидів та щоб допомогти розрізняти їх [269, Broom 2005]. Четверта допоміжна директива щодо якості повітря вимагає, щоб місцеві органи влади здійснювали екологічний моніторинг повітря на наявність певних речовин, і якщо розташування засобів моніторингу є відповідним, ці результати можна використовувати в оцінці викидів за умови, що речовини належать до конкретної галузі. Також потрібна комплексна програма моніторингу для моніторингу якості приймальних водоймищ відповідно до Водної рамкової директиви ЄС (2000/60/ЄС).

Цілі можуть полягати у вимірюванні певних компонентів, таких як метали в навколишньому повітрі, воді або ґрунті, або відкладення пилу. Можуть також застосовуватися біологічні обстеження або обстеження впливу на здоров'я або системи попередження про аварії.

13.2.1 Приклади практики екологічного моніторингу

13.2.1.1 Приклади з країн Північної Європи

Моніторинг повітря

У наведеному нижче прикладі [226, Nordic Report 2008] наданий короткий огляд деяких аспектів щодо якості повітря в навколишньому середовищі заводу з виплавки цинку. У Таблиці 13.5 показано середньорічні концентрації деяких металів.

Таблиця 13.5: Середньорічні концентрації металів в навколишньому повітрі комплексної промислової зони, що має завод з виплавки первинного цинку

Речовина	Розташування відносно точки викиду	2003	2004	2005	2006
PM_{10} (мкг/нм^3)	2 км від комплексу	12	11	12	14
Цинк (нг/Нм^3)	2 км від комплексу	НД	13,3	НД	НД
Кадмій (нг/Нм^3)	2 км від комплексу	НД	0,14	НД	НД
Нікель (нг/Нм^3)	2 км від комплексу	НД	2,2	НД	НД
Миш'як (нг/Нм^3)	2 км від комплексу	НД	0,57	НД	НД
Примітка: НД = немає даних. *Джерело:* [226, Nordic Report 2008]					

У цьому випадку місцеві органи влади підтримують систему моніторингу якості навколишнього повітря, та існує договір про співробітництво між різними сторонами, що беруть участь у програмі моніторингу якості повітря. До системи входять чотири вимірювальні станції на відстані 2–4 км від заводу. TEOM 1400a використовується як колектор і аналізатор PM_{10} і працює в повністю автоматичному режимі безперервному безперервної дії. Він заснований на методі прямого вимірювання маси, заснованого на фільтрі. Кожні п'ять років частки для аналізу металів збираються за допомогою допоміжної системи ACCU протягом двох тижнів.

На вимірювальних станціях також вимірюються інші параметри, такі як SO_2 і NO_X. Усі аналізатори працюють автоматично та безперервно. Аналізатори калібруються чотири

рази на рік зовнішнім експертом. Результати станцій моніторингу автоматично передаються на комп'ютер, що знаходиться в офісі муніципального органу охорони довкілля. Орган збирає дані, звітує перед учасниками та зв'язується з різними зацікавленими сторонами.

Вплив вітру з суші та моря може суттєво впливати на результати навесні та восени. Весняні та осінні викиди з суші та моря накопичуються поряд з об'єктом, і виміряні концентрації тут зазвичай вищі, ніж у звичайних ситуаціях.

На деяких заводах регулярно виконується широкомасштабне біоіндикаторне дослідження для оцінки впливу викидів на довкілля. Це дослідження також включає визначення вмісту металів у пилу і визначення концентрацій металів, що переносяться у повітрі, в ґрунті. Точки відбору проб (близько 100) під час біоіндикаторного дослідження та дослідження щодо металів розташовані на відстані від 0,1 км до 30 км від заводу з виплавки цинку.

Моніторинг води

Також створена комплексна програма моніторингу якості приймальних водоймищ відповідно до Водної рамкової директиви ЄС (2000/60/ЄС). Моніторинг заснований на схваленій владою та спільній програмі моніторингу. В одному прикладі є 18 точок відбору проб у морській зоні. Проби для аналізу якості води відбираються вісім разів на рік, щоб відбирати проби як влітку, так і взимку (сезон льодового покриття). Програма моніторингу морської води включає багато різних параметрів довкілля, наприклад, якість морської води (солоність, pH, O_2, температура, колір, загальний P, загальний N), біологічні дослідження (фітопланктон, донна макрофауна, макроводорості, перифітон, риба) та дослідження металів (концентрації металів у рибі, відкладеннях та донній фауні). Програма моніторингу (відбір проб, аналіз та звітність) повністю виконується зовнішніми експертами.

Динаміка концентрацій у навколишньому середовищі з часом демонструють ефект, якого досягли покращення у стандартах.На Рисунку 13.28 показано концентрації цинку в морській воді поряд з заводом з виплавки цинку за 30-річний період. Це дозволяє компетентному органу забезпечити зниження викидів завдяки вжитим заходам.

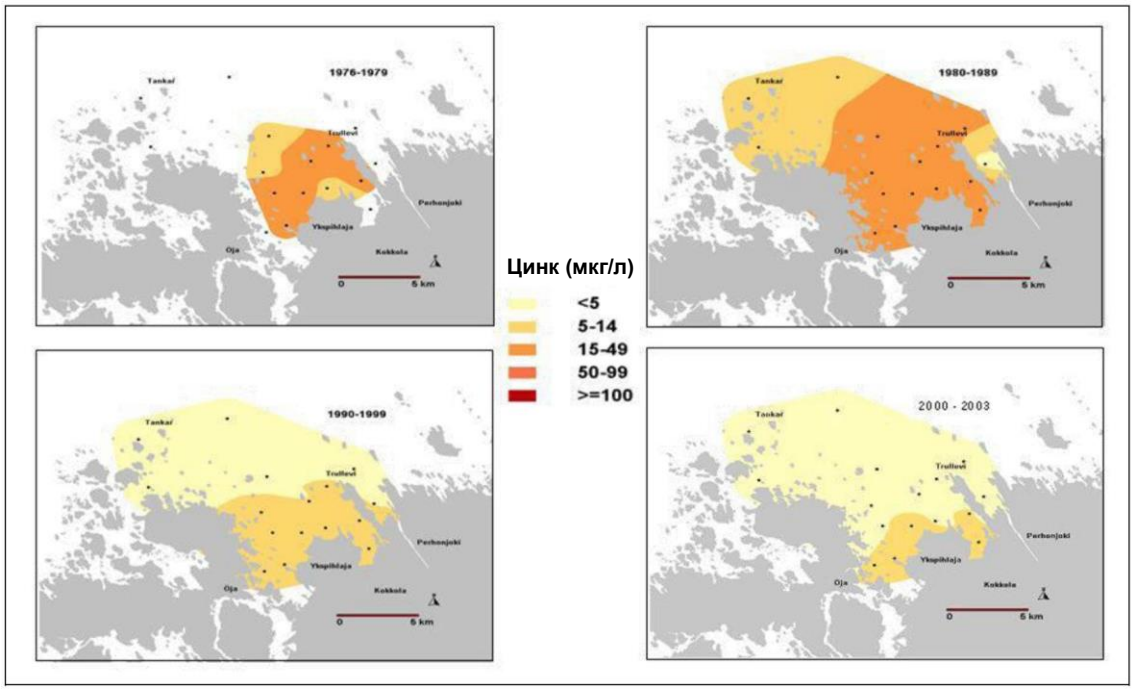


Рисунок 13.28: Динаміка концентрацій цинку в морській воді поряд з заводу з виплавки цинку з плином часу

13.2.1.2 Приклади з інших країн

Подібна практика застосовується у Великій Британії, де для встановлення впливу регулярно відбираються проби з довкілля, залежно від масштабу установки та речовин, що викидаються. Місця моніторингу можуть бути вибрані на основі точок максимального впливу на довкілля, отриманих в результаті моделювання дисперсії у повітрі. Зразки повітря, матеріалу, осадженого з повітря та дощу, ґрунту та трави використовуються для встановлення концентрацій та динаміки у довкіллі. Керни у вигляді стовпця ґрунту вказують на довгострокове відкладання забруднювальних речовин, тоді як аналіз трав або зернових культур вказує на осадження протягом вегетаційного сезону.

Було досліджено потенційні джерела PM_{10} поряд зі сталеливарним заводом, і було можливо досліджувати відібрані частки під мікроскопом або використати статистичний послідовний аналіз динаміки для визначення можливих джерел. [269, Broom 2005]У цьому випадку можна було показати, що відкладення заліза походять від кораблів, що розвантажуються, а не від печей.

У моніторах якості повітря навколо джерел викидів нікелю у верхній частині долини Суонсі виявлено низку металів. Як правило, навколо кожного основного джерела нікелю є вимірювання за вітром та проти вітру. Монітори працюють протягом кількох років, щоб щотижня давати дані про концентрацію металів у довкіллі, які потім можна використовувати для розрахунку середньорічних рівнів вмісту металів у повітрі навколо майданчиків. Ця робота показала, що рівні вмісту нікелю в повітрі навколишнього середовища знизилися внаслідок вдосконалення елементів контролю точкових джерел та дифузних викидів. Аналіз щотижневих даних з використанням рози забруднення виявив два джерела нікелю в цій зоні: одне від виробника первинного нікелю, а друге, раніше невідоме джерело нікелю, від невеликого металургійного підприємства, яке використовує нікель та інші метали для виробництва низки металевих сплавів та легованих виробів [416, UK 2013].

У Німеччині дані щодо якості повітря, надані місцевими органами влади, та результати з точки моніторингу за вітром від плавильного заводу, де були передбачені максимальні рівні забруднювальних речовин у ґрунті, використовуються для демонстрації ефекту удосконалень процесу [274, COM 2008]. Деякі результати екологічного моніторингу показані на Рисунку 13.29 та показують зниження концентрацій у довкіллі з 1989 по 2007 рік.

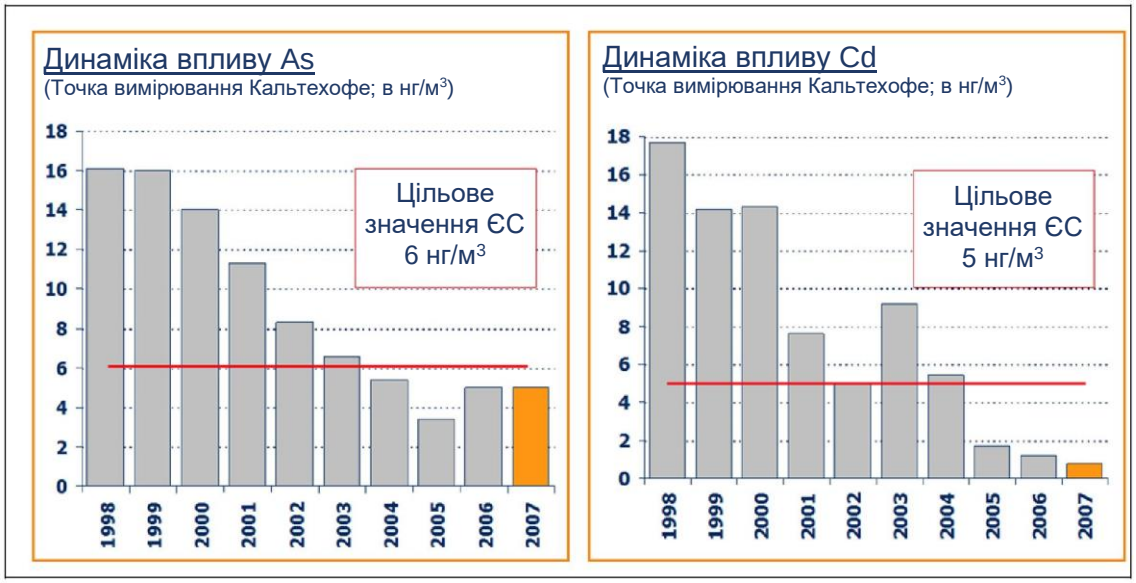


Рисунок 13.29: Динаміка концентрацій As та Cd у повітрі, виміряних на острові Ельба в Гамбурзі (Німеччина)

13.2.1.3 Дослідження в Австрії

В Австрії були проаналізовані дані про викиди та відкладення з міста Арнольдштайн, в тому числі випробування мохів поряд з плавильним заводом, і результати показують зниження впливу в міру вдосконалення об'єкту та впровадження чистіших процесів. Були здійснені аналізи овочів, вирощених у садах на відстані від 320 до 4700 метрів від заводу з виплавки вторинного свинцю, а також проб нафти з кернів на глибині 10 мм [237, UBA (A) 2004], [328, Winter B., et al. 2009].

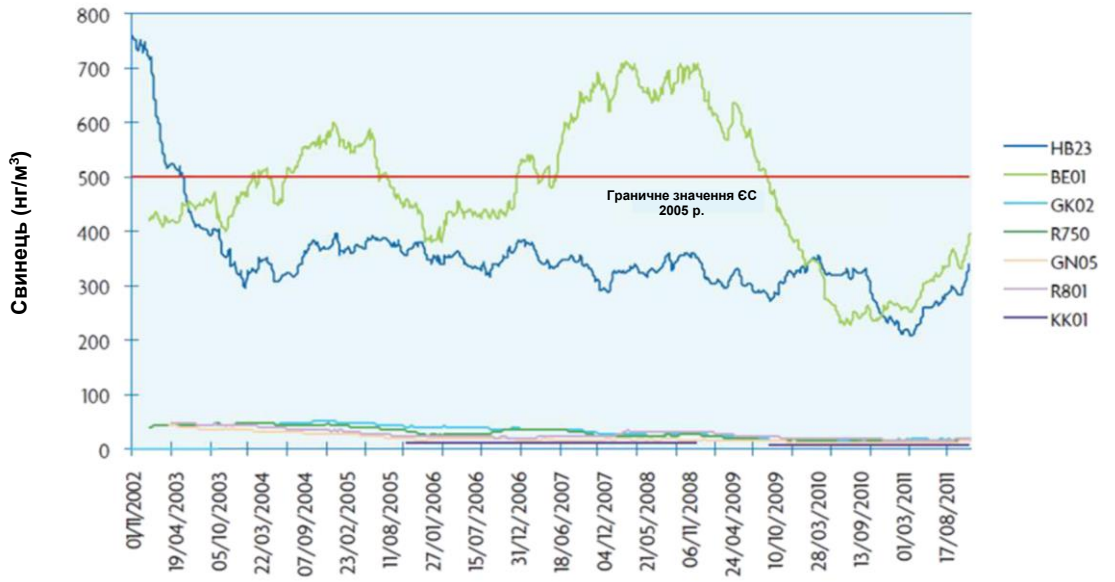
13.2.1.4 Дослідження в Бельгії

У Фландрії якість повітря у районі промислових майданчиків біля Хобокена протягом кількох років визначалася з допомогою мережі станцій відбору проб. Це дозволяє вивчати динаміку викидів, а результати станцій моніторингу також використовуються для моделювання зворотної дисперсії у повітрі. Концентрації деяких металів у довкіллі показані у Таблиці 13.6, а динаміка для свинцю — на Рисунку 13.30 [335, VMM 2011].

Таблиця 13.6: Концентрації деяких металів в PM_{10} у довкіллі на станціях відбору проб у Фландрії

	Муніципалітет/район	Код станції	Середньорічне значення 2007 р. (нг/м^3)	Середньорічне значення 2011 р. (нг/м^3)
для Cd	Берсе	00BE01	28,5	12
	Берсе	00BE07	14,4	7,2
	Хобокен	00HB17	6,8	4,0
	Генк	00GK04	5,3	-
Для As	Берсе	00BE01	22,6	8,5
	Берсе	00BE07	12,4	5,8
	Хобокен	00HB01	31,1	14
	Хобокен	00HB17	25,3	23
	Хобокен	00HB23	49,0	41
	Хобокен	00HB18	15,2	8,8
	Хобокен	00HB19	12,2	НЗ
	Хобокен	00HB24	9,8	НЗ
Для Ni	Генк	00GK02	34,9	21
	Генк	00GK03	32,9	17
	Генк	00GK04	81,4	НЗ

Примітка: НЗ = Не зазначено
Джерело: [335, VMM 2011]



Джерело: [335, VMM 2011]

Рисунок 13.30: Динаміка концентрації свинцю в PM_{10} з 2002 по 2011 роки для деяких станцій відбору проб у Фландрії

13.2.2 Екотоксичність та біонакопичення

З того часу, як було завершено оригінальний ДДНДТ, було проведено безліч досліджень та розробок норм, пов'язаних з оцінкою токсичності металів та ризиків для довкілля. Ці концепції та методології були оцінені та схвалені компетентними органами ЄС в оцінці ризику металів, що здійснюється відповідно до Регламента про наявні речовини 793/93/ЄЕС, а також схвалені для використання у Регламенті ЄС REACH 1907/2006/ЄС.

Концепції та методології корисні в оцінці різних умов довкілля на конкретних об'єктах та можливого впливу концентрацій металів на довкілля (тобто водне середовище, відкладення та ґрунт). З точки зору екологічного моніторингу така оцінка ризику для конкретних металів є особливо актуальною, оскільки вона дає детальну інформацію про те, як здійснювати оцінювання біонакопичення різних металів, визнаючи, що токсичність металів залежить від низки параметрів та абіотичних факторів (наприклад, твердість).

Стічні води кольорової металургії добре характеризуються вимірюванням концентрацій їх компонентів. Список металів відносно маленький у порівнянні з органічними компонентами, які можуть зустрічатися у хімічній або інших галузях промисловості. Декілька дослідницьких проєктів вивчали зв'язок між складом стічних вод та їх екотоксичністю для водоростей. Моделі та методології оцінки шкоди, встановлення пріоритетів, встановлення критеріїв якості довкілля, а також моніторингу та оцінки ризиків, пов'язаних з хімічними речовинами, розробляються та використовуються у кількох юрисдикціях. Більшість сполук, що оцінюються, є органічними речовинами, а не неорганічними металами, тому в різних методологіях і керівних документах, передбачених для здійснення цих оцінок, відсутні детальні відомості про те, як враховувати властивості, характерні окремим металам.

Порушувалися питання, пов'язані зі специфічним впливом металів на довкілля та здоров'я людини Питання необхідності встановлення готових та доступних інструментів та наборів даних для окремих металів для прийняття компетентних, науково обґрунтованих рішень також порушувалось представниками місцевих, регіональних, національних та міжнародних адміністрацій, а також членами неурядових організацій, приватних компаній та асоціацій.

Керівництво з оцінки ризиків для довкілля, пов'язаних з металами (MERAG (Metals Environmental Risk Assessment Guidance)) було створено консорціумом дослідників, асоціацій виробників металів, експертів наукового комітету та урядових експертів (уряд Великої Британії, Міністерство охорони довкілля, продовольства та з питань сільськогосподарського розвитку (DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs)). Керівництво MERAG було додатково адаптоване як додаток для конкретних потреб Регламенту ЄС REACH 1907/2007 (Технічний керівний документ, Додаток 4 VIII «Оцінка ризику для довкілля та характеристика ризику для металів та металовмісних сполук»). Цей додаток щодо металів був розглянутий та офіційно прийнятий Європейським хімічним агентством (ECHA (European Chemicals Agency)) [301, MERAG 2007].

Керівництво розділене на різні підбірки даних, які надають спеціалістам з оцінки/регулювання ризиків з методологією, які будуть використовуватися в регулюванні хімічних речовин та встановленні стандартів якості довкілля для металів, а також дозволяють спеціалісту з оцінки враховувати умови на конкретних об'єктах за допомогою впровадження концепцій за конкретними металами, описаних у пунктах 1-3 нижче.

1) Оцінка впливу

Основною метою оцінки впливу є виявлення та оцінка концентрацій металів для кожного об'єкта довкілля (вода, повітря, ґрунт, відкладення), що потенційно піддається впливу діяльності людини.

Концентрації металів у довкіллі є результатом природного складу, історичного забруднення і викидів, пов'язаних зі схемою використання та повним циклом експлуатації металу (тобто від видобутку до максимального відділення та перероблення металів та утилізації залишкових відходів). Через характерні відмінності концентрацій металів у природному середовищі (наприклад, різні природні концентрації) і відмінності антропогенного впливу в різних місцях можна виявити великі відмінності в рівнях вмісту металів, що оцінюються.

Видоутворення має першорядне значення; метали можуть мати різну валентність, бути пов'язані з різними аніонами або катіонами та можуть бути пов'язані з адсорбентами, такими як розчинені органічні речовини (РОР) у воді, або зв'язані з мінералами у відкладеннях або ґрунті. Таким чином, видоутворення сильно залежить від умов та хімії довкілля на об'єкті. Абсорбційна/десорбційна поведінка металу залежить від переважних умов довкілля. Таким чином, оцінка впливу виходить за межі того, що досягається простою прямою оцінкою токсичності.

2) Оцінка ефектів

Основною метою є довгостроковий захист довкілля. Типовими екосистемами, що розглядаються для внутрішнього середовища, є водні (в тому числі відкладення), установки з очищення стічних вод та наземні. Для кожної з них слід розрахувати прогнозовану безпечну концентрацію (ПБК). Ця ПБК вважається концентрацією, нижче якої неприйнятний ефект, швидше за все, не виникне.

MERAG надає керівництво щодо даних про ефекти, обраних для розрахунку ПБК для відповідності вимогам (критеріям) щодо якості даних та релевантності даних. У видачі дозволів враховуються особливості, пов'язані з металами (надаються методології щодо вибору якісних даних, їх поєднання, інтерпретації та визначення значення ПБК) [301, MERAG 2007]

У розрахунку значення ПБК можна враховувати (біо)доступну фракцію організмів для конкретних умов довкілля на об'єкті (моделі токсичності були розроблені для прогнозування біонакопичення металів для оцінювання ризику в наземних екосистемах, донних відкладеннях і водних екосистемах). Така можливість врахування біонакопичення металів передбачена також у Директиві 2008/105/ЄС про стандарти якості довкілля в галузі водної політики та про внесення змін до Директив 82/176/ЄЕС, 83/513/ЄЕС, 84/156/ЄЕС, 84/491/ЄЕС, 86/280/ЄЕС та 2000/60/ЄС.

3) Характеристика ризику

Керівництво встановлює підхід «будівельного блоку», що дозволяє дотримуватись умов дозволу, і водночас забезпечує розгляд найкращого варіанту управління потенційними ризиками, пов'язаними з металами/металовмісними сполуками. З цією метою рекомендується багаторівневий підхід, оскільки доступність даних значною мірою залежатиме від типу досліджуваного металу/металовмісної сполуки, що дозволить подальше уточнення оцінки.

У 2008 році інструменти уточнення, надані в документі MERAG, були застосовні лише до металів, щодо яких були наявні достатні дані (наприклад, нікель, мідь, цинк). З розвитком науки вивчаються інструменти для додаткових металів (наприклад, для срібла, кобальту, алюмінію).

Методології, розроблені в рамках MERAG, запроваджуються на місцях у різних країнах ЄС. Методології, розроблені в рамках MERAG, запроваджуються на місцях у різних країнах ЄС. Моделі біонакопичення також розробляються для ширшого діапазону умов довкілля (наприклад, морських умов та умов естуарію).

13.3 Дані про окремі витрати на виробництво металу та боротьбу з викидами

Дані, наведені в цьому додатку, зосереджені на технологічній установці та основних показниках споживання. Наскільки це можливо, були усунуті фактори витрат, характерні для конкретних об'єктів. Інформація дає порядок величини діапазону витрат та дозволяє обмежене порівняння витрат між технологіями.

Дані доступні не для всіх груп металів, тому ці дані надані у вигляді додатку, щоб деякі витрати, наприклад, на печі або боротьбу з викидами, можна було віднесені до цих груп. Витрати переважно надані на основі витрат на тонну виробленого металу на рік. Там, де це можливо, робиться посилання на масштаб процесу або установки з очищення, щоб дані можна було використовувати для отримання приблизних оцінок для секторів, які можуть не бути представлені.

Декілька джерел надали дані, і всі вони демонструють конкретні інвестиційні витрати на тонну виробленого металу на рік. Дані були надані у різних валютах, що діяли на момент покупки. Для прямого порівняння ці валюти були конвертовані в євро за обмінним курсом, що діяв 16 червня 1999 р.: 1,06 долара США = 1 євро. Нижче наведено різні обмінні курси, що діяли з 1950 р., щоб можна було розрахувати початкові витрати у разі потреби.

Таблиця 13.7: Деякі курси обміну валют

Рік	DEM/GBP	DEM/USD	USD/GBP	DEM/EUR ([1])	USD/EUR ([1])
1950	11,76	4,20	2,80	-	-
1960	11,71	4,17	2,81	-	-
1970	8,74	3,65	2,40	-	-
1980	4,23	1,82	2,33	2,48	1,36
1990	2,88	1,62	1,79	2,07	1,26
1993	2,48	1,65	1,50	1,90	1,15
1996	2,35	1,50	1,56	1,90	1,27
1998	2,91	1,76	1,66	1,97	1,12
2008	НД	НД	1,992	НД	1,487

([1]) Тільки з 1979 р.

Дані про витрати, наведені в цьому додатку, дають лише уяву про порядок величин.

Деякі джерела також повідомили про витрати на фінансування та експлуатаційні витрати для конкретної установки. Вони можуть бути незастосовні до інших об'єктів, оскільки витрати на окремі операції включатимуть значний відсоток компонентів витрат, пов'язаних із конкретним об’єктом та корпорацією.

13.3.1 Вплив на дані про витрати

Нижче наведено деякі з факторів впливу, пов’язаних з конкретними об’єктами, на витрати, зазначені вище:

- транспортування:
  - витрати на транспортування сировини (вплив на вартість обробки та перероблення), витрати на транспортування продукту(ів);
- прямі експлуатаційні витрати:
  - трудове законодавство, кліматичні умови, організація роботи установок (внутрішньозаводські витрати на транспортування), енергетична доступність, доступна інфраструктура, особливі вимоги щодо захисту навколишнього середовища;
- витрати під час продажу:

  - доступ на ринки; інфраструктура, кліматичні умови;

- капітальні витрати:
  - варіанти відвантаження сировинного матеріалу, доступ на ринки та ринкові умови/продаж продукції, корпоративна структура;

- інвестиційні витрати:
  - кліматичні умови, доступна інфраструктура, енергія та витратні матеріали, особливі місцеві вимоги щодо захисту навколишнього середовища.

Вищезазначені фактори вказують на те, що дуже важко надати достовірні дані про витрати, які можна було б використовувати в загальному сенсі без небезпеки отримання результатів, що вводять в оману. Повний та надійний економічний розрахунок/оцінка можуть бути зроблені лише для інвестицій за конкретним об'єктом. Тільки на такій основі можна отримати певні дані щодо витрат. Наприклад, наступні фактори сильно впливають на економічний аспект проєкту і не завжди можуть бути оцінені в цьому додатку:
- витрати на підготовку та перероблення концентратів;
- витрати на концентрати, флюси тощо та інші закупівлі;
- закупівельна ціна (після відрахувань) вторинних матеріалів;
- закупівельна ціна рафінованого металу;
- продаж побічних продуктів, таких як сірчана кислота тощо;
- обрана країна (податки, робоча сила, утилізація та вартість енергії, інфляція);
- конкретний об’єкт (транспортування чистих матеріалів та продуктів);
- інфраструктура (доступність енергії, води, кисню, обслуговування);
- потужність заводу;
- тип та склад сировини;
- графік та час інвестування;
- фінансування інвестицій;
- витрати на будівельно-монтажні роботи (внутрішнє виконання).

Там, де відомі точні витрати на конкретні установки, вони були включені, але надані окремо, щоб можна було взяти до уваги відмінності на об'єкті. Там, де це можливо, також були дані коментарі, що ілюструють, як зміни витрат, наприклад, витрат на утилізацію відходів, можуть викликати значну різницю у витратах.

Капітальні витрати на заходи з контролю виходів та обладнання варіюються в залежності від типу заводу. Тоді як витрати на модернізацію наявних заводів можуть бути дуже високими, інтегровані заходи щодо боротьби із забрудненням на нових заводах можуть бути економічно більш вигідними [234, UBA (D) 2007]. До факторів, що визначають капітальні витрати на систему тканинних фільтрів, належать:

- обсяг відхідних газів, що підлягають очищенню;
- характеристики відхідних газів (вміст пилу та вологи, температура, присутність агресивних компонентів);
- необхідність дозування добавок або рециркуляції димового пилу (додаткові трубопроводи, силоси, системи транспортування;
- доступна площа під будівництво; тип будівництва (варіанти комплектації, фундамент неглибокого закладання або пальовий фундамент, загальна висота, площа фільтра, кількість відсіків, маршрут повітропроводів тощо);
- необхідна висота димової труби або потреба у футеруванні димової труби (в залежності від складу відхідних газів);
- необхідне вимірювальне обладнання (платформа, обладнання для безперервного вимірювання, доступ);
- розширений обсяг постачання (холодильник для відпрацьованих газів, компресори тощо).

Відхідні гази з низьким вмістом пилу (наприклад, відхідні гази із вторинного ковпака з вмістом дрібнодисперсного пилу < 50 мг/м^3) зазвичай потребують додавання добавки

(наприклад, вапна) для підвищення ефективності уловлювання пилу. Це не тільки різко збільшує вміст пилу в неочищеному газі, але й обсяг вловленого пилу, який необхідно утилізувати. Для вологих та/або агресивних відхідних газів може знадобитися підігрів фільтра або нанесення на нього антикорозійного покриття.

Капітальні витрати на тканинний фільтр, розрахований на швидкість потоку відпрацьованих газів близько 100 000 м^3/год, з урахуванням вентилятора і фільтрувального матеріалу, склали близько 650 000 євро (відхідні гази із вторинного ковпака з низьким вмістом пилу) або близько 950 000 євро (технологічні відхідні гази з підвищеним вмістом пилу). Загальні витрати на систему фільтрів, з урахуванням сталевозалізобетонних конструкцій, повітропроводів, димової труби та іншого обладнання (див. вище), може в три або чотири рази перевищувати капітальні витрати на фільтр.

Споживання електроенергії є найбільшим джерелом експлуатаційних витрат. Залежно від площі фільтра, опору фільтра, складу та концентрації пилу, питоме споживання електроенергії рукавним фільтром становить від 2 кВт-год до 3 кВт-год на 1000 м^3 відхідного газу. Якщо через використання спеціальної добавки пил, вловлений у фільтрувальній системі, не може оброблятися далі для вилучення металу і повинен бути підданий захороненню, додаткові витрати будуть значними.

13.3.2 Питомі інвестиційні витрати на мідеплавильні заводи

Як пояснювалося вище, на інвестиційні витрати для мідеплавильних заводів також впливає ряд факторів, характерних для конкретного об'єкта, а не лише вибрані технології процеси та методи усунення забруднення довкілля. У Таблицях з 13.8 по

13.12 наведено деякі дані, пов'язані з технологіями.

У таблиця щодо нових заводів зазначено наступне:
- рік інвестування або визначення витрат;
- охоплено ключові дільниці заводу;
- виробнича потужність, пов'язана із зазначеними витратами.

Звичайні методи усунення забруднення довкілля, пов'язані з заводами, включені у зазначені витрати. Інвестиційні витрати вказані як питомі витрати на тонну міді. Наведені дані про витрати слід розуміти як такі, що дають уявлення про порядок величин. Витрати на землю, фінансування, внутрішню та зовнішню інфраструктуру заводу, витрати власника під час будівництва та всі інші інвестиції, які безпосередньо не пов'язані із зазначеними дільницями заводу, не включено.

Таблиця 13.8: Комплекси заводів з виплавки первинної міді та виробництва кислоти

Рік	Витрати на установку (євро/т виробничої потужності/рік)	Продукт, що виробляється, та розрахункова потужність	Залучені секції заводу
1977	2250–2450	Анодна мідь 70 000 т/рік	Поводження/зберігання матеріалу, часткове випалювання та виплавка в електричній печі, конвертер Пірса Сміта, анодний завод, очищення шлаку в електричній печі, кислотна установка подвійного каталізу
1980	2450–2650	Анодна мідь, 150 000–160 000 т/рік	Поводження/зберігання матеріалу, піч зваженої плавки Outotec, конвертер Пірса-Сміта, анодний завод, очищення шлаку в електричній печі, кислотна установка подвійного каталізу
1981	1700–1850	Анодна мідь, 280 000 т/р	Поводження/зберігання матеріалу, піч зваженої плавки Outotec, конвертер Пірса-Сміта, анодний завод, очищення шлаку в електричній печі, кислотна установка подвійного каталізу
1981	2850–3000	Анодна мідь 100 000 т/р	Поводження/зберігання матеріалу, безперервна плавка Mitsubishi, анодний завод, кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції
1981	2250–2550	Анодна мідь 120 000 т/р	Поводження/зберігання матеріалу, піч INCO, конвертер Пірса-Сміта, кислотна установка подвійного каталізу
1992	2150–2250	Анодна мідь 150 000 т/р	Поводження/зберігання матеріалу, піч ISASMELT, конвертер Пірса-Сміта, анодний завод, очищення шлаку в електричній печі, кислотна установка подвійного каталізу
1994	2250–2350	Анодна мідь 285 000 т/рік	Поводження/зберігання матеріалу, піч зваженої плавки Outotec, конвертер зваженої плавки, кислотна установка подвійного каталізу Флотація шлаку не включена
1995	2350–2750	Анодна мідь 120 000 т/р	Поводження/зберігання матеріалу, піч зваженої плавки Outotec, конвертер Пірса-Сміта, анодний завод, очищення шлаку в електричній печі, кислотна установка подвійного каталізу
1997	1950–2150	Анодна мідь 160 000 т/рік	Поводження/зберігання матеріалу, безперервна плавка Mitsubishi, анодний завод, кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції
1998	2550–2650	Анодна мідь 303 000 т/рік	Піч зваженої плавки Outotec, конвертер зваженої плавки, анодний завод, кислотна установка подвійного каталізу
1998	2950–3150	Анодна мідь досягнуто > 200 000 т/рік	Поводження/зберігання матеріалу, безперервна плавка Mitsubishi, анодний завод, кислотна установка подвійного контактування/подвійної абсорбції

Примітка: початкові витрати були у доларах США і були конвертовані із розрахунку 1 євро = 1,06 доларів США.
Джерело: [90, Traulsen, H. 1998], [206, Traulsen, H. 1999]

Таблиця 13.9: Проєкт Рьоннскяр

Рік	Витрати на установку	Продукт, що виробляється, та розрахункова потужність	Залучені секції заводу
1999	2 мільярди (шведських крон) SEK (224 мільйонів євро)	Мідь 100 000 т/р	Розширення причалу для вивантаження сировини; Закриті конвеєри для поводження із сировиною; Змішувальна установка та конвеєри; Піч зваженої плавки Outotec; Конвертерний прольот із трьома конвертерами Пірса-Сміта потужністю 250 тонн; Вентиляційно-витяжна система та рукавний фільтр; Установка вогняного рафінування та лиття анодів — додаткова потужність 45 т/год; 33 % збільшення електролітичного рафінування міді, випарник для виробництва сульфату міді; Модернізація установок із виробництва сірчаної кислоти для обробки 280 000 $нм^3$/год; Етап видалення ртуті; Контрольно-вимірювальна апаратура для технологічних процесів Витрати на цивільне будівництво.
Примітка: завод був модернізований у 1999 р., що дозволило виробляти додатково 100 000 т міді на рік. Очікуваний термін окупності становив 6,5 років.			

Таблиця 13.10: Заводи з виплавки вторинної міді

Рік	Витрати на установку (євро/т виробничої потужності/рік)	Продукт, що виробляється, та розрахункова потужність	Залучені секції заводу
1990	1300–1500	Анодна мідь 50 000 т/рік	Поводження/зберігання матеріалу, шахтна піч, конвертер, анодний завод
1990	1100–1300	Анодна мідь 80 000–100 000 т/рік	Поводження/зберігання матеріалу, електрична піч, конвертер, анодний завод
1991	1250–1400	Анодна мідь, 60 000 т/рік	Поводження/зберігання матеріалу, обертова піч з верхнім дуттям, анодний завод ([1])
([1]) Технічна концепція відрізняється від процесу, що зараз використовується на заводах Metallo-Chimique та Elmet. Примітка: початкові витрати були у доларах США і були конвертовані із розрахунку 1 євро = 1,06 доларів США. *Джерело*: Boliden [90, Traulsen, H. 1998].			

Таблиця 13.11: Заводи з електролітичного рафінування міді

Рік	Витрати на установку (євро/т виробничої потужності/рік)	Продукт, що виробляється, та розрахункова потужність	Залучені секції заводу
1976	470	Катодна мідь 380 000 т/рік	Традиційна концепція процесу з матрицями та механізацією
1987	550–600	Катодна мідь 40 000 т/рік	Концепція процесу ISASMELT з постійними катодами
1990	400–450	Катодна мідь 180 000 т/рік	Концепція процесу ISASMELT з постійними катодами
1993	450–480	Катодна мідь 150 000 т/р	Концепція процесу ISASMELT з постійними катодами
1994	650	Катодна мідь 280 000 т/р	Модернізація/розширення наявного рафінувального заводу на основі концепції Kidd Creek з постійними катодами
1996	400–450	Катодна мідь досягнуто > 200 000 т/рік	Концепція процесу ISASMELT з постійними катодами
Примітка: початкові витрати були у доларах США і були конвертовані із розрахунку 1 євро = 1,06 доларів США. *Джерело*: [90, Traulsen, H. 1998]			

Таблиця 13.12: Завод з виробництва мідної катанки

Рік	Витрати на установку (євро/т виробничої потужності/рік)	Продукт, що виробляється, та розрахункова потужність	Залучені секції заводу
1992	180–200	Мідна катанка 220 000 т/рік	Лінія безперервного виробництва катанки типу Southwire з шахтною піччю для плавлення
1995	280–320	Мідна катанка 80 000 т/рік	Лінія безперервного виробництва катанки типу Southwire з шахтною піччю для плавлення
1995	290–330	Мідна катанка 80 000 т/рік	Лінія безперервного виробництва катанки типу Contirod з шахтною піччю для плавлення
Примітка: початкові витрати були у доларах США і були конвертовані із розрахунку 1 євро = 1,06 доларів США. *Джерело*: [90, Traulsen, H. 1998]			

13.3.3 Питомі інвестиційні витрати на процеси виробництва первинного та вторинного алюмінію

Заводи з виплавки первинного алюмінію

Наступні діапазони наведені як інвестиційні витрати на переобладнання, які визначені як можливі варіанти для нового заводу або модернізації наявних заводів [421, EAA, 2014]:

Камера з використанням попередньо обпалених анодів та периферійної обробки (SWPB — Side-worked prebaked) на камеру з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням (PFPB — Point feed prebaked):	400–1000 євро за тону виробничої потужності на рік.
Камера з використанням попередньо обпалених анодів та балки продавлювання по центру (CWPB — Centre-worked prebaked) на камеру PFPB:	100–200 євро за тону виробничої потужності на рік.
Камера Сьодерберга з вертикальним штирем (VSS — vertical stud Søderberg) на камеру PFPB:	2300–3100 євро за тону виробничої потужності на рік.
Традиційна VSS на модернізовану VSS:	270–400 євро за тону виробничої потужності на рік.

Нова камера з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням (новий об'єкт):	4500–5500 євро за тону виробничої потужності на рік.

Перетворення SWPB або VSS на камеру з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням в більшості випадків ніколи не може бути досягнуто до стандарту, який можна зіставити з абсолютно новою установкою PFPB.

Експлуатаційні витрати на завод з виплавки первинного металу повністю залежать від факторів, зазначених вище, і, відповідно до звітів різних консультантів, будуть знаходитись в діапазоні 1200–1600 євро за тонну без урахування капітальних витрат.

Інвестиційні витрати на обладнання для очищення також залежатимуть від умов на конкретному об'єкті, оскільки вони визначатимуть обсяг додаткового обладнання та робіт, необхідних на додаток до фактичного встановлення обладнання. Можливі такі діапазони:

Установка сухого скруберного очищення:	200–300 євро за тонну виробленої продукції на рік.
Мокрий скрубер для SO_2 з морською водою для газів електролізеру:	100–200 євро за тонну виробленої продукції на рік.
Лужний скрубер SO_2 для газів електролізеру:	150–250 євро за тонну виробленої продукції на рік.

Плавильні установки для вторинного алюмінію
Витрати на технологічне обладнання:

- Обертова піч: 15–60 євро за тонну виробленої продукції на рік.

Витрати на очисне обладнання:

- Система рукавного фільтра: 30–75 євро за тонну виробленої продукції на рік.
- Система керамічного фільтра: < 30 євро за тонну виробленої продукції на рік.

13.3.4 Питомі інвестиційні витрати на процеси виробництва свинцю та цинку

У Таблицях з 13.13 по 13.16 наведено деякі дані для заводів з виплавки первинного та вторинного свинцю, для заводів з електролітичного виробництва цинку, а також для шахтних печей для виробництва свинцю та цинку, для вельц-печі, установки з випарювання та установок з виробництва H_2SO_4. Витрати вказані у доларах США за тонну виробленого металу на рік. Знову ж, обмінний курс долара США до місцевої валюти дуже важливий, оскільки він змінюється з часом.

Надані дані враховують:

1. рік за який були оцінені значення витрат;
2. обсяг постачання;
3. розмір плавильного заводу;
4. питомі інвестиційні витрати на тонну металу.

У випадку шахтних печей з виробництва свинцю та цинку інвестиційні витрати пов'язані з виробництвом лише цинку, а також із загальним виробництвом Zn+Pb. Витрати показують лише порядок величин таких інвестицій.

Таблиця 13.13: Процес виробництва свинцю

Рік	Витрати на установку (євро/т виробничої потужності/рік)	Продукт, що виробляється, та розрахункова потужність	Залучені секції заводу
1980	660	Pb, 100 000 т/р	Агломераційна машина, шахтна піч, установка з виробництва H_2SO_4, рафінування свинцю
1990	400	Pb, 60 000 т/рік	Вторинне відділення, відділення пластмаси, виплавка, рафінування свинцю
1990	635	Pb, 30 000 т/р	Вторинне відділення, відділення пластмаси, виплавка, рафінування свинцю (такий самий порядок величин для системи CX)
1997	625	Pb, 100 000 т/р	Завод за технологією QSL, установка з виробництва H_2SO_4, без рафінування свинцю (заводи за технологіями Kivcet та TBRC повинні продемонструвати подібні інвестиційні витрати)
1997	330	Pb, 30 000 т/р	Шахтна піч для виплавки вторинного металу, рафінування свинцю
1997	145	Pb, 100 000 т/р	Рафінування свинцю
2009	1080 ([1])	Pb, 65 000 т/рік	Завод Ausmelt з установкою та очищенням, а також кислотним заводом
([1]) Загальні витрати на установку склали 70 мільйонів євро на 65 000 т/рік. *Джерело*: [117, Krüger, J. 1999]			

Таблиця 13.14: Процес виробництва цинку

Рік	Витрати на установку (євро/т виробничої потужності/рік)	Продукт, що виробляється, та розрахункова потужність	Залучені секції заводу
1980	1580	Zn, 100 000 т/р	Випалювання, вилуговування, очищення, електроліз, установка з виробництва H_2SO_4, ливарний цех
1996	1530	Zn, 100 000 т/р	Випалювання, вилуговування, очищення, електроліз, установка з виробництва H_2SO_4, ливарний цех
1997	1450	Zn, 100 000 т/р	Випалювання, вилуговування, очищення, електроліз, установка з виробництва H_2SO_4, ливарний цех
2002	533 ([1])	Zn, 75 000 т/рік	Піч для випалювання, котел-утилізатор та обробка води, очищення газу, установка з виробництва H_2SO_4, установка з охолоджувальною водою, обробка слабкої кислоти
([1]) Загальні витрати на установку склали 40 мільйонів євро на 75 000 т/рік. *Джерело*: [117, Krüger, J. 1999]			

Таблиця 13.15: Процес виробництв цинку та свинцю

Рік	Витрати на установку (євро/т виробничої потужності/рік)	Продукт, що виробляється, та розрахункова потужність	Залучені секції заводу
1980	1550	Zn, 100 000 т/р; Pb, 40 000 т/р	Агломераційне обпалювання, піч ISF, установка з виробництва H_2SO_4, рафінування Zn
1996	1380	Zn, 100 000 т/р; Pb, 40 000 т/р	Агломераційне обпалювання, піч ISF, установка з виробництва H_2SO_4, рафінування Zn
1996	2080	Zn, 100 000 т/р	Агломераційне обпалювання, піч ISF, установка з виробництва H_2SO_4, рафінування Zn
1997	1790	Zn, 100 000 т/р; Pb, 40 000 т/р	Агломераційне обпалювання, піч ISF, установка з виробництва H_2SO_4, рафінування Zn
1997	2580	Zn, 100 000 т/р	Агломераційне обпалювання, піч ISF, установка з виробництва H_2SO_4, рафінування Zn
1994	2800	Zn, 85 000 т/рік; Pb, 35 000 т/рік	Агломераційне обпалювання, піч ISF, установка з виробництва H_2SO_4, рафінування Zn
Джерело: [117, Krüger, J. 1999]			

Таблиця 13.16: Залишки цинку

Рік	Витрати на установку (євро/т виробничої потужності/рік)	Продукт, що виробляється, та розрахункова потужність	Залучені секції заводу
1980	480	Оксид процесу Вельца, 21 000 т/рік	Вельц-піч, холодильник, фільтр
1997	415	Шлак, 20 000 т/рік	Сушіння, випарювання, котел-утилізатор, адсорбція з перепадом тиску, фільтр
Джерело: [117, Krüger, J. 1999]			

13.3.5 Дані про витрати на методи усунення забруднення довкілля

13.3.5.1 Боротьба з викидами в повітря у мідній промисловості

Технології, що застосовуються для очищення відпрацьованих та вентиляційних газів від операцій з виробництва міді, спрямовані на видалення пилу та газоподібних речовин, в тому числі з SO_2 та SO_3. Прикладами широко застосовуваних систем/обладнання для очищення газів є електростатичні фільтри (ESP), рукавні фільтри, керамічні фільтри тощо.

Наступні дані наведені для котла-утилізатора, гарячого та мокрого ЕСФ, охолодження та очищення газу.

Дані для комплектних установок з виробництва сірчаної кислоти наведені нижче.

Таблиця 13.17: Непряме охолодження газу

Застосування: котел-утилізатор металоплавильної печі	
Основи проєктування Температура газу: На вході На виході Потік газу Виробництво пари	 1300–1350 °C 300–400 °C 100 000 $Нм^3$/год 35 т/год
Загальні витрати на установку	7,0–8,0 мільйонів євро

Таблиця 13.18: Сухий електростатичний фільтр

Очищення газу SO_2 з плавильного заводу		
Застосування	**Електростатичний фільтр печі зваженої плавки**	**Електростатичний фільтр печі зваженої плавки**
Основи проєктування Температура експлуатації Потік газу Вміст пилу на вході Вміст пилу на виході Ефективність	 300–400 °C 43 000 $Нм^3$/год 10–20 г/$Нм^3$ 150–200 мг/$Нм^3$ 99,9 %	 300–400 °C 61 000 $Нм^3$/год 10–15 г/$Нм^3$ 200–300 мг/$Нм^3$ 99,8 %
Характеристики ЕСФ:	4 поля, площа вловлювання 3000 $м^2$, один блок	3 поля, площа вловлювання 4800 $м^2$, один блок
Загальні витрати на постачання обладнання	1,0 мільйон євро ([1])	2,0 мільйони євро ([1])
Електроспоживання	встановлено 250 кВт	встановлено 400 кВт
([1]) Будівельні роботи, монтаж тощо виключено; до витрат на установку необхідно додати приблизно 80–100 %. *Джерело*: [195, Lurgi, A.G. et al. 1991]		

Таблиця 13.19: Рукавний фільтр

Застосування	Шахтна піч, конвертер та анодна піч	Обертовий конвертер з верхнім дуттям (TBRC)	Холодильник та фільтр
Основи проєктування Температура експлуатації Потік газу Вміст пилу на виході	 ~ 100 °C 750 000 Нм^3/год < 10 мг/Нм^3	 ~ 100 °C 730 000 Нм^3/год < 10 мг/Нм^3	 ~ 100 °C 70 000 Нм^3/год < 10 мг/Нм^3
Загальні витрати на установку	20 мільйонів євро ([1])	14 мільйонів євро ([2])	2–2,5 мільйони євро ([3])
Основні показники споживання: Електроенергія Інші	 2,5-3 кВт-год/1000 Нм^3 1 г/Нм^3 вапна ([4])	 2-3 кВт-год/1000 Нм^3	 1,5-4 кВт-год/1000 Нм^3
([1]) З урахуванням повітропроводу та димової труби. ([2]) Без урахування повітропроводу та димової труби. ([3]) Загальні витрати на установку з урахуванням газового холодильника та димової труби. ([4]) Для газового потоку анодної печі *Джерело*: [90, Traulsen, H. 1998]			

Таблиця 13.20: Мокрий електростатичний фільтр

Обробка газу SO_2	
Тип	Два паралельних мокрих ЕСФ
Застосування	Остаточне очищення газу SO_2 для подальшої обробки
Основи проєктування Температура експлуатації Потік газу Ефективність осадження для Пил Миш'як H_2SO_4	 27 °C на вході 88,00 Нм^3/год 99 % 99 % 99 %
Загальні витрати на постачання обладнання	2,0 мільйони євро ([1])
Електроспоживання	112 кВт
([1]) Будівельні роботи, монтаж тощо виключено; до витрат на установку необхідно додати приблизно 60–80 %. *Джерело*: [195, Lurgi, A.G. et al. 1991]	

Таблиця 13.21: Мокрий електростатичний фільтр

Система мокрого охолодження та очищення газу для газів SO_2 з плавильного заводу		
Система	Мокре очищення газів для газу SO_2 з печі	Секція мокрого охолодження та очищення газу для комбінованого газу SO_2 в газах печі та конвертера
Обладнання системи	1 скрубер з радіальним потоком, 1 вентилятор, 2 паралельних мокрих ЕСФ загальною площею вловлювання 2000 $м^2$, кислотний холодильник та насоси циркуляції кислоти, 1 градирня, циркуляція охолоджувального середовища 900 $м^3$/год.	2 скрубери з радіальним потоком, 2 лінії з 2 паралельними мокрими ЕСФ загальною площею вловлювання 7000 $м^2$, кислотний холодильник та насоси циркуляції кислоти, 2 градирні, циркуляція охолоджувального середовища 2200 $м^3$/год.
Основи проєктування Температура експлуатації Потік газу Ефективність осадження для: Пил Миш'як Туман	 390 °C на вході, 35 °C на виході 96 000 $Нм^3$/год 96–97 % 99,0 % > 99,5 %	 370 °C на вході, 27 °C на виході 250 000 $Нм^3$/год 96–97 % 99,0 % > 99,5 %
Витрати на постачання обладнання	7,5–8 мільйонів євро ([1])	16–17 мільйонів євро ([2])
Електроспоживання	828 кВт	1250 кВт
([1]) Будівельні роботи, монтаж тощо виключено; до витрат на установку необхідно додати приблизно 60–80 %. ([2]) Будівельні роботи, монтаж тощо виключено; до витрат на установку необхідно додати приблизно 70–100 %. *Джерело*: [195, Lurgi, A.G. et al. 1991]		

Наступні дані про витрати наведені для систем боротьби з викидами, що використовуються у процесах виробництва вторинної міді, та були надані Австрією. Вартість вказана в австрійських шилінгах (ATS) та євро (EUR); наведені інвестиційні, експлуатаційні витрати та витрати на утилізацію для конкретних об'єктів [157, Winter, B. et al. 1999]

Таблиця 13.22: Допалювач, реактор та рукавний фільтр

Регенеративний допалювач з реактором та тканинним фільтром для очищення відхідних газів шахтної печі		
Вхідні дані: Обсяг вихлопного газу 20 000 $Нм^3$/год	Кількість виробленого металу 18 000 т/рік чорної міді. 6300 годин роботи/рік	
Вихідні дані: < 0,1 нг МТЕ/$Нм^3$ ПХДД/Ф		
Опис: регенеративний допалювач, встановлений після тканинного фільтра, що обробляє 20 000 $Нм^3$/год очищеного від пилу газу зі зниженням вмісту ПХДД/Ф на 98 %		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	12 +/-20 %	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	1,24	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		68,64 (4,99)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат = 0,24 ATS/рік)	2	13,33 0,97
Пропорційні витрати		
Допоміжне паливо (МДж/т)	1342	80,52
Споживання електроенергії (кВт-год/т) за тарифом 0,9 ATS/кВт-год	13,5	12,15
Усього витрат		~ 175 (12,72)
Джерело: Австрійські дані про витрати в [157, Winter, B. et al. 1999]		

Таблиця 13.23: Допалювач

Допалювач, розміщений між шахтною піччю та котлом-утилізатором		
Вхідні дані: Обсяг вихлопного газу 20 000 Нм^3/год	Кількість виробленого металу: 18 000 т/рік чорної міді. 6300 годин роботи/рік	
Опис: 98 % видалення ПХДД/Ф		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	8 +/-20 %	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	0,82	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		45,76 (3,33)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат)	2	8,89 (0,65)
Пропорційні витрати		
Допоміжне паливо (МДж/т)	1304	78,24
Споживання електроенергії (кВт-год/т)	16,0	5,4
Усього витрат		~ 138 (10,03)
Джерело: Австрійські дані про витрати в [157, Winter, B. et al. 1999]		

Таблиця 13.24: Мокра десульфуризація

Процес мокрої десульфуризації для видалення діоксиду сірки з відхідних газів конвертера для брухту		
Вхідні дані: Обсяг відпрацьованого газу 35 000 $Нм^3$/год Середній вхідний потік SO_2 ~ 2300 мг/$Нм^3$, пік 4000 мг/$Нм^3$	Кількість виробленого металу: 12 000 т/рік необробленої міді. 1200 годин роботи/рік	
Вихідні дані: Середньорічне значення SO_2 < 50 мг/$Нм^3$, пік < 200 мг/$Нм^3$		
Опис		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	25	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	2,54	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		214,51 (15,59)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат)	2	41,67 (3,03)
Пропорційні витрати		
Витрати на CaO (кг/т Cu) за тарифом 1 ATS/кг	6,74	6,74
Витрати на утилізацію гіпсу (кг/т Cu) за тарифом 0,2 ATS/кг	22,99	4,6
Споживання електроенергії (кВт-год/т) за тарифом 0,9 ATS/кВт-год	16,39	14,75
Усього витрат		~ 282 (20,49)
Джерело: Австрійські дані про витрати в [157, Winter, B. et al. 1999]		

Таблиця 13.25: Напівсухий скрубер

Процес напівсухої десульфуризації для зменшення викиду діоксиду сірки з анодної печі		
Вхідні дані: Обсяг відпрацьованого газу 80 000 $Нм^3$/год Перепад тиску 20 мбар. SO_2 ~ 500 мг/$Нм^3$	Кількість виробленого металу 60 000 т/рік анодної міді. 7000 годин роботи/рік	
Вихідні дані: SO_2 ~ 50 мг/$Нм^3$, 95 % зниження викидів ПХДД/Ф		
Опис		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	30 +/- 20 %	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	3,09	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		51,48 (3,74)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат)	3	15 (1,09)
Пропорційні витрати		
CaO (кг/т Cu)	7,35	7,35
Вуглець (кг/т Cu)	1,87	6,53
Повітря для згорання	23,33	3,97
Утилізація (кг/т Cu)	13,42	26,83
Споживання електроенергії (кВт-год/т)	14,08	12,67
Усього витрат		~ 124 (9,01)
Джерело: Австрійські дані про витрати в [157, Winter, B. et al. 1999]		

Таблиця 13.26: Фільтр з активованим вугіллям

Фільтр з активованим вугіллям для виробництва чорної міді		
Вхідні дані: Обсяг відпрацьованого газу 20 000 $Нм^3$/год. Перепад тиску 25 мбар.	Кількість виробленого металу: 18 000 т/рік чорної міді. 6300 годин роботи/рік	
Вихідні дані: ПХДД/Ф < 0,1 нг МТЕ/$Нм^3$		
Опис		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	12	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	1,24	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		68,64 (4,99)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат)	2	13,33 0,97
Пропорційні витрати		
Споживання та утилізація активованого вугілля (кг/т Cu) за тарифом 6,5 ATS/кг	1,4	9,1
Споживання електроенергії (кВт-год/т) за тарифом 0,9 ATS/кВт-год	17,51	15,76
Усього витрат		~ 107 (7,78)
Джерело: Австрійські дані про витрати в [157, Winter, B. et al. 1999]		

Таблиця 13.27: СКВ

Селективне каталітичне відновлення для відновлення оксидів азоту		
Вхідні дані: Обсяг вихлопного газу 20 000 $Нм^3$/год	Кількість виробленого металу: 18 000 т/рік чорної міді. 6300 годин роботи/рік	
Вихідні дані: NO_X < 100 мг/$Нм^3$, 98 % зниження викидів ПХДД/Ф		
Опис		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	10	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	1,03	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		57,2 (4,16)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат)	2	11,11 (0,81)
Пропорційні витрати		
Витрати на аміак (кг/т Cu) за тарифом 1,8 ATS/кг	2,07	3,73
Заміна каталізатора ($м^3$/рік) за тарифом 200 000 ATS/$м^3$	0,5	5,56
Енергія для повторного нагріву (МДж/т) за тарифом 60 ATS/ГДж	284	17,01
Споживання електроенергії (кВт-год/т) за тарифом 0,9 ATS/кВт-год	19,03	17,13
Усього витрат		~ 112 (8,14)
Джерело: Австрійські дані про витрати в [157, Winter, B. et al. 1999]		

Наступні дані були надані у 2007 році Німеччиною для перегляду ДДНДТ для підприємств кольорової металургії.

Капітальні витрати на заходи з контролю виходів та обладнання варіюються в залежності від типу заводу. Тоді як витрати на модернізацію наявних заводів можуть бути дуже високими, інтегровані заходи щодо боротьби із забрудненням на нових заводах можуть бути економічно більш вигідними. До факторів, що визначають капітальні витрати на систему тканинних фільтрів, належать:

- обсяг відхідних газів, що підлягають очищенню;
- характеристики відхідних газів (вміст пилу та вологи, температура, присутність агресивних компонентів);
- необхідність дозування добавок або рециркуляції димового пилу (додаткові трубопроводи, силоси, системи транспортування;
- доступна площа під будівництво; тип будівництва (варіанти комплектації, фундамент неглибокого закладання або пальовий фундамент, загальна висота, площа фільтра, кількість відсіків, маршрут повітропроводів тощо);
- необхідна висота димової труби або потреба у футеруванні димової труби (в залежності від складу відхідних газів);
- необхідне вимірювальне обладнання (платформа, обладнання для безперервного вимірювання, доступ);
- розширений обсяг постачання (холодильник для відпрацьованих газів, компресори тощо).

Відхідні гази з низьким вмістом пилу (наприклад, відхідні гази із вторинного ковпака з вмістом дрібнодисперсного пилу < 50 мг/Нм^3) зазвичай потребують додавання добавки (наприклад, вапна) для підвищення ефективності уловлювання пилу. Це не тільки різко збільшує вміст пилу в неочищеному газі, але й обсяг вловленого пилу, який необхідно утилізувати. Для вологих та/або агресивних відхідних газів може знадобитися підігрів фільтра або нанесення на нього антикорозійного покриття.

На момент публікації керівних принципів VDI (2007 р.) капітальні витрати на рукавний фільтр, розрахований на швидкість потоку відпрацьованих газів близько 100 000 м^3/год, з урахуванням вентилятора і фільтрувального матеріалу, склали близько 650 000 євро (відхідні гази із вторинного ковпака з низьким вмістом пилу) або близько 950 000 євро (технологічні відхідні гази з підвищеним вмістом пилу). Загальні витрати на систему фільтрів, з урахуванням сталевозалізобетонних конструкцій, повітропроводів, димової труби та іншого обладнання (див. вище), може в три або чотири рази перевищувати капітальні витрати на фільтр [219, VDI 2007].

Споживання електроенергії є найбільшим джерелом експлуатаційних витрат. Залежно від площі фільтра, опору фільтра, складу та концентрації пилу, питоме споживання електроенергії тканинним фільтром становить від 2 кВт-год до 3 кВт-год на 1000 м^3 відхідного газу. Якщо через використання спеціальної добавки пил, вловлений у фільтрувальній системі, не може оброблятися далі для вилучення металу і повинен бути підданий захороненню, додаткові витрати будуть значними.

13.3.5.2 Боротьба з викидами в повітря — алюмінієва промисловість

Наступні дані про витрати наведені для систем боротьби з викидами, що використовуються у процесах виробництва вторинного алюмінію, та були надані Австрією. Вартість вказана в австрійських шилінгах (ATS) та євро (EUR**);** наведені інвестиційні, експлуатаційні витрати та витрати на утилізацію для конкретних об'єктів [142, Boin, U. et al. 1998].

Таблиця 13.28: Сухий скрубер та рукавний фільтр

Вдування вапна з рукавним фільтром		
Вхідні дані: Обсяг відпрацьованого газу 40 000 $Нм^3$/год, що містить ~ 600 мг пилу/$Нм^3$, 500 мг SO_2/$Нм^3$, 300 мг HCl/$Нм^3$ та 50 мг HF/$Нм^3$	Кількість виробленого металу: 40 000 т/рік Al. 5500 годин роботи/рік	
Вихідні дані: < 5 мг пилу/$Нм^3$, < 300 мг SO_2/$Нм^3$, < 30 мг HCl/$Нм^3$ та < 5 мг HF/$Нм^3$		
Опис		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	15	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	1,54	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		38,61 (2,81)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат)	3	11,25 (0,82)
Пропорційні витрати		
Споживання CaO (кг/т Al)	22	22
Споживання електроенергії (кВт-год/год)	102	14,03
Витрати на технології		86 (6,25)
Утилізація пилу з фільтра (кг/т Al)	35–60	70–240 (5,09–17,44)
Усього витрат		~ 156-326 (11,34-23,69)
Примітка: на діапазон загальних витрат впливає коливання витрат на утилізацію пилу з фільтра. Цей фактор сильно відрізняється в країнах ЄС. *Джерело*: [142, Boin, U. et al. 1998]		

Таблиця 13.29: Напівсухий скрубер та рукавний фільтр

Введення напівсухого вапна з рукавним фільтром та рециркуліцією абсорбенту		
Вхідні дані: Обсяг відпрацьованого газу 40 000 $Нм^3$/год, що містить ~ 600 мг пилу/$Нм^3$, 1000 мг SO_2/$Нм^3$, 300 мг HCl/$Нм^3$ та 50 мг HF/$Нм^3$	Кількість виробленого металу: 40 000 т/рік Al. 5500 годин роботи/рік	
Вихідні дані: < 5 мг пилу/$Нм^3$, < 200 мг SO_2/$Нм^3$, < 10 мг HCl/$Нм^3$, < 1 мг HF/$Нм^3$ та < 0,1 нг МТЕ ПХДД/Ф/$Нм^3$		
Опис		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	20	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	2,06	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		51,48 (3,74)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат)	3	15 (1,09)
Пропорційні витрати		
Споживання CaO (кг/т Al)	22	22
Споживання активованого вугілля (кг/т Al)	1	3,5
Споживання електроенергії (кВт-год/год)	110	15,13
Витрати на технології		107,11 (7,78)
Утилізація пилу з фільтра (кг/т Al)	35–60	70–240 (5,09–17,44)
Усього витрат		~ 180–350 (13,08–25,44)
Примітка: на діапазон загальних витрат впливає коливання витрат на утилізацію пилу з фільтра. Цей фактор сильно відрізняється в країнах ЄС. *Джерело*: [142, Boin, U. et al. 1998]		

Таблиця 13.30: Напівсухий скрубер та рукавний фільтр

Введення напівсухого бікарбонату натрію з рукавним фільтром та рециркуліцією абсорбенту для газу, що не містить діоксид сірки		
Вхідні дані: Обсяг відпрацьованого газу 40 000 $Нм^3$/год, що містить ~ 600 мг/$Нм^3$ пилу	Кількість виробленого металу: 40 000 т/рік Al. 5500 годин роботи/рік	
Вихідні дані: < 5 мг пилу/$Нм^3$, < 0,1 нг ПХДД/Ф/$Нм^3$		
Опис		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	14	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	1,44	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		36,04 (2,62)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат)	3	10,5 (0,76)
Пропорційні витрати		
Споживання $NaHCO_3$ (кг/т Al) за тарифом 3 ATS/кг	12	36
Споживання електроенергії (кВт-год/т) за тарифом 1 ATS/кВт-год	110	15,13
Витрати на технології		97,67 (7,1)
Утилізація пилу з фільтра (кг/т Al)	15–30	15–30 (1,09–2,18)
Усього витрат		~ 110–130 (7,99–9,45)
Примітка: на діапазон загальних витрат впливає коливання витрат на утилізацію пилу з фільтра. Цей фактор сильно відрізняється в країнах ЄС. У цьому конкретному прикладі пил з фільтра на основі на бікарбонату натрію та хлориду натрію та є придатним для обробки в процесі відновлення солі. *Джерело*: [142, Boin, U. et al. 1998]		

Таблиця 13.31: Мокрий скрубер та електростатичний фільтр

Мокрий скрубер з електростатичним фільтром		
Вхідні дані: Обсяг відпрацьованого газу 40 000 $Нм^3$/год, що містить ~ 600 мг пилу/$Нм^3$, 1000 мг SO_2/$Нм^3$, 300 мг HCl/$Нм^3$ та 50 мг HF/$Нм^3$	Обсяг виробленого металу: 40 000 т/рік Al. 5500 годин роботи/рік	
Вихідні дані: ~ 5–15 мг пилу/$Нм^3$, < 50 мг SO_2/$Нм^3$, < 5 мг HCl/$Нм^3$ та < 1 мг HF/$Нм^3$		
Опис		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	17	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	1,75	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		43,76 (3,18)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат)	2	8,5 (0,62)
Пропорційні витрати		
Споживання води ($м^3$/т Al) та утилізація стічних вод	0,3	1,5–9
Споживання CaO (кг/т Al)	11	11
Споживання електроенергії (кВт-год/год)	90	12,38
Витрати на технології		77,14–84,64 (5,61–6,15)
Утилізація пилу з фільтра (кг/т Al)	10–35	20–140 (1,45–10,17)
Утилізація нейтралізованого шлаку (кг/т Al)	15	22,5–45 (1,64–3,28)
Усього витрат		~ 120–270 (8,72–19,62)
Примітка: на діапазон загальних витрат впливає коливання витрат на утилізацію пилу з фільтра. Цей фактор сильно відрізняється в країнах ЄС. *Джерело*: [142, Boin, U. et al. 1998]		

Таблиця 13.32: Напівсухий скрубер, вдування активованого вугілля та рукавний фільтр

Комбінація вдування напівсухого вапна та активованого вугілля з рукавним фільтром		
Вхідні дані: Обсяг відпрацьованого газу 40 000 $Нм^3$/год, що містить ~ 600 мг пилу/$Нм^3$, 1000 SO_2/$Нм^3$, 300 мг HCl/$Нм^3$ та 50 мг HF/$Нм^3$	Кількість виробленого металу: 40 000 т/рік Al. 5500 годин роботи/рік	
Вихідні дані: < 5 мг пилу/$Нм^3$, < 50 мг SO_2/$Нм^3$, < 5 мг HCl/$Нм^3$, < 1 мг HF/$Нм^3$ та зниження викидів PCDD/F до менше ніж 0,1 нг MTE/$Нм^3$		
Опис		Витрати ATS/т металу (євро/т металу)
Елементи річних витрат		
Інвестиційні витрати (мільйонів ATS)	22	
Кількість років	15	
Процентна ставка (%)	6	
Щорічна сума погашення, враховуючи процент (мільйонів ATS/рік)	2,27	
Пропорційні витрати, враховуючи процент		56,63 (4,16)
Технічне обслуговування та зношення (% інвестиційних витрат)	3	16,5 (1,2)
Пропорційні витрати		
Споживання CaO (кг/т Al)	11	11
Споживання активованого вугілля (кг/т Al)	1	3,5
Споживання електроенергії (кВт-год/год)	160	22
Витрати на технології		109,63 (7,97)
Утилізація пилу з фільтра (кг/т Al)	25–50	50–200 (3,63–14,53)
Усього витрат		~ 160–310 (11,63–22,53)
Примітка: на діапазон загальних витрат впливає коливання витрат на утилізацію пилу з фільтра. Цей фактор сильно відрізняється в країнах ЄС. *Джерело*: [142, Boin, U. et al. 1998]		

13.3.5.2.1 Витрати, пов'язані з десульфуризацією ($deSO_X$)

Дані про витрати були зібрані для різних процесів та систем боротьби з викидами. Деякі витрати включені, де це можливо, з прикладами, наведеними раніше в цій главі. Дані про витрати дуже залежать від конкретного об'єкта та від низки факторів, але наведені діапазони можуть дозволити зробити деякі порівняння.

У Нідерландах було здійснено порівняння економічної ефективності методів боротьби з викидами SO_X на двох плавильних заводах. Використовуваний економічно ефективний метод — це метод, описаний в Розділі 4.13 Нідерландських керівних принципів щодо викидів у повітря (NeR (Netherlands Emission Guidelines for Air)), а також у ДДНДТ про економічні та міжсередовищні наслідки, як показано в Таблиці 13.33 [241, Infomil 2008]

Таблиця 13.33: Економічна ефективність за методологією NeR

Витрати, ефекти та економічна ефективність	Завод A	Завод B
Витрати:		
Загальний обсяг інвестицій (млн євро)	32,4	23,5
Капітальні витрати (тис. євро)	4975	3839
Фіксовані експлуатаційні витрати (тис. євро)	1002	680
Змінні експлуатаційні витрати (тис. євро)	7571	1624
Загальні валові (або чисті) річні витрати (тис. євро)	13 548 (A)	6143
Ефекти:		
Річне навантаження незнижених викидів (тис. тонн)	2,67	2,0
Річні залишкові викиди (тис. тонн)	0,45	0,3
Уникнення викиду SO_2 (тис. тонн)	2,2 (B)	1,7
Економічна ефективність (євро на кг):		
- з повторним нагрівом газу (A/(B1000)) (для запобігання утворенню блакитного туману)	6,2	
- без повторного нагріву газу	3,7	3,6
Джерело: дані від [303, ENVIRONNEMENT CANADA 2008]		

Інші дані про витрати надані нижче, щоб можна було порівняти витрати на процеси та системи боротьби з викидами в усій кольоровій металургії:

- Мокрий скрубер з морською водою: 1600–2800 євро/т SO_2 (річна основа) [421, EAA, 2014];
- Скрубер з NaOH або з кальцинованою содою: 1367–3000 євро/т SO_2 (річна основа); один зразковий завод у Норвегії, чотири у США;
- подвійний лужний скрубер: 1183–1270 євро/т SO_2 (річна основа);
- кальцій (карбонат): 3300–3700 євро/т SO_2 (річна основа) [421, EAA, 2014];
- кальцій (вапно): 1954 євро/т SO_2 (річна основа).

13.3.5.3 Установка з виробництва сірчаної кислоти

Таблиця 13.34: Установка з виробництва сірчаної кислоти мідеплавильного заводу

Секція охолодження та очищення газу, установка з виробництва сірчаної кислоти подвійного контактування/подвійної абсорбції. Застосовується до мідеплавильного заводу		
Система охолодження та очищення газу	Секція мокрого охолодження та очищення газу для комбінованого газу SO_2 в газах печі та конвертера	Секція мокрого охолодження та очищення газу для комбінованого газу SO_2 в газах печі та конвертера
Обладнання, що постачається	2 скрубери з радіальним потоком, 3 лінії з 2 паралельними мокрими ЕСФ, кислотний холодильник та насоси циркуляції кислоти, 2 градирні, циркуляція охолоджувального середовища 2200 $м^3$/год.	1 скрубер зі зворотним струменем, 1 градирня, 3 лінії з мокрими ЕСФ першого етапу, 2 лінії з мокрими ЕСФ другого етапу, кислотний холодильник, машина для очищення від SO_2, насоси циркуляції кислоти, 2 градирні, стоки слабкої кислоти 6-24 $м^3$/год.
Контактна кислотна установка	Установка з виробництва сірчаної кислоти подвійного каталізу	Установка з виробництва сірчаної кислоти подвійного каталізу
Обладнання, що постачається	Одноріvчаковий перетворювач з 4 проходами з міжпрохідною абсорбцією після другого проходу	Одноріvчаковий перетворювач з 5 проходами з міжпрохідною абсорбцією після третього проходу
Вихідні дані очищення газу: Температура експлуатації Потік газу Ефективність осадження для пилу	 370 °C на вході, 27 °C на виході 91 000–123 000 $Нм^3$/г 96,7 %	 370 °C на вході, 27 °C на виході 45 000-115 000 $Нм^3$/г 96,7 %
Вихідні дані контактної установки Потік газу SO_2 Перетворення SO_2/SO_3 Виробництво H_2SO_4	 91 000–123 000 $Нм^3$/г 10–15,1 % (в сер. 13 %) > 99,5 % 1700 т/день	 45 000-115 000 $Нм^3$/г 6–11,3 % > 99,5 % 1350 т/день
Витрати на установку	44–45 мільйонів євро	51–52 мільйонів євро
Основні показники споживання: Електроенергія Мазут Природний газ Каталізатор	([1]) 75–80 кВт-год/т кислоти 3–4 $Нм^3$/т кислоти 0,02–0,04 л/т кислоти	([1]) 55–60 кВт-год/т кислоти 2–3 кг/т кислоти 0,02–0,04 л/т кислоти
Робота	0,1 г/т кислоти ([1])	0,1 г/т кислоти ([1])
([1]) т кислоти = тонни із розрахунку номінальних режимів установки з виробництва сірчаної кислоти. *Джерело*: [90, Traulsen, H. 1998]		

Таблиця 13.35: Установка з виробництва сірчаної кислоти

Установки з виробництва сірчаної кислоти. Застосовується до заводів з виплавки свинцю/олова			
Рік	**Компоненти**	**Витрати (євро за т кислоти/рік)**	**Виробництво кислоти**
1995	Установка подвійного контактування/подвійної абсорбції	40	800 000 т кислоти/р
1996	Установка подвійного контактування/подвійної абсорбції + видалення Hg	155 120	100 000 т кислоти/р 200 000 т/р кислоти
1997	Установка подвійного контактування/подвійної абсорбції + видалення Hg	130 100	100 000 т кислоти/р 200 000 т/р кислоти
2009	Додавання 5-го шару зі збільшенням потужності повітродувки	Загальні витрати 8 мільйонів євро	Оновлена інформація про витрати, надана Lurgi (Outotec)
2009	Заміна каталізатора в 4-му шарі для включення активованого цезієм каталізатора	Загальні витрати 700 000 євро	Оновлена інформація про витрати, надана Lurgi (Outotec)
2009	Скрубер H_2O_2 для установки з виробництва кислоти потужністю 1 000 000 т/рік	Загальні витрати 25 мільйонів євро	Оновлена інформація про витрати, надана Lurgi (Outotec)
Джерело: [117, Krüger, J. 1999]			

13.3.5.4 Система обробки стічних вод

Таблиця 13.36: Нейтралізація слабкої кислоти

Нейтралізація слабкої кислоти з установки з виробництва сірчаної кислоти та інших кислих технологічних вод	
Обладнання системи	Згущувачі, резервуари, насоси, фільтрперс
Застосування	Слабка кислота, що виникає в результаті потоку газу SO_2 200 000 $Нм^3$/год
Основи проєктування Потік	 32 $м^3$/год слабкої кислоти
Витрати на установку	2,5 мільйони євро ([1])
Основні показники споживання: Електроенергія Вапняне молоко (10 %) H_2SO_4 (10 %) $FeSO_4.7\ H_2O$	 200 кВт 15 $м^3$/год 0,8 $м^3$/год 80 кг/год
([1]) Будівельні роботи, монтаж тощо виключено; до витрат на установку необхідно додати приблизно 90–110 %. *Джерело*: [195, Lurgi, A.G. et al. 1991]	

Вартість установки з очищення відпрацьованих вод потужністю 350–400 $м^3$/год для заводу з виробництва цинку/свинцю потужністю 140 000 т металу /рік з обробкою вапном та $FeCl_3$, відстійними резервуарами та фільтрпресом для осаду склала 3 млн євро (у 2005 р.). Місцева обробка для слабкої кислоти здійснюється з додатковими витратами.

14 ГЛОСАРІЙ

Цей глосарій призначений для полегшення розуміння інформації, що міститься у цьому документі. Визначення термінів у цьому глосарії не є юридичними визначеннями (навіть якщо деякі з них можуть збігатися з визначеннями, що наведені в європейському законодавстві), вони призначені для того, щоб допомогти читачеві зрозуміти деякі ключові терміни в контексті їх використання в конкретній галузі, що охоплюється цим документом.

Цей глосарій поділений на такі розділи:

I. ISO коди країн
II. Грошові одиниці
III. Префікси одиниць вимірювання, роздільники чисел та позначення
IV. Одиниці вимірювання та фізичні величини
V. Хімічні елементи
VI. Хімічні формули, які застосовуються в цьому документі
VII. Акроніми та визначення

I. ISO коди країн

ISO код	Країна
Країни-члени (*)	
AT	Австрія
BE	Бельгія
BG	Болгарія
CZ	Чеська Республіка
DE	Німеччина
ES	Іспанія
FI	Фінляндія
FR	Франція
IT	Італія
NL	Нідерланди
PL	Польща
PT	Португалія
SE	Швеція
UK	Сполучене Королівство Великої Британії та Північної Ірландії
Країни, що не є членами	
CH	Швейцарія
NO	Норвегія
US	Сполучені Штати Америки

(*) Протокольний порядок країн-членів ґрунтується на алфавітному порядку їх географічних назв мовою (мовами) оригіналу.

II. Грошові одиниці

Код ([1])	Країна/територія	Валюта
Валюти країн-членів		
EUR	Країни єврозони ([2])	євро
ATS	Австрія	Австрійський шилінг
DEM	Німеччина	Німецька марка
GBP	Сполучене Королівство Великої Британії та Північної Ірландії	фунт стерлінгів (інв.)
PLN	Польща	злотий (мн. злоті)
SEK	Швеція	крона (мн. крони)
Інші валюти		
USD	Сполучені Штати Америки	Долар США
([1]) Коди ISO 4217. ([2]) До них належать Австрія, Бельгія, Кіпр, Естонія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Греція, Ірландія, Італія, Латвія, Литва, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Португалія, Словаччина, Словенія та Іспанія.		

III. Префікси одиниць вимірювання, роздільники чисел та позначення

Числа в цьому документі записуються з використанням символу «,» в якості десяткового роздільника і пробілу в якості роздільника тисяч.

Символ ~ (приблизно; близько) — це позначення, що використовується для наближеного значення.

Символ Δ (дельта) — це позначення, яке використовується для відмінностей.

Наступна таблиця містить префікси, що часто використовуються:

Символ	Префікс	10^n	Слово, що позначає	Десяткове число
T	тера	10^{12}	Трильйон	1 000 000 000 000
G	гіга	10^9	Мільярд	1 000 000 000
M	мега	10^6	Мільйон	1 000 000
k	кіло	10^3	Тисяча	1000
h	гекто	10^2	Сто	100
da	дека	10^1	Десять	10
-------	-------	1	Один	1
d	деци	10^{-1}	Десята	0,1
c	санти	10^{-2}	Сота	0,01
м	мілі	10^{-3}	Тисячна	0,001
мк	мікро	10^{-6}	Мільйонна	0,000001
н	нано	10^{-9}	Мільярдна	0,000000001

IV. Одиниці вимірювання та фізичні величини

Символ одиниці вимірювання	Найменування одиниці вимірювання	Найменування фізичної величини (символ фізичної величини)	Конвертація та коментарі
бар	бар	Тиск (P)	1,013 бар = 100 кПа = 1 атм
°C	градус Цельсія	Температура (T) Різниця температур (AT)	
д	день	Час	
г	грам	Вага	
год	година	Час	
Дж	джоуль	Енергія	
K	Кельвін	Температура (T) Різниця температур (AT)	0 °C = 273,15 K
кг	кілограм	Вага	
кДж	кілоджоуль	Енергія	
кПа	кілопаскаль	Тиск	
кВт-год	кіловат-година	Енергія	1 кВт-год = 3600 кДж
л	літр	Об'єм	
lb	фунт	Вага	
м	метр	Довжина	
$м^2$	квадратний метр	Площа	
$м^3$	кубічний метр	Об'єм	
мг	міліграм	Вага	1 мг = 10^{-3} г
мм	міліметр		1 мм = 10^{-3} м
хв	хвилина		
МВт $_{ел.}$	мегавати електроенергії (енергія)	Електроенергія	
МВт теплової енергії	мегавати теплової (енергії)	Теплова енергія, Тепло	
$Нм^3$	нормальний кубічний метр	Об'єм	за 101,325 кПа, 273,15 K
Па	паскаль		1 Па = 1 $Н/м^2$
ppb	часток на мільярд	Склад сумішей	1 ppb = 10^{-9}
ppm	часток на мільйон	Склад сумішей	1 ppm = 10^{-6}
ppmv	часток на млн об'єму	Склад сумішей	
об/хв	оберти за хвилину	Швидкість обертання, частота	
т	метрична тонна	Вага	1 т = 1 000 кг або 10^6 г
т/д	тонн на день	Масовий потік Споживання матеріалу	
т/р	тонн на рік	Масовий потік Споживання матеріалу	
% об.	процентний вміст за об'ємом	Склад сумішей	
% мас.	процентний вміст за масою	Склад сумішей	
Вт	ват	Потужність	1 Вт = 1 Дж/с
р.	рік	Час	
мкм	мікрометр	Довжина	1 мкм = 10^{-6} м

V. Хімічні елементи

Символ	Найменування	Символ	Найменування
Ag	Срібло	Mg	Магній
Al	Алюміній	Mn	Марганець
As	Миш'як	Mo	Молібден
Au	Золото	H	Азот
B	Бор	Нд	Натрій
Ba	Барій	Nb	Ніобій
Be	Берилій	Ni	Нікель
Bi	Вісмут	O	Кисень
C	Вуглець	Os	Осмій
Ca	Кальцій	P	Фосфор
Cd	Кадмій	Pb	Свинець
Cl	Хлор	Pd	Паладій
Co	Кобальт	Pt	Платина
Cr	Хром	Re	Реній
Cs	Цезій	Rh	Родій
Cu	Мідь	Ru	Рутеній
F	Фтор	B	Сірка
Fe	Залізо	Sb	Сурма
Ga	Галій	Se	Селен
Ge	Германій	Si	Кремній
H	Водень	Sn	Олово
He	Гелій	Ta	Талій
Hg	Ртуть	Te	Телур
I	Йод	Ti	Титан
In	Індій	Tl	Талій
Ir	Іридій	V	Ванадій
K	Калій	W	Вольфрам
Li	Літій	Zn	Цинк

VI. Хімічні формули, які застосовуються в цьому документі

Хімічна формула	**Назва (пояснення)**
Al_2O_3	Оксид алюмінію
CaO	Оксид кальцію, вапно
D2EHPA	Ді(2-етилгексіл) фосфорна кислота
FeO	Оксид заліза
H_2O_2	Перекис водню
H_2S	Сірководень
H_2SO_4	Сірчана кислота
HCl	Соляна кислота
HF	Фтороводень
HNO_3	Азотна кислота
K_2O	Оксид калію
MgO	Оксид магнію, Магнезія
MnO	Оксид марганцю
NaOH	Гідроксид натрію Також іменований каустичною содою
NO_2	Діоксид азоту
NO_X	Сума оксиду азоту (NO) та діоксиду азоту (NO_2), виражена як NO_2
PbO	Оксид свинцю
SiO_2	Кремнезем, оксид кремнію
SO_2	Діоксид сірки
SO_3	Триоксид сірки
SO_X	Діоксид сірки - SO_2 та SO_3
ZnO	Оксид цинку

VII. Акроніми та визначення

Використовуваний термін	Визначення
Точність	Пов'язана із вимірюваними значеннями. Це оцінка того, наскільки вимірювання близькі до прийнятого або істинного значення. Хімічні засоби відомої чистоти та/або концентрації використовуються для оцінювання точності Ці засоби, відомі як «стандарти», аналізуються з використанням того ж методу, яким вимірюються проби. Точність ніколи не слід плутати з прецизійністю: прецизійність вимірює, наскільки точно можуть бути відтворені результати аналізу.
Досягнуті екологічні переваги	Основний(-і) фактор(-и) впливу на довкілля, який має бути усунений за допомогою технології (процесу або боротьби з викидами), з урахуванням досягнутих значень викидів та показників ефективності. Екологічні переваги технології в порівнянні з іншими.
Кислота	Донор протонів — речовина, що більш-менш легко віддає іони водню у водному розчині.
Утворення кислоти	Виникнення кислотності незалежно від її впливу на прилеглі порові води або від того, чи матеріал утворює або нейтралізує кислоту.
Підкислення	Додавання кислоти до речовини для досягнення кислотних властивостей.
Кислотність	Міра здатності розчину нейтралізувати сильну основу.
Гостра токсичність	Несприятливий вплив, що виникає внаслідок одноразової дози або одноразової дії хімічної речовини; будь-який отруйний ефект, спричинений протягом короткого періоду, зазвичай, менше ніж 96 годин. Цей термін зазвичай використовується для опису ефектів для лабораторних тварин. Гостру токсичність вимірюють шляхом визначення значення $ЛД_{50}$.
Сильне забруднення	Забруднення, що виникає внаслідок нечастих явищ, незапланованих явищ або аварій (див. також: хронічне забруднення).
Адсорбція	Процес на поверхні. Накопичення молекул газу або рідини з утворенням тонкої плівки на поверхні твердої речовини (поверхнева асиміляція).
Переваги	Див.: Вигоди.
AEL	Відповідні (пов'язані) рівні викидів.
Допалювач	Спеціально спроєктована додаткова установка спалювання із системою пальників (не обов'язково використовується постійно), яка забезпечує час, температуру та турбулентність із достатньою кількістю кисню для окиснення органічних сполук до вуглекислого газу. Установки можуть бути спроєктовані таким чином, щоб використовувати енергію, що міститься у неочищеному газі, для забезпечення більшої частини теплової потужності та бути більш енергоефективними.
Агломерат	Сукупність агрегатів, нещільно пов'язаних між собою в окремих точках
Заповнювач	Сукупність первинних часток, які злилися, утворивши структуру спікання «лице в лице».
Повітряний класифікатор або ACCU	Машинне обладнання для відділення пилу (< 0,05 мм) та дрібних часток від сухого сировинного матеріалу (< 10 мм) або обладнання для видалення дрібнодисперсних та крупнодисперсних фракцій з повітряного потоку.
Луг	Акцептор протонів — речовина, що більш-менш легко поглинає іони водню у водному розчині.
Лужність	Міра здатності розчину нейтралізувати сильну кислоту.
Сплав	Метал, що є комбінацією в розчині або сполуці двох або більше елементів, принаймні один з яких є металом, і при цьому отриманий матеріал має металеві властивості.
Аналіз	Характеристика природи проби. Характеристика природи проби. Аналіз у порівнянні з оцінкою: формальне, зазвичай кількісне визначення наслідків дії (як у аналізі ризику та аналізі впливу).
Кут природного укосу	Максимальний нахил, за якого купа будь-якого сипкого або роздробленого твердого матеріалу стоятиме, не зісковзуючи та не зупиняючись під час насипання або скидання у купу або на схил.
Аніон	Негативно заряджений іон — іон, який притягується до анода в електрохімічних реакціях.
Річні капітальні витрати	Рівні або рівномірні платежі, що здійснюються щороку протягом експлуатаційного строку служби запропонованої техніки. Сума всіх платежів має таку ж «приведену вартість», як і початкові інвестиційні витрати. Річні капітальні витрати на актив відбивають альтернативні витрати на володіння активом для інвестора.

Використовуваний термін	Визначення
Відпалювання	Процес термічної обробки, в якому сплав пом'якшується за рахунок повільного охолодження металу в інтервалі критичних температур.
Анод	Позитивний електрод.
Анодування	Анодне окиснення — електролітичний процес, у якому поверхневий шар металу, наприклад, алюмінію, магнію або цинку, перетворюється на покриття, зазвичай оксидне, що має захисні, декоративні або функціональні властивості.
Застосовність	Розгляд факторів, пов'язаних із застосуванням і модернізацією технології, наприклад, наявність місця, особливості процесу.
Затвердження (продукту, процесу або послуги)	Дозвіл на продаж або використання продукту, процесу або послуги для зазначених цілей або за встановлених умов.
Затвердження (випробувальної лабораторії)	Дозвіл, що видається компетентним органом випробувальній лабораторії для виконання нормативних вимірювань, контролю або інспекції у певній галузі.
Конвертер AOD	Конвертер, що використовує аргоно-кисневе зневуглецювання.
Оцінка	Перевірка рівня відповідності набору спостережень та відповідного набору критеріїв, достатніх для поставлених цілей, для прийняття рішення. Крім того, поєднання аналізу з діяльністю, пов'язаною з політикою, такою як виявлення проблем та порівняння ризиків та вигод (наприклад, оцінка ризиків та оцінка впливу).
Метод оцінювання викидів	Набір зв'язків між вимірюваними даними, фізичними властивостями, метеорологічними даними та розрахунковими даними, що стосуються обладнання або параметрів процесу та призначені для розрахунку або оцінювання викидів або коефіцієнтів викидів.
Супутні викиди у повітря	У цьому документі вони наведені як середньодобові значення на основі безперервного моніторингу за стандартних умов 273 K, 101,3 кПа, вимірюваного вмісту кисню та сухого газу без розведення газів повітрям. У випадках, коли безперервний моніторинг неможливий, вони наводяться як середні значення за період відбору проб.
Супутні викиди у воду	Вони засновані на кваліфікованій випадковій пробі або складеній пробі за 24 години.
Автоматизована вимірювальна система	Система для вимірювання досліджуваного матеріалу, що відбиває вихідний сигнал, пропорційний фізичній одиниці вимірювання параметра, що вимірюється, і здатна видавати результати вимірювань без втручання людини.
BaP	Бензо[*a*]пірен (використовується як індикатор вмісту ПАВ).
НДТ	Найкраща(-і) доступна(-і) технологія(-і), як визначено у статті 3(10) ДПВ.
BAT-AEL	Найкращі доступні технології — пов'язані з ними рівні викидів, як визначено у статті 3(13) ДПВ.
Ванна	Розчин хімічних речовин для обробки питомої поверхні, наприклад, травильна ванна. Це також стосується відповідного баку або робочої станції в циклі технологічних операцій.
BBOC	Кисневий купель з донним дуттям.
Вигоди	Використовується в цьому документі як синонім слова «переваги» для позначення позитивного впливу на довкілля, який вважається пов'язаним із впровадженням технології або інших екологічних заходів.
ДП	Доменна піч, вертикальна піч, в якій використовуються фурми для вдування нагрітого або холодного повітря в шихту печі для плавки вмісту. (Також відома як подова шахтна піч, ватержакетна піч та шахтна піч для виробництва свинцю).
Біонакопичення	Властивість речовини, яка робить її доступною і потенційно здатною впливати на здоров'я організму. Залежить від умов конкретного об'єкта.
Біорізноманіття	Кількість і різноманітність різних організмів у екологічних комплексах, у яких вони зустрічаються у природі. Організми організовані на багатьох рівнях, починаючи від цілих екосистем та закінчуючи біохімічними структурами, що є молекулярною основою спадковості. Таким чином, цей термін охоплює різні екосистеми, види та гени, які повинні бути присутніми у здоровому довкіллі. Велика кількість видів має характеризувати харчовий ланцюг, представляючи численні відносини хижака та жертви.
Біовилуговування	Процес розчинення мінералів за допомогою бактерій.

Використовуваний термін	Визначення
БСК	Біохімічне споживання кисню — кількість розчиненого кисню, необхідна мікроорганізмам для розкладання органічних речовин. Одиниця вимірювання мг O_2/л. У Європі БСК зазвичай вимірюють через три ($БСК_3$), п'ять ($БСК_5$) або сім ($БСК_7$) днів.
Дихання	Викиди газу через зміну навколишньої температури, зазвичай денне нагрівання вмісту резервуарів для зберігання.
ДДНДТ	Довідковий документ за найкращими доступними технологіями.
BSS	Посилена система всмоктування (boosted suction system).
Обвалування	Обвалування резервуарного парку (або насип) призначене для утримання великих обсягів розливів, наприклад, викликаних розривом корпусу або сильним переповненням. Обвалування складається зі стіни навколо резервуару (або резервуарів) зовні для утримування будь-якого продукту у малоймовірному випадку розливу. Обвалування зазвичай будується з добре ущільненого ґрунту або залізобетону. Об'єм зазвичай розрахований на вміст найбільшого резервуара в обвалуванні.
Калібрування	Набір операцій, який встановлює в певних умовах систематичні розбіжності, які можуть існувати між значеннями вимірюваного параметра та значеннями, зазначеними вимірювальною системою (з відповідними значеннями, наведеними стосовно конкретної «еталонної» системи, включно з еталонними матеріалами та їхніми допустимими значеннями). Примітка: результат калібрування дозволяє або призначити показам значення вимірюваних параметрів, або визначити поправки щодо показів.
Канцерогенний матеріал	Матеріал, який, як відомо, викликає рак у людини.
Відливок	Загальний термін, який використовується для продуктів у їх готовій формі або у близькій до готової формі, утворених шляхом затвердіння металу або сплаву у формі (ISO 3134-4: 1985).
Катод	Негативний електрод.
Катіон	Позитивно заряджений іон – іон, який притягується до катода в електрохімічних реакціях.
Каустична сода	Гідроксид натрію
CEFIC	Європейська рада хімічної промисловості (від французької назви Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique)
CEN	Comité Européen de Normalisation (Європейський комітет зі стандартизації).
CFD	Обчислювальна гідродинаміка — технологія моделювання, що використовується для прогнозування потоку і температури газу в установках для спалювання та інших системах.
ХСК	Хімічне споживання кисню, що показує кількість органічних речовин, що піддаються хімічному окисненню, в стічних водах (зазвичай стосується аналізу з окисленням дихромату) відповідно до ISO 15705:2002.
Горючий матеріал	Матеріал, який продовжує проявляти реакцію горіння з повітрям з нормальним складом та тиском навіть після видалення джерела займання.
Оцінка відповідності	Процес порівняння фактичних викидів забруднювальних речовин від установки (виробничого комплексу) з допустимими граничними значеннями викидів у межах визначеної міри достовірності.
Компонент	Речовина, що міститься у суміші, наприклад, у стічних водах, відпрацьованому газі або повітрі.
Комплексний відбір проб	Проба, підготовлена оператором або автоматичним пристроєм, отримана шляхом змішування декількох точкових проб.
Концентрат	Товарний продукт після операції розділення на збагачувальній фабриці з підвищеним вмістом цінних мінералів.
Вміст	Речовина, що міститься в середовищі.
Охолоджувальна вода	Вода, що використовується для передавання енергії (охолодження, нагрівання), яка знаходиться в мережі, окремої від технічної води, і може бути повернена до приймальних водоймищ без подальшої обробки.
Вплив на різні компоненти довкілля	Можливий зсув екологічного навантаження від одного об'єкта довкілля до іншого. Будь-які побічні ефекти та недоліки, спричинені застосуванням технології.
Дроблення	Досягається шляхом стиснення руди жорсткими поверхнями або за допомогою ударів об поверхню на жорстко обмеженому напрямку руху.
КТО	Каталітичний термічний окисник.
ТЗ	Теплотворна здатність, наприклад у МДж/кг.
CWPB	Камера з використанням попередньо обпалених анодів та балки продавлювання по центру.

Використовуваний термін	Визначення
Добова виробнича потужність	Маса продукції (повітряно-суха маса), яку установка може виробити за добу.
DC	Постійний струм (електропостачання).
РСУ	Розподільна система управління використовується для контролю швидкості подання вихідного матеріалу, критичних умов процесу та горіння, а також додавання газів.
Зняття з експлуатації	Зупинка установки, в тому числі очищення та/або демонтування.
Розморожування	Видалення льодяного нальоту з сировини.
Знежирення	Видалення, наскільки це можливо, нафти або мастила з компонента.
Синтез de novo	Механізм, за допомогою якого дрібні частки вуглецю вступають у реакцію з неорганічними хлоридами або органічно зв'язаним хлором у діапазоні температур від 250 °C до 500 °C і утворюють ПХДД/Ф. Цей процес каталізується в присутності таких металів, як мідь або залізо.
DeSOX	Технологія десульфуризації.
Знищення/руйнування	Наприклад, знищення відходів — це стосується процесу хімічного перетворення переважно молекулярних органічних сполук, які містяться у відходах. Вуглеводи, наприклад, перетворюються на оксиди вуглецю та водню.
Зневоднення	Процес видалення води з шахти або кар'єру, або з навколишньої горної породи або нелітифікованої зони. Цей термін також зазвичай використовується для позначення зниження вмісту води в концентратах, хвостах та осадах від очищення.
Дифузні викиди	Викиди, що виникають від безпосереднього контакту летких або легких пилоподібних речовин із навколишнім середовищем (атмосферою, за нормальних умов експлуатації). Вони можуть бути результатом: • характерної конструкції обладнання (наприклад, фільтрів, сушарок); • умов експлуатації (наприклад, під час переміщення матеріалу між контейнерами); • типу операції; • поступового попадання в інші середовища (наприклад, в охолоджувальну воду або відпрацьовану воду).
DIN	Deutsches Institut für Normung (німецька національна організація зі стандартизації)
Діоксини (ПХДД/Ф)	Поліхлоровані дибензодіоксини (ПХДД) та поліхлоровані дибензофурани (ПХДФ).
Прямі вимірювання	Конкретне кількісне визначення сполук, що викидаються з джерела.
Скидання	Фізичний викид забруднювальної речовини через певний вихідний отвір, тобто, каналізовану систему, наприклад, каналізацію, димову трубу, вентиляційний отвір, зону утримування, водовідвід
Утилізація	Визначається Рамковою директивою ЄС про відходи.
Доломіт	Тип вапняку, у карбонатній фракції якого переважає мінерал доломіт, карбонат магнію-кальцію ($CaMg(CO_3)$).
Процес DON	Процес прямої зваженої плавки нікелю Outotec.
Дренаж	Природне або штучне видалення поверхневих та підповерхневих вод з території, з урахуванням поверхневих потоків та маршрутів підземних вод.
Стимул до впровадження	Причини впровадження технології, наприклад, інше законодавство, підвищення якості продукції.
Дрос	Накип або залишки, що викидаються або виділяються із металів у процесі плавки руди або в процесі плавлення. У главі, присвяченій алюмінію, використовується термін «знімання/дрос».
Барабан	Циліндричний закритий контейнер, що обертається навколо осі.
Незношуваний анод (DSA)	Незношувані аноди — металеві аноди, які не витрачаються під час використання як графітові аноди, отже, є незношуваними.
Пил	Тверді частинки розміром від субмікроскопічного до макроскопічного будь-якої форми, структури та густини, дисперговані в газовій фазі.
EAA	Європейська асоціація алюмінію
ДЕП	Дугова електропіч.
ЕП	Електронно-променевий.
ЄАВВГ (ECGA)	Європейська асоціація вуглецю та графіту

Використовуваний термін	Визначення
ЄІМ (ECI)	Європейський інститут міді.
Економічні аспекти	Інформація про витрати (інвестиційні та експлуатаційні) та будь-яку можливу економію, наприклад, зменшення споживання сировини, витрат на відходи, також пов’язані з потужністю техніки.
ЄАД (EEA)	Європейське агентство з довкілля
ЕЕВ	Європейське екологічне бюро
Ефективність	Міра ефективності технології для досягнення певного результату. У деяких випадках вона може бути виражена як співвідношення вхідних даних до вихідних даних.
Стічні води	Фізична рідина (повітря або вода разом із забруднювальними речовинами), що утворює викид.
Електрод	Провідник, за яким електричний струм входить або виходить з електроліту в електрохімічній реакції (або електричної дуги, або вакуумної труби) (див. також: анод і катод).
Електроліз	Процес, який розкладає хімічну сполуку або створює нову сполуку під дією електричного струму. Електричний струм проходить через електролітичну камеру, і на електродах відбуваються реакції окиснення/відновлення; наприклад, вода може бути розкладена на водень та кисень за допомогою електролізу.
Електроліт	Речовина, здатна проводити електричний струм у стані розчину або розплавленому стані.
Електролітичне рафінування	Етап електролітичного рафінування, коли металевий анод розчиняється, а метал осаджується на катоді. У ванні відкладаються домішки, які називають анодним шламом.
Електровідновлення (ЕВ)	Етап електролітичного виробництва, де використовується інертний металевий анод, а потрібний метал в електроліті осаджується на катоді.
EMAS	Європейська схема екологічного менеджменту та аудиту (Регламент Ради 761/2001).
Перспективні технології	Технології з потенціалом підвищення екологічної ефективності, які ще не застосовувалися в комерційних цілях або досі знаходяться на етапі досліджень і розробок. Потенційні майбутні НДТ.
Коефіцієнт викидів	Розрахунковий середній рівень викидів конкретної забруднювальної речовини з джерела відносно обсягу продукції.
Структура викидів	Тип зміни викидів у часі, наприклад, викиди можуть бути стабільними, циклічними, з випадковими піками, випадковими змінами, непостійними.
Викиди в повітря	Маса речовин, що викидаються, виражена в: a) Концентрації: відношення маси речовини, що викидається, до обсягу відпрацьованого газу за стандартних умов (273 K, 101,3 кПа) після вирахування вмісту водяної пари, виражена в одиницях г/Нм^3, мг/Нм^3, мкг/Нм^3 або Нг/Нм^3. b) Масовому потоці: відношення маси речовини, що викидається, до часу, виражена в кг/год, г/год або мг/год. c) Питомих викидах: відношення маси речовини, що викидається, до маси продуктів, що виробляються або обробляються (коефіцієнти споживання або викидів), виражене в кг/т, г/т, мг/т або мкг/т.
Викиди у воду	Відношення маси речовин, що викидаються, до обсягу стічних вод, виражена в (г/м^3), (г/л), (мг/л) або (мкг/л).
СЕМ	Системи екологічного управління.
EN	Європейське нормування або Європейський стандарт нормування.
Технологія в кінці виробничого циклу	Технологія, що знижує кінцеві викиди або споживання з допомогою будь-якого додаткового процесу, але не змінює фундаментальних принципів роботи основного процесу.
Довкілля	Взаємопов'язані фізичні, хімічні, біологічні, соціальні, духовні та культурні компоненти, що впливають на зростання та розвиток живих організмів.
Шкідливий для довкілля матеріал	Матеріал, який може викликати гострий або хронічний вплив на екосистеми — класифікація шкідливих для довкілля матеріалів здійснюється відповідно до угод, внесених до Директиви 67/548/ЄЕС.
EPA	Агентство з охорони довкілля.
ЄФДМ (EPMF)	Європейська федерація дорогоцінних металів
Еквівалентний параметр	Параметр, пов'язаний з викидом, який надає той самий (подібний) рівень інформації з таким самим (подібним) рівнем достовірності.

Використовуваний термін	Визначення
Ерозія	Відділення та подальше видалення породи або поверхневого матеріалу вітром, дощем, хвилями, внаслідок замерзання, відтавання та інших процесів.
Похибка	Похибка вимірювань — величина, на яку спостережуваний або приблизний результат відрізняється від істинного або точного. Зазвичай вони є результатом неточності у вимірюванні значень параметрів.
Електростатичний фільтр	Електростатичний фільтр.
ЄС	Європейський Союз.
ЄС-15	Країни-члени Європейського Союзу до 1 травня 2004 року.
ЄС-25	Країни-члени Європейського Союзу з 1 травня 2004 року до 31 грудня 2006 року.
ЄС-27	Країни-члени Європейського Союзу з 1 січня 2007 року до 30 червня 2013 року.
ЄС-28	Країни-члени Європейського Союзу з 1 липня 2013 року.
EU ETS	Система торгівлі викидами Європейського Союзу.
Euroalliages	Європейська асоціація виробників феросплавів.
Eurometaux	Європейська асоціація виробників кольорових металів.
Euromines	Європейська асоціація гірничодобувної промисловості, металевих руд та промислових мінералів.
Випаровування	Фізичний процес перетворення рідини на газ.
Приклади заводів	Посилання на завод, на якому використовується технологія.
Вихлопний газ (або відпрацьоване повітря)	Потік газу/повітря, що виходить із процесів спалювання або вилучення, він може містити газоподібні компоненти або компоненти у формі твердих часток. Немає зв'язку з видаленням через димову трубу. (Див. також димовий газ, відхідний газ, відпрацьований газ).
ДДГ	Десульфуризація димового газу.
Дрібнодисперсні частки	Матеріал з дрібними частками.
Димовий газ	Суміш продуктів згорання та повітря, що виходить з камери згорання і направляється вгору в димовій трубі для викиду.
Флюс	Речовина, яка навіть у невеликих кількостях знижує температуру плавлення матеріалу, в якому вона природно присутня, наприклад, луги в глині, або матеріалу, до якого вони були додані, наприклад, бура додається в глазур.
ПЗП	Піч зваженої плавки
Неорганізовані викиди	Викиди, що виходять з процесу внаслідок відсутності системи вловлювання або несправності системи вловлювання.
Піч	Частина установки, в якій починається або здійснюється спалювання. У Додатку 13.1 до цього документа повідомляється про печі, що використовуються, і дається визначення скороченням.
Глобальне потепління	Парниковий ефект — короткохвильова сонячна радіація проходить через атмосферу Землі, але після перевипромінювання її поверхнею у вигляді інфрачервоного випромінювання його частина поглинається газами в атмосфері, викликаючи підвищення температури (відоме як глобальне потепління). Розраховано, що 55 % глобального потепління спричинено поглинанням енергії CO_2. Інші 45 % викликані переважно поглинанням енергії метаном та пошкодженням озонового шару внаслідок використання різних озоноруйнівних речовин (ОРР).
Передова практика	Підхід, що забезпечує хорошу основу певної діяльності. Вона не виключає інших підходів, які можуть бути більш придатними для певної вимоги.
Якість	Безрозмірнісна частка будь-якого компонента в руді, часто виражена у відсотках, грамах на тонну (г/т) або частках на мільйон (ppm).
Подрібнення	Процес дроблення, що дає дрібнодисперсний продукт (< 1 мм), у якому зменшення розміру досягається внаслідок стирання та ударів, а іноді підтримується вільним рухом незв'язаних середовищ, таких як стрижні, кулі та галька.
Підземні води	Частина підповерхневих вод у зоні насичення. Відрізняється від поверхневих вод.
Шкідливий матеріал	Матеріал, який у випадку вдихання або потрапляння в рот або шкіру може спричинити розлад обмеженого характеру.

Використовуваний термін	Визначення
Шкідливі речовини	Речовини або групи речовин, що мають одну або декілька небезпечних властивостей, такі як токсичність, стійкість і здатність до біоакумуляції, або класифікуються як небезпечні для людини або довкілля відповідно до Регламенту 1272/2008/ЄС щодо класифікації, маркування та пакування речовин та сумішей.
HAZOP	Дослідження факторів небезпеки та працездатності.
HCN	ціанистий водень.
Під	Частина печі.
HMIP	Інспекція Її Величності з питань забруднення (UK).
ВН	Електроенергія високої напруги.
ІП	Індукційна піч.
MABC (ILA)	Міжнародна асоціація виробників свинцю.
Імісія	Наявність та рівень забруднювальних речовин, запаху або шуму у довкіллі.
Ударна дробарка	В ударних дробарках дроблення матеріалу здійснюється переважно ударною дією молотків, які вдаряють по шматках породи, що вільно падають через камеру дробарки, і з великою швидкістю кидають їх на нерухомі поверхні.
IMPEL	Мережа Європейського Союзу з реалізації та забезпечення дотримання екологічного законодавства.
Інертний газ	Газ, який не є токсичним, не підтримує дихання людини або горіння та майже не вступає в реакцію або взагалі не вступає в реакцію з іншими речовинами. Інертні гази — це переважно азот і рідкісні гази, такі як гелій, аргон, неон, ксенон, криптон.
IPPC	Інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю.
IR	Інфрачервоний.
Залізистий матеріал	Це матеріал, що містить окремі компоненти заліза, а також потрібний метал (Al, Cu).
ISF ISP	Плавильна піч Imperial або процес Imperial Smelting.
Ізокінетичний відбір проб	Технологія відбору проб, у якій швидкість, з якою проба надходить у пробовідбірне сопло, дорівнює швидкості потоку в повітропроводі.
MTE	Міжнародний токсичний еквівалент.
МЦА (IZA)	Міжнародна цинкова асоціація.
Щокова дробарка	Машина для зменшення розміру матеріалів за допомогою ударів або дроблення між нерухомою плитою і плитою, що коливається.
СДЦ	Спільний дослідницький центр.
Жолоб	Канал, що використовується для транспортування розплавленого металу або шлаку.
НТЗ	Низька теплотворна здатність.
Продукт вилуговування	Розчин, отриманий шляхом вилуговування, наприклад, вода, що пройшла через ґрунт, що містить розчинні речовини та містить певну кількість цих речовин у розчині.
Вилуговування	Проходження розчинника через пористий або подроблений матеріал для вилучення компонентів з рідкої фази. Наприклад, золото може бути вилучене шляхом купного вилуговування пористої руди або пилоподібних хвостів. Іншими методами є резервуарне вилуговування руди, концентратів або хвостів і підземне вилуговування.
Витік	Викид газу або розлив рідини із системи/обладнання через несправність системи/обладнання.
L-SX-EW	Вилуговування-вилучення розчинником-електровідновлення.
Ліквація	Технологія рафінування, що передбачає нагрівання розплавленого металу до температури, за якої розчинність домішок знижується, щоб їх можна було відокремити.
Підживлювальна вода	Вода, що додається в процес для початку або підтримання реакції, приготування розчину, змішування реагентів, розведення реагентів.

Використовуваний термін	Визначення
Баланс маси	Підхід до моніторингу, що складається з обліку вхідних потоків, накопичень, вихідних потоків та утворення або знищення речовини, що представляє інтерес, а також обліку різниці шляхом класифікування її як викиду в довкілля. Результатом балансу маси зазвичай є невелика різниця між великим вхідним потоком та великим вихідним потоком, також з урахуванням супутніх невизначеностей вимірювання. Отже, баланси маси застосовні на практиці лише тоді, коли можуть бути виміряні точні вхідні та вихідні потоки та невизначені величини.
Штейн	Суміш сульфідів, що утворюється в процесі плавки сульфідних руд, що містять нікель, мідь, кобальт тощо.
Вимірювання	Набір операцій для визначення значення величини.
Вимірювальна система	Повний комплект вимірювальних приладів та іншого обладнання, в тому числі всі робочі процедури, що використовуються для здійснення конкретних вимірювань.
Плавильна потужність	Загальна потужність «нашарування» печей на установці, де повинен використовуватись годинний коефіцієнт, помножений на 24, якщо це доцільно.
Керівництво з оцінки ризиків для довкілля, пов'язаних з металами (MERAG)	Керівництво з оцінки ризиків для довкілля, пов'язаних з металами (MERAG) було створено консорціумом дослідників, асоціацій виробників металів, експертів наукового комітету та урядових експертів (уряд Великої Британії, Міністерство охорони довкілля, продовольства та з питань сільськогосподарського розвитку (DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs)) в регулюванні хімічних речовин та встановленні стандартів якості довкілля для металів, воно також дозволяє спеціалісту з оцінки враховувати умови на конкретних об'єктах за допомогою впровадження концепцій за конкретними металами.
Збагачення корисних копалин (збагачення, механічна обробка руди, механічна обробка мінералів, подрібнення)	Процеси отримання товарних продуктів мінерального (концентратів) із руди Зазвичай цей процес відбувається на об'єктах гірничодобувної промисловості, завод називається збагачувальною фабрикою (млин або концентратор). Основна мета полягає в тому, щоб зменшити обсяг руди, яка повинна бути транспортована та оброблена у наступних процесах, наприклад, плавки, з використанням методів відокремлення цінних (необхідних) мінералів від пустої породи. Товарний продукт цього процесу називається «концентратом»; матеріал, що залишився, називається «хвостами». Збагачення корисних копалин передбачає різні процедури, які залежать від фізичних характеристик мінералу, тобто, розміру часток, густини, магнітних властивостей, кольору або фізико-хімічних властивостей, тобто поверхневого натягу, гідрофобності, змочуваності.
Збагачувальна фабрика (млин або концентратор)	Установка, де здійснюється збагачення корисних копалин.
Мінеральний ресурс	Концентрація або залягання природного, твердого, неорганічного або викопного органічного матеріалу в земній корі або на ній у такій формі та кількості, а також такого сорту або якості, що існують реальні перспективи для рентабельного видобутку. Місце знаходження, кількість, якість, геологічні характеристики та протяжність мінеральних ресурсів відомі, оцінені чи інтерпретовані я на основі конкретних геологічних даних та знань.
Видобуток	Методи та технології вилучення руди із землі, в тому числі допоміжні об'єкти, наприклад, склади, цехи, транспорт, вентиляція та допоміжні заходи у на самому об'єкті гірничодобувної промисловості або поряд з ним.
Гірничодобувна операція	Будь-яке вилучення руди, з якої видобуваються мінерали, якщо корпоративна ціль полягає в отриманні операційного прибутку або безперервний рух в напрямку рентабельного підприємства.
Моніторинг	Систематичне спостереження за змінами певних хімічних чи фізичних характеристик викидів, скидань, споживання, еквівалентних параметрів або технічних заходів тощо.
Маточний розчин	Потік стічних вод, що виникає безпосередньо в результаті синтезу або хімічної реакції, зазвичай з високою концентрацією продуктів, сировинного матеріалу або побічних продуктів, особливо вихідних водних скидань.
Країни-члени	Країни-члени Європейського Союзу
Н	Нормальні — стосується обсягу газів за нормальних умов з температурою 273,15 К та тиском 101,325 кПа.
НД	Немає даних (залежно від контексту).
Номінальна потужність	Кількість продукції, яку установка здатна виробляти за проєктуванням за нормальних умов експлуатації.
ДВ	Дані відсутні.
NFM	Кольорові метали (ДДНДТ).

Використовуваний термін	Визначення
НУО	Неурядова(-і) організація(-і).
Нью-Джерсі	Нью-Джерсі — тип дистиляційної колони
Кольоровий матеріал	Всі матеріали, які не є чорними.
НМЛОС	Неметанові леткі органічні сполуки.
Конвертер ОВМ	Конвертер з нижнім дуттям, що використовується для виробництва феронікелю.
Відхідний газ	Загальний термін газу/повітря, отриманого в результаті процесу або операції (див. вихлопний газ, димовий газ, відпрацьований газ).
Викиди операційної діяльності	Викиди, які відбуваються в результаті звичайної операційної діяльності. Частота, обсяги та навантаження зазвичай відомі заздалегідь або можуть бути оцінені або заплановані. Вищезазначені дані можна використовувати для визначення найкращого співвідношення інвестицій та ефективності у визначенні пріоритетів інвестицій та найкращих застосовних методів зниження рівнів викидів. Неорганізовані викиди та скидання тиску вважаються також враховуються, оскільки вони відбуваються за нормальних умов експлуатації.
Інформація про функціонування	Дані про ефективність щодо викидів/відходів і споживання, наприклад, сировини, води та енергії. Будь-яка інша корисна інформація про те, як експлуатувати, обслуговувати та контролювати, в тому числі аспекти безпеки, обмеження практичного характеру щодо технології, якість продукції, що виробляється, тощо.
Руда	Мінерал або низка накопичених мінералів (в тому числі вугілля), що має (мають) достатню цінність з точки зору якості та кількості, щоб його/їх можна було видобувати з прибутком. Більшість руд є сумішшю мінералів, що вилучаються, і сторонньої скельної породи, що описується як «пуста порода».
Осмос	Перехід рідини зі слабкого розчину в більш концентрований розчин через напівпроникну мембрану, яка пропускає розчинник (воду), але не розчинені тверді речовини.
OSPAR	Ословська та Паризька конвенція про захист морського середовища Північно-Східної Атлантики.
Вихідний потік	Включає «випускні відходи» (основний вихід) та інші види твердих залишків, викиди, стічні води тощо, що утворюються під час перероблення відходів.
Окиснювач	Матеріал, який може вступати дуже екзотермічні реакції в контакті з іншими матеріалами, зокрема з горючими.
ПАВ	Поліциклічні ароматичні вуглеводні.
ПАН	Поліакрилонітрил
Параметр	Вимірювана величина, що представляє основні характеристики статистичної групи.
Тверді частки (ТЧ)	Загальна кількість твердих часток стосується всіх неорганічних та органічних твердих і рідких матеріалів (краплі та аерозольні частки), які можуть бути присутніми в димових газах (див. також: пил).
ПО	Попередньо обпалений тип анода.
КД	Камера допалювання — термін, що застосовується до зони після первинної камери згорання, де відбувається вигорання газу. Також називається вторинною камерою згорання або ВКЗ.
ПХДД/Ф	Див. діоксини
PFPB	Камери з використанням попередньо обпалених анодів з точковим поданням, що використовуються для електролізу первинного алюмінію.
ПФО	Перфторовані органічні сполуки: органічна сполука, у якій більшість атомів водню замінена фтором в структурі аліфатичного ланцюга. Деякі з цих органічних сполук фтору відомі як перфторовані, що означає, що атоми водню замінені фтором.
pH	Кислотність або лужність розчину. Це число, еквівалентне логарифму з основою 10 концентрації іонів водню у водному розчині.
МПГ	Метали платинової групи: Ir, Os, Pd, Pt, Rh, Ru.
ПЛК	Програмований логічний контролер: цифрова обчислювальна машина, що використовується для автоматизації промислових процесів.
НРВ	Насичений розчин вилуговування, отриманий шляхом вилуговування мінералів із субстрату.
ТЧ	Див.: тверді частки. Дорогоцінні метали: Ag, Au та МПГ.
PM_X	Тверді частки з аеродинамічним діаметром меншим за або рівним номінальному x мікрометрів.
ПБК	Прогнозована безпечна концентрація — концентрація, за якої не спостерігається токсичного ефекту.

Використовуваний термін	Визначення
Забруднювальна речовина	Окрема речовина або група речовин, які можуть завдати шкоди або вплинути на довкілля.
Забруднення (з ДПВ)	Пряме або непряме потрапляння внаслідок діяльності людини речовин, вібрацій, тепла або шуму в повітря, воду або землю, які можуть бути шкідливими для здоров'я людини або якості довкілля, призвести до пошкодження матеріального майна або погіршувати або заважати зручностям та іншим законним видам використання довкілля.
Джерело забруднення	Джерело викиду. Джерела забруднення можна розділити на такі категорії: • точкові або зосереджені джерела; • розсіяні джерела; • лінійні джерела, у тому числі пересувні (транспорт) та стаціонарні джерела; • зональні джерела.
Допалювання	Займання та спалювання вихлопних газів шляхом введення повітря або використання пальника (наприклад, для зменшення кількості CO та (летких) органічних сполук).
Первинний захід/технологія	Захід/технологія, який/яка якимось чином змінює спосіб роботи основного процесу, таким чином знижуючи неочищені викиди або споживання (див. також технологія в кінці виробничого циклу).
Виробнича потужність	Виробництво «належних відливок» та потужність, заснована на теоретичній потужності ливарного цеху, якщо він працював протягом 24 годин, за умови, що він технічно здатний працювати таким чином.
PRTR	Реєстр викидів та перенесення забруднювальних речовин.
Вилучення/Відновлення	Визначається Рамковою директивою ЄС про відходи. Також використовується в цьому документі у значенні обробки для вилучення матеріалу або його частини з відходів.
Рекуперація	Регенерація тепла. У цьому секторі може використовуватись технологічне тепло для підігрівання сировини, палива або повітря для згорання.
Рекуперативні пальники	Вони призначені для циркуляції гарячих газів у системі пальників для регенерації тепла. Див. також: регенеративні пальники.
Перероблення	Використовується у цьому документі у двох значеннях: • рециркуляція частини відходів у інший сектор промисловості; • перероблення на установці з очищення відпрацьованих вод. Останнє є найчастіше використовуваним у цьому документі.
Вихідні умови	Умови, зазначені, наприклад, у зв'язку із застосуванням технологічного процесу, відбором проб.
Виділення	Фактичне скидання (встановлене, звичайне або аварійне) викиду в довкілля.
Регенеративні пальники	Вони призначені для регенерації тепла з гарячих газів з використанням двох або більше вогнетривких мас, які по черзі нагріваються, а потім використовуються для підігрівання повітря для згорання, див. також рекуперативний пальник.
Залишки	Матеріал, який не виробляється навмисно у виробничому процесі та може бути або не бути відходами.
ОП	Обертова піч.
Процес RLE	Випалювання–вилуговування–електровідновлення
Зворотний осмос (ЗО)	Див. осмос.
Валкова дробарка	Тип вторинної дробарки, що складається з важкої станини, на якій встановлено два валки. Вони рухаються таким чином, що обертаються назустріч один одному. Порода, що подається зверху затискається між валками, що рухаються, дробиться і вивантажується знизу.
РТО	Регенеративний термічний окисник, тип допалювача.
Стік	Частина опадів та талих снігових вод, які не проникають, а переміщуються як поверхневий стік.
Відбір проб	Процес, у якому частина речовини, матеріалу або продукту видаляється для утворення репрезентативної проби загального обсягу з метою дослідження речовини, матеріалу або продукту, що розглядається. План відбору проб, відбір проб та аналітичний розгляд повинні завжди враховуватися одночасно.
СКВ	Селективне каталітичне відновлення.
Просіювання	Розділення матеріалу на фракції за розміром.

Використовуваний термін	Визначення
Напівфабрикати	Напівфабрикати, такі як прутки, дріт, екструдовані вироби, виливки тощо, які використовуються як сировина для виробництва інших готових виробів.
Розділення	Методи обробки для розділення руди на концентрат і хвости.
Об'єкт	Географічна область, яка може містити більше ніж одну установку, завод або підприємство.
Шлак	Склоподібний або частково склоподібний залишок виплавки, що містить в переважно силікати, речовини, не призначені для виробництва у вигляді штейну або металу і мають меншу питому вагу, ніж останній.
Осад	Суспензія з високим вмістом твердих часток, наприклад, як той, що осаджується в процесі очищення стічних вод.
СНКВ	Селективне некаталітичне відновлення — процес зниження викидів NO_X, у якому оксид азоту перетворюється на азот і воду в результаті реакції з аміачним реагентом за високої температури.
Розчинність	Кількість розчиненої речовини, яка розчиняється в певному об'ємі та типі розчинника за певної температури та тиску з утворенням насиченого розчину. Ступінь розчинності сполук залежить від їхньої здатності та здатності інших розчинених речовин утворювати іони та водні комплекси у конкретному хімічному складі дренажних вод.
Питомий викид	Викиди пов'язані з опірними даними, такими як виробнича потужність або фактичне виробництво.
Питоме споживання води	Кількість прісної води, що споживається під час виробництва (поверхневі води, підземні води), що відбирається із зовнішніх джерел. Ця потреба у прісній воді пов'язана з чистим виробництвом повітряно-сухого продукту та виражається у $м^3/т$. Прісна вода, яка використовується тільки для цілей охолодження, тобто вода, яка не контактує з волокнами та добавками і яка скидається безпосередньо до приймального середовища, не враховується. Також не враховуються стічні води, що утворюються на паросилових установках та електростанціях на об'єкті.
Специфікація	Фізико-хімічні значення, зазначені у законодавстві щодо деяких сполук, наприклад, мастильних матеріалів.
SPL	Відпрацьоване футерування електролізера, залишки катодної системи у виробництві первинного алюмінію.
Операції запуску, зупинки	Робота під час введення або виведення з експлуатації будь-якої діяльності, одиниці обладнання або резервуара, а переведення у режим холостого ходу або виведення з нього. Етапи робот, що періодично чергуються, не розглядаються як запуски або зупинки.
SWPB	Камери з використанням попередньо обпалених анодів та периферійної обробки
ВР	Вилучення розчинником.
Випускання	Відкриття випускного отвору печі для видалення розплавленого металу або шлаку.
Обертовий конвертер з верхнім дуттям (TBRC)	Обертовий конвертер з верхнім дуттям, що використовується для первинної плавки концентратів Cu, дорогоцінних металів та Pb, а також для плавки відходів електронного обладнання.
Термічний окисник	Термічний окисник.
ЗЛОС	Загальні леткі органічні сполуки, виражені як С.
TROF	Нахильна обертова киснево-паливна піч (використовується аналогічно конвертеру TBRC).
ТРГ	Технічна робоча група
Технічний кисень	Кисень з повітря, який був відокремлений від азоту, з утворенням понад 97% O_2.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure, Асоціація німецьких інженерів.
Склоподібний	Цей термін застосовується до керамічних виробів, які внаслідок високого ступеня склування (на відміну від спікання) мають дуже низьку пористість.
Склування	Перетворення речовини або суміші речовин на скло або аморфну склоподібну матрицю.
Летка органічна сполука (ЛОС)	Будь-яка органічна сполука, що має за 293,15 К тиск пари 0,01 кПа або більше або має відповідну леткість за конкретних умов використання.
VSS	Камера аноду Сьодерберга з вертикальним штирем
Відпрацьований газ	Кінцеві газоподібні викиди, що містять леткі органічні сполуки (ЛОС) або інші забруднювальні речовини, з димової труби або очисного обладнання у повітря.
Перероблення відходів	Будь-яка з установок, які здійснюють перероблення відходів, що охоплює цей документ.

Використовуваний термін	Визначення
Стічні води	Стічні води від хімічних процесів, виготовлення продукції, підготовки сировини, очищення обладнання, складів, вантажних дій. Дощова вода і вода непрямого охолодження не враховуються через різні визначення стічних вод у країнах-членах. Натомість дощова вода та потреба в її очищенні розглядаються окремо. Охолоджувальна вода розглядається у відповідному загальному ДДНДТ щодо промислових систем охолодження.
Мокрий електростатичний фільтр	Мокрий електростатичний фільтр.
WT	Перероблення відходів.
ОВВ/ОСВ	Очищення відпрацьованих/стічних вод.
УОВВ	Установка з очищення відпрацьованих вод.
Вихід	Масове співвідношення концентрату та сировини в перерахунку на суху речовину, виражене у відсотках.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

[1] CEN, *EN 1179:2003 Zinc and zinc alloys - Primary zinc*, 2003.

[2] McLellan et al., *Pollution Control in the Secondary Aluminium Industry*, HMIP (UK), Surrey, 1993.

[4] Hatch Associates Ltd, *Pollution Control for Secondary Lead Production*, HMIP (UK), 1993.

[5] B R Lerwill et al., *Pollution Control in the Precious Metals Industry*, HMIP (UK), 1993.

[6] McLellan and Partners Ltd, *Pollution Control in the Primary Aluminium Industry*, HMIP (UK), Surrey, 1993.

[7] Metallo-Chimique, *Metallo-Chimique - Operational data of material storage and drying*, 2012.

[8] Hatch Associates Ltd, *Pollution Control for the Tin, Bismuth and Silicon Industries*, HMIP (UK), 1993.

[11] Hatch Associates Ltd, *Pollution Control for Primary Zinc Production*, HMIP (UK), 1993.

[12] HMIP (UK), *Process for the Production of Zinc and Zinc Alloys*, 1994.

[13] HMIP (UK), *Processes for the Production of Lead and Lead Alloys*, 1994.

[16] HMIP (UK), *Processes for the Production of Aluminium*, 1994.

[18] HMIP (UK), *Processes for the Production of Precious Metals and Platinum Group Metals*, 1994.

[19] HMIP (UK), *The Extraction of Nickel by the Carbonyl Process and the Production of Cobalt and Nickel Alloys*, 1994.

[21] COM, *Technical BAT Note Heavy Metal Emissions from Non-Ferrous Industrial Plants*, 1991.

[23] DFIU-University Karlsruhe, *Emission control at stationary sources in Germany; part I - sulphur and nitrogen oxides*, 1996.

[25] OSPARCOM, *Description of BAT for the Primary Production of Non-Ferrous Metals (Zinc, Copper, Lead and Nickel)*, OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, 1996.

[26] McLellan and Partners Ltd, *Pollution Control in the Copper Industry*, HMIP (UK), Surrey, 1993.

[27] M. Barry et al., *Study on the Technical and Economic Aspects of Measures to reduce (on the Basis of Best Available Technology) the Pollution of Water and Other Environmental Areas from the Non-Ferrous Metal Industry (Contract B6612-90-006931)*, European Commission (DG XI), 1993.

[28] OSPARCOM, *Description of Existing Techniques and Best Available Techniques in the Aluminium Electrolysis Industry*, 1997.

[32] Mantle et al., *Potential for Air Pollution Emissions form the Aluminium Industry and the Best Available Technology for Abatement (final report)*, 1998.

[34] UNECE, *Heavy Metals Emissions - Long-range Transboundary Air Pollution*, 1995.

[35] COM, *Panorama of EU Industry 1997 - An extensive review of the situation and outlook of the manufacturing and service industries in the EU*, European Commission - DG III, 1997.

[37] Ausmelt Ltd., *EAF Dust Processing with Ausmelt Technology*, 1995.

[40] Ausmelt Ltd., *Treatment of Lead and Zinc Residues using the Ausmelt Process*, 1996.

[41] Ausmelt Ltd., *Application of Ausmelt Technology to the Recycling of Spent Pot Liner for the Aluminum Industry*, 1996.

[46] Guindy, M, 'Precious Metals 1996 - Proceedings of the Twentieth International Precious Metals Conference', *International Precious Metals Institute*, 1996, Newport Beach, California.

[47] Järvinen, O, *Wenmec/Outokumpu Technology Update of Current Developments for Anode Slime*, Wenmec Systems Oy, 1995.

[48] Järvinen, O, *Current Developments for Anode Slime Precious Metals Treatment*, Wenmec Systems Oy, 1994.

[49] Hyvärinen, O. et al., 'Recovering Selenium from Copper Refinery Slimes', *Journal of Metals*, 1989.

[52] Newman, C.J. et al., *Kennecott Utah Copper Smelter Modernization*, Kennecott Utah Copper Corporation, Magna, Utah, 1998.

[54] Biswas, A.K. et al., 'Extractive Metallurgy of Copper', *Pergamon Press*, 1976.

[55] Kojo, I.V. et al., *Copper Production by Leaching - Solvent Extraction - Electrowinning*, 1994.

[56] Knuutila, K., *Nickel electrolysis process*, Outokumpu Harjavalta Metals Oy, Finland, 1997.

[57] Knuutila, K. et al., 'New Nickel Process Increasing Production', *Outokumpu Harjavalta Metals Oy*, Finland, 1996.

[58] Kojo, I.V. et al., 'Direct Outokumpu Nickel Flash Smelting Process (DON)', *Outokumpu Engineering Contractors Oy, Finland*, 1997.

[62] Helle, L. et al., 'Copper production by flash-converting technology: process and equipment', *Outokumpu Engineering Contractors Oy*, Finland, 1994.

[66] George, D.B. et al., 'Modernization of Kennecott Utah copper smelter', *Copper 95 - International Conference*, 1995.

[72] Shibasaki, T. et al., *Recent Operation at Naoshima with a larger Mitsubishi Furnace Line*, Mitsubishi Materials Corp., Japan, 1993.

[73] Theodore, L. et al., *Air Pollution Control Equipment*, ETS International, Inc (USA), 1992.

[74] Startin, A., *Solve your gas filtration problems*, Cerafil (Ceramic Filter Elements), UK, English, 1998.

[75] Nordheim, E., '(EEA) Minutes from IPPC BREF Notes - Aluminium Expert Group Meeting - Brussels 27 April 1998', *Aluminium Expert Group Meeting*, 1998, Brussels.

[76] Soud, H.N, *Particulate control handbook for coal-fired plants*, IEA Coal Research, 1993.

[77] Soud, H.N., 'Developments in particulate control for coal combustion', *IEA Coal Research (UK)*, 1995.

[81] NRW (D), *NE-Metallindustrie - Betreiberleitfaden für Anlagen zum Gießen in verlorenen Formen - Sandgußverfahren*, 1997.

[82] NRW (D), *NE-Metallindustrie - Betreiberleitfaden für Anlagen zum Gießen in Dauerformen - Druckgußverfahren*, Ministerium NRW (D), 1997.

[83] NRW (D), *NE-Metallindustrie - Betreiberleitfaden für Anlagen zum Schmelzen von Schwermetallen*, Ministerium Umwelt, Raumordnung u. Landwirtschaft, 1997.

[88] Nordheim, E., *Aluminium Expert Group Site Visits*, EEA, 1998.

[90] Traulsen, H., 'Plant Information - Copper Industry (Draft)', *Copper Expert Group 1998*, 1998.

[91] OSPARCOM, *BAT for the Preparation of Anodes in the Primary Aluminium Industry*, OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, 1992.

[92] Laine et al., 'The Support of the Nickel and Cobalt Section of the BREF Note', *Ni Expert Group 1998*, 1998.

[93] García-Agocheaga, B., *Zinc Recovery Processes*, ASER (E), 1998.

[94] Laine, L., *NI Production*, Outokumpu (SF), 1998.

[96] Bontoux, L. et al., *The Legal Definition of Waste and its Impact on Waste Management in Europe*, IPTS, European Commission, 1997.

[97] Lijftogt, J.A. et al, *Dutch Notes on BAT for the Production of Primary Aluminium*, V.R.O.M. (NL), 1998.

[98] Lijftogt, J.A. et al, *Dutch Notes on BAT for the Production of Primary Zinc*, V.R.O.M. (NL), 1998.

[99] Hähre, S., *Report on BAT in German Zinc and Lead Production (Draft)*, University Karlsruhe DFIU (D), 1998.

[102] Hasenpusch, W., 'Precious Metals', *PM Expert Group - Degussa (D)*, 1998.

[103] COM, 'Personal Discussions', Personal Communication, 1998.

[104] Ullmann's Encyclopedia, 'Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry',, 1996.

[106] Raffinot, P., *Environmental Management of Nickel Production*, United Nations Environment Programme, 1993.

[110] Anthony, T., *Nickel Processing Technology: A Review*, Minerals Industry International, 1997.

[111] Denko, Japan, *High-Carbon Ferrochrome Smelting Process Cuts Electric Power Consumption*, 1998.

[112] Outokumpu Oy (SF), *Outokumpu oy Ferrochrome Process Results in Energy Savings*, Outokumpu Oy, 1998.

[113] ALFED, *Secondary Aluminium Refining and Remelting*, 1998.

[114] Eurometaux, *Fabrication of Semi-Finished Products from Copper and Copper Alloys*, Eurometaux, 1998.

[115] ETSU (UK), *Waste heat recovery from high temperature gas streams*, ETSU (UK), 1996.

[116] VDI, *VDI (D) 3467 Emission Control - Production of Carbon and Electrographite Materials*, 1998.

[117] Krüger, J., *Proposal for a BREF-note for Pb, Zn, Cd, Sb*, University of Aachen for Eurometaux, 1999.

[118] Laheye, R. et al., *Greenmelt: An Environmentally Sound Remelting Concept*, Hoogovens (NL), 1998.

[119] McLellan, *Electromagnetic Pumping Improves the Efficiency of Melting Aluminium*, ETSU, 1998.

[120] McLellan, *Electromagnetic Pumping of Aluminium; Audit of Fluxless Melting Technology at Calder Aluminium Ltd., Willington*, ETSU, 1998.

[121] Rentz, O. et al., *Report on BAT in German Copper Production (Final Draft)*, University Karlsruhe (DFIU), 1999.

[122] ETSU, *Oxy-Fuel Melting of Secondary Aluminium*, ETSU, 1994.

[123] Robson, T.G. et al., *A Review of the Industrial Uses of Continuous Monitoring Systems: Metals Industry Processes*, UK Environment Agency, 1998.

[125] Euroalliages (B), *Ferromolybdenum Notes*, Euro Alliages (B), 1998.

[126] Madelin, B. et al., 'Lead blast-furnace evolution: a new approach', *EMC '91: Non-Ferrous Metallurgy*, 1991.

[127] Chadwick, J., 'Zaldivar Copper Mine', *Mining Magazine*, 1994.

[128] Davies, N., *Emissions from Carbon Fibre Production*, UK Environment Agency, 1998.

[130] Eurometaux, 'Eurometaux Copper Industry - Draft Report from IPPC BAT Copper Experts Group Meeting, Hamburg July 1998', *IPPC BAT Copper Expert Group Meeting*, 1998, Hamburg.

[131] Nordheim, *Aluminium BREF Note - Primary Aluminium Section on Spent Potlinings*, European Aluminium Association, 1998.

[134] Metallurgical Consulting Traulsen GmbH, 'Technologies Applied Outside the EU and New Technologies (draft 2nd version)', *Eurometaux, Copper Expert Group*, 1998.

[135] Gershel, T., *Copper and its Alloys*, EMCI, 1998.

[136] Fugleberg, S., *Finnish Expert Report on BAT in Zinc Production*, Finnish EPA, 1999.

[137] Riekkola-Vanhanen, M., *Finnish Expert Report on BAT in Copper Production and By-Production of Precious Metals*, Finnish EPA, 1999.

[138] Niemelä, P., *Finnish Expert Report on BAT in Ferrochromium Production*, Finnish EPA, 1999.

[139] Riekkola-Vanhanen, M., *Finnish Expert Report on BAT in Nickel Production*, Finnish EPA, 1999.

[140] Ferro-Alloy Expert Group, *BAT for Ferro-Alloy-Production*, Euroalliages (B), 1998.

[141] Elkem Asa, 'Company Profile Including Development in Stack Emission Filtration Technology', *8th International Ferroalloys Congress*, 1998, Beijing; China.

[142] Boin, U. et al., *Stand der Technik in der Sekundäraluminiumerzeugung im Hinblick auf die IPPC-Richtlinie*, UBA (A), 1998.

[145] Dalrymple, I., *Setting New Standards of Performance and Economy for Effluent Treatment and Heavy an Precious Metal Recovery*, EA Technology ltd. Chester (UK), 1999.

[146] Kemmer, *The Nalco Water Handbook (2nd edition)*, McGraw-Hill, 1988.

[148] Kolbeinsen, L. et al., *Energy Recovery in the Norwegian Ferro Alloy Industry*, INFACON (N), 1995.

[149] Schei, A, et al., *Production of High Silicon Alloys*, Tapir Forlag, Trondheim (N), 1998.

[150] J.A. Davis, W.R. Hopkins, 'Recent developments in electrometallurgical tank house environmental control', 1994, pp. 86-94.

[154] Lindstad, T. et al., '10th International Ferro-Alloys Conference', *10th International FerroAlloys Conference*, 1994, SINTEF, Trondheim (N).

[156] VDI, *(D) 3478 Part1 and Part2 (Draft 2008-04) Biological Waste Gas Purification - 1 Bioscrubbers and 2 Trickle Bed Reactors*, 2008.

[157] Winter, B. et al., *Stand der Technik in der Sekundärkupfererzeugung im Hinblick auf die IPPC-Richtlinie*, UBA (A), 1999.

[158] Petersen, K., *Determination of specific emission values (BAT)*, Umweltbehörde, Hamburg (D), 1999.

[159] Coulton, G., *IPPC BREF Notes- Refractory Metals (Chromium) and Ferro Alloys (Ferro Titanium)*, London & Scandinavian Metallurgical Co. ltd., 1999.

[160] Steudtner, *Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen im Rahmen des Projektes RWO an den Dachreitern der Konverterhalle sowie des Nebenhaubenfilters (Esse 48) in der Rohhütte Werk Ost bei der Firma Norddeutsche Affinerie Hamburg*, TÜV Ecoplan, Umwelt GmbH, Mönchengladbach (D), 1998.

[161] Bobeth, A., 'Precious Metals', *Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie*, 1999.

[165] Neuhaus, W., 'Enforcement Programme Concerning Avoidance and Recycling of Waste at non-ferrous Metal Smelting Plants and Foundries in North-Rhine Westphalia', *Global Symposium on Recycling, Waste Treatment, etc.*, 1999.

[166] Clark, J.H., *Chemistry of Waste Minimization*, Blackie Academic & Professional, 1995.

[168] Steil, H.U. et al., 'Personal Communication', Personal Communication, 1999.

[178] UBA (A), *Emissionserklärung Treibacher Chemische Werke*, UBA (A), 1998.

[183] ABB, *Information on Systems for Pollution Control*, ABB (S), 1999.

[184] Elkem, *Energy recovery from hot gas in ferroalloy and silicon industry*, Elkem (N), 1999.

[189] VDI, *VDI 3478 Part 2 Electrostatic Precipitators - Process and Waste Gas Treatment*, Lurgi GmbH, 1998.

[194] Mezger, G., *German Aluminium Expert Group*, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemb, 1999.

[195] Lurgi, A.G. et al., *Cleaning of Process and Waste Gases*, Lurgi AG, 1991.

[196] Finkeldei, L., 'Personal Discussions', Personal Communication, 1999.

[197] Kantola, E., *Dust emissions from closed electric arc furnaces for ferro-chrome production*, Lapin Ympäristökeskus, 1999.

[198] Velten, *Primary Smelter, Converter Secondary Hood System*, Norddeutsche Affinerie, 1999.

[199] EnviroSense, 'Closed Ferro-Alloy Furnace with Dry Removal', *EnviroSense*, 1995.

[202] Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente, *Metalurgia no Férrea*, Tecnología y Gestión de la Innovación S.A., 1999, p. Epígrafes 2.5.a, 2.5b.

[206] Traulsen, H., *Information on the Copper Industry Section 6 and 7*, Eurometaux Copper Industry Expert Group, 1999.

[210] Greek State, *Olympias Project*, TVX-Hellas: Greek Directorate for the Environment, 1999.

[211] VDI, *VDI 2442 Waste gas cleaning - methods of Thermal Waste Gas Cleaning*, VDI (D), 2003.

[212] VDI, *VDI 2443 Waste-gas purification by oxidative scrubbing*, VDI (D), 1995.

[213] VDI, *VDI 3674 Waste gas cleaning by adsorption - Process gas and waste gas cleaning*, VDI (D), 1998.

[214] VDI, *VDI 3476 Part 1 Waste gas cleaning Methods of Catalytic Waste Gas Cleaning - Fundamentals*, VDI (D), 2005.

[215] VDI, *VDI (D) 3677 Part 1 Filtering separators - Surface filters*, VDI (D), 1997.

[216] VDI, *VDI (D) 1 3679 part Wet separators for particle collection*, VDI (D), 1998.

[217] VDI, *VDI (D) 3927 Part 1 and Part 2 Waste gas cleaning 1) Removal of sulphur oxides, nitrogen oxides and halide from combustion flue gases 2) Removal of inorganic and organic trace species from combustion flue gases*, VDI (D), 2004.

[218] VDI, *VDI (D) 3460 Emission Control - Thermal treatment of waste*, VDI (D), 2002.

[219] VDI, *VDI (D) 2102 Emission Control 1) Secondary copper smelting and refining plants 2) Copper and copper alloy melting plants*, VDI (D), 2007.

[226] Nordic Report, *A Nordic contribution concerning the revision of the IPPC Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries*, 2008.

[227] IZA Report, *BREF Ch1 for zinc*, 2008.

[228] COM, *F Farrell Mission in BE - Visits to Belgium*, 2007.

[229] IZA plant data, *Q/A - Aggregated data on local emissions & exposure*, 2008.

[230] COM, *FF Mission report 2007 for Poland*, 2007.

[231] COM, *Mission of Frank Farrell to Belgium and Germany 27 to 31 August*, 2007.

[232] COM, *Spanish Mission - Mission to Aluminium, Copper and Zinc installations in Spain, 4 to 8 February*, 2008.

[233] COM, *Farrell Nordic Mission - Mission to Norway, Sweden and Finland June*, 2008.

[234] UBA (D), *UBA Copper, lead, zinc and aluminium. Abschlussbericht. Teil 1, 2, 3 and 4. Kupfer, etc.*, 2007.

[237] UBA (A), *Austria M168 Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten Monographien, M-168, Wien,*, 2004.

[238] ECI, *ECI Copper Installations - Copper Smelters and Refineries in the EU*, 2012.

[239] ENIA, *ENIA Input*, 2008.

[240] Nyrstar Budel, *Nl Input on Zn production Installation for the production of Zinc by hydrometallurgical route*, 2008.

[241] Infomil, *Netherlands SOX paper. Comparison of Cost effectiveness of SO2 reduction emissions measures of aluminium smelters*, 2008.

[242] Infomil, *Nl Anode Input - Regenerative thermal oxidation (RTO) for a standalone installation for the production of anodes*, 2008.

[243] France, *French comments on MnFe alloys*, 2008.

[244] France, *French comments on SiMn*, 2008.

[245] France, *French Report on De-commissioning*, 2008.

[246] France, *French Report on SDHL process*, 2008.

[247] France, *New possible uses of Red Mud, French Report*, 2008.

[248] UBA (A), *UBA Austria report Rep-0223. Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten. Reutte/Breitenwang, 2009"*, 2009.

[249] Austria, Brixlegg, *Montanwerke_Brixlegg AG_UBA_0208*, 2007.

[253] Eurometaux, *Sulphuric Acid Plants in the European NFM Industry*, 2008.

[254] VDI, *VDI (D) 2597 Emission control - Plants for the production of lead and lead alloys*, 2004.

[255] VDI, *VDI (D) 2576: 2010-01 Emission Control - Carbothermic and Metallothermic Production of Ferro-Alloys and Silicon Metal*, 2010.

[256] Winter, *Plant visit report AMAG 20071114.doc*, 2007.

[257] Paul Wurth, 'Primus process', 2008.

[258] Finland input, *Weak Acid Treatment*, 2007.

[260] Nyberg et al., *Recent process improvements in the Kokkola Zn-Roaster - Outokumpu*, 2000.

[261] Nyman et al., *Outokumpu ref - The OutoCompact SX Approach to Copper Solvent Extraction*, 2002.

[264] Seyer, Chen, *Jarofix - Iron Residues in the Zinc Industry*, 1999.

[265] AJ Rigby et al, *Porous Pluges in Molten Copper Production and Refining*, 1999.

[266] Italy, *Italy Report on Desulphurisation*, 2008.

[267] BEFESA, *BEFESA Comments on Salt Slag*, 2008.

[268] Belgium, *Conditions Relating to Composition for Use in or as a Building Material*, 2008.

[269] Broom, *Port Talbot pm10s : A Study into Industrial Source identification, Reduction and Improvement. David Mark Perryman Broom*, 2005.

[272] Al input, European Aluminium Association Input to Revision, 2008.

[274] COM, *Farrell Mission in Germany and Netherlands, September 2008*, 2008.

[276] Schmitt G., *French PCDD/F Report, G. Schmitt*, 2008.

[277] Heino, *Heino - Industrial Ecology - Finland Paper on Industrial ecology*, 2004.

[278] Hunsiger et al, *Reduction of Dioxin Formation by the Sulphur Cycle in MSW Incinerator*, 2007.

[282] KGHM, *Example PM Plant Precious Metals Plant in KGHM Polska Miedź S.A.*, 2008.

[283] Lahtinen et al, *Zinc Concentrate Leaching*, 2004.

[284] Riekkola et al., *Talvivaara bioheapleaching June*, 2008.

[286] OSPAR, *OSPAR Rec 98/2*, OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, 1998.

[288] UK, *Decommissioning Guide*, 2002.

[289] USEPA, *USEPA Method 1311 and 1312*, 2008.

[290] COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Emissions from Storage (EFS BREF)*, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2006.

[291] COM, *Competitive Report - Competitive Study Non-Ferrous Metals Final report.doc*, 2001.

[292] Kojo et al., *Copper production with FSF and FCF*, TMS, 2006.

[293] COM, *JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED installations (ROM REF)*, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2017.

[294] ITRI, Tin for tomorrow New sources for new applications, 2012.

[295] Gaver C. Jr, 'TIN AND TIN ALLOYS - Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology', 2013.

[296] EAA, OEA, EAA and OEA proposal for the review of Chapter 4, 2012.

[297] Schlesinger. et al., 'Extractive metallurgy of Copper, Fifth Edition',, 2011, pp. 435 - 438.

[298] Mensink, *RDM paper 2005 - Source Analysis and Emission Abatement Measures for PM10 Hot Spot Regions in Flanders*, 2005.

[299] COM, *TWG KOM Report*, 2007.

[301] MERAG, *MERAG Guidance - Metals Environmental Risk Assessment Guidance*, 2007.

[303] ENVIRONNEMENT CANADA, *Canadian Al Rapport final in French.pdf - Aperçu des émissions de particules et évaluation de la performance et de la faisabilité des technologies de prévention et de contrôle des émissions de dioxyde de soufre pour l'industrie primaire de l'aluminium*, 2008.

[304] KGHM, *KGHM Lead Report*, 2009.

[305] Ausmelt, *Ausmelt Lead and Copper Processes and plant list*, 2009.

[306] COM, *Environment Dioxins Report - Preparatory work for new dioxin measurement requirements for the European metal industry Final Report*, 2007.

[307] Austria, *Austria BE277, Austrian Report on Dust*, 2006.

[308] Haavanlammi, *Hydrocopper for treating variable concentrates*, 2007.

[309] Pekkala, *Performance Highlights of a Modern VSF SX Plant*, 2007.

[310] Makinen T., Taskinen P., *The State of the Art in Nickel Smelting: Direct Outokumpu Nickel Technology*, 2006.

[311] Mauschitz, *Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie*, 2007.

[312] VDI, *VDI 2286 Part 1 and 2 Emission control in Aluminium Smelting Plants*, VDI, 2008.

[313] UBA (D), UBA DE Sulphur dioxide conversion, 2009.

[314] UBA (D), UBA DE Sulphur dioxide volume reduction data, 2009.

[315] Okopol, *Okopol Report - Assessment of the application and possible development of community legislation for the control of waste incineration and co-incineration*, 2007.

[316] Wedde et al., 'Experiences with High performance Dry and Wet Scrubbing Systems for Potlines (Dry and Wet Scrubbing)', 2004.

[317] UBA (D), *Requirements on the measurement of air pollutants with relevance within the scope of the BREF NFM*, 2009.

[318] Hagen et al., 'Results of operating an RTO based Fume treatment system from Baking Furnaces (Fume treatment from Baking Furnaces).', 2007.

[319] Boonstra, 'Biotechnology for Sustainable Hydrometallurgy', 2003.

[320] Huisman, 'Biologically produced Sulphide for Purification of Process streams, effluent treatment and recovery of metals', 2004.

[321] Weijma, 'Solutions in Practice for Removal of Selenium and Molybdenum', 2007.

[322] CEN, *Fugitive Dust emission rate estimates by Reverse Dispersion Modelling (15445)*, 2008.

[323] VDI, *4285 part 1 and 2 - Determination of Diffuse Emissions by Measurements Part 1 - Basic Concepts Part 2 - Industrial Halls*, 2008.

[324] VDI 3790 part 3, *Emission of gases, odours and dusts from diffuse sources - Storage, transhipment and transport of Bulk Materials*, 2008.

[325] Austria, *Austrian RTO for secondary lead smelter*, 2009.

[326] Daum et al., 'High Concentrated SO2 - How to process these gases', *EMC 2005*, 2005.

[327] Gnoinski et al., 'Highlights and hurdles in Zinc production by solvent extraction', *ISEC 2008*, 2008.

[328] Winter B., et al., *Cross-Media - Environmental Control In Selected Area. Emissions from Refractory Metal Production*, 2009.

[329] Magnus and Olsson, *Recent Developments on the Peirce-Smith Converting Process at the Rönnskär Smelter*, 2007.

[330] Petola H. et al., Patent for mercury removal, 1985.

[331] Chmielarz A. et al., *FGD process for NFM and Site Visits by FF*, 2009.

[332] COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Tailings and Waste Rock in Mining Activities (MTWR BREF)*, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2009.

[333] COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Energy Efficiency (ENE BREF)*, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2009.

[335] VMM, *Luchtkwaliteit in het Vlaamse Gewest*, 2011.

[336] COM, *Reference Document on Economics and Cross-Media Effects (ECM REF)*, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2006.

[337] K. Aasly, *Properties and behaviour of quartz for the silicon process*, Norwegian University of Science and Technology, 2008.

[339] COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Ammonia, Acids, Fertilisers (LVIC-AAF BREF)*, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2007.

[340] ILA, ILA comments on D3, 2013.

[341] COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Waste Treatments Industries (WT BREF)*, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2006.

[342] COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Industrial Cooling Systems (ICS BREF)*, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2001.

[344] Outotec, 'Outotec cost estimation for acid plant retrofitting', Personal Communication, 2010.

[345] UBA (D), *Data from UBA DE from the comments on the first and second drafts (Additional Data from UBA DE)*, 2009.

[346] Eurometaux, *Techniques and emission data from treating low-strength SO2 gases (SO2 low strength treatment - emission data)*, 2010.

[347] Alcoa, *SO2 Emissions ALCOA Europe*, 2010.

[348] Solios, 'Correspondence from Fives Solios to the French Ministry (French input for Aluminium)', Personal Communication, 2010.

[350] Heegaard, *Arc Fume process - The plasma arc fuming process for external recovery of EAF dust*, 2009.

[351] COM, *Mission to Poland 2009*, 2009.

[355] NERC, 'Ocean Acidification', 2010.

[356] ENIA, *ENIA emission data for the nickel industry*, 2008.

[357] VDI, *VDI 2286 Part 1 - Emission control in Aluminium Reduction Plants*, VDI/DIN, 1998.

[358] CLC, Solvent extraction in Cobre las Cruces hydrometallurgical process, 2012.

[359] Tsakiridis, 'Aluminium salt slag characterization and utilization – A review', 2012.

[360] Germany, Germany comments on D3, 2013.

[361] Spain, Spain comments on D3, 2013.

[363] Brown et al., *European Mineral Statistics 2007-11*, 2013.

[364] Metallo-Chimique, Comparison between lead and tin vapour pressures, 2014.

[365] Karuppannan et al., 'Analyzing of Soderberg Cell Technology Performance and Possibilities', 2002.

[366] International Aluminium Institute, Results of the 2012 Anode Effect Survey, 2013.

[367] Authier-Martin et al., 'The Mineralogy of Bauxite for Producing Smelter-Grade Alumina', 2001.

[368] Haberl A. et al., 'Dry and wet Scrubbers for High-Amperage Pots: Some recent developments', 2002.

[369] Treibacher Industries AG, *Reporting data for Non Ferrous Metals Industies BREF Ferroalloy Plant and premelt plant*, 2008.

[370] France, French comments on NFM D2, 2009.

[371] Pekka et al., 'Formation, characteristics and utilisation of CO-gas formed in ferro-chromium smelting', 2014.

[372] BMG Metall und Recycling GmbH, *Aktualisierte Umwelterklärung 2010/9/7*, 2010.

[373] Grådahl et al., 'Reduction of emissions from ferro-alloy furnaces', *Infacon XI*, 2007, pp. 479-488.

[374] COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document in the Non-ferrous Metals Industries (NFM BREF)*, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2001.

[375] Mannweiler et al., 'An anode plant in urban areas: Fiction or reality?', *ARABAL*, 2006, Sharm El-Sheikh, April 2006.

[376] Regain, *Aluminium Smelters as a Source of Fuel & Mineralizing Materials*, 2011.

[377] ILA, ILA comments on D3, 2013.

[378] Industrial NGOs, *NFM data collection*, 2012.

[379] Sweden, Sweden comments on D3, 2013.

[380] European Aluminium Association, *EAA sustainability report*, 2012.

[381] ECGA, ECGA proposal for the review of NFM BREF, 2012.

[382] Holding, 'Copper worldwide July/August 2012, Metallic Media Ltd ISSN 2046-9438', 2012.

[383] Copper subgroup, Copper subgroup proposal for techniques to consider in the determination of BAT section, 2012.

[384] Italy, Italian comments on D3, 2013.

[385] Germany, German plants emissions data, 2012.

[386] EAA, EAA proposal based on B. E. Raahaughe, F L Smidth Metal Bulletin, Alumina and Bauxite Conference, March 2011, 2012.

[387] EAA, *Bauxite Residue Management: Best Practice*, 2013.

[388] Finland, Finland Comments on D3 - based on Klett C, Missalla M, Bligh R, Improvement of product quality in circulating fluidized bed calcination, Light Metals 2010 TMS, 2013.

[389] EAA, EAA proposal based on D. Thomas “Heat transfer in the Bayer process”, Light Metals 2010, TMS, pg 161 - 166, 2012.

[390] France, France plants emissions data, 2012.

[391] The Netherlands, The Netherlands plants emissions data, 2012.

[392] UK, The United Kingdom plants emissions data, 2013.

[393] Austria, Austria plants emissions data, 2012.

[394] Schmitz, *Handbook of aluminium recycling*, 2006.

[395] France, France comments on D3, 2013.

[396] Italy, Italy plants emissions data, 2012.

[397] ILA, ILA proposal for the revision of Chapter 5, 2012.

[399] IZA, IZA proposal for the revision of Chapter 6, 2012.

[400] IZA, IZA comment on D3, 2013.

[401] Houten et al., 'Long-term performance and microbial community analysis of a full-scale synthesis gas fed reactor treating sulfate- and zinc-rich wastewater', 2009.

[402] Buisman et al., 'BIOLOGICAL SULFIDE PRODUCTION FOR METALRECOVERY',, 1999.

[403] EPMF, EPMF plants emissions data, 2008.

[404] EPMF, EPMF proposal for the revision of Chapter 7, 2012.

[405] Euroalliages, Euroalliages proposal for the revision of Chapter 9, 2012.

[406] Greece, Greece comments on D3, 2013.

[407] Euroalliages, Euroalliages comments on D3, 2013.

[408] Kadkhodabeigi M., *Modelling of Tapping Processes in Submerged Arc Furnaces - Norwegian University of Technology NTNU*, 2011.

[409] Finland, Finland comments on D3, 2013.

[410] Mäkinen et al., 'Outokumpu's technologies for efficient and environmentally sound nickel production, COM 2005 Canada', 2005.

[411] Taskinen et al., 'Oxygen pressure in the Outokumpu flash smelting furnace- Part 2: the DON process, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section C 110 (May-August 2001) C101-C108', 2001.

[412] Norwegian Environment Agency, http://www.norskeutslipp.no open database maintained by Norwegian Environmental Authorities that contains all emission data reported to authorities for Xstrata Nikkelverk AS from 2002 and onwards, 2012.

[413] Warner et al., 'JOM World Nonferrous Smelter Survey Part IV: Nickel: Sulphide, JOM April 2007', 2007.

[414] Peek et al., 'Technical and Business Considerations of Cobalt Hydrometallurgy, Journal of Metals, Vol 61, No. 10, 2009, pp. 43-52',, 2009.

[415] Nickel Institute, Nickel Institute comments on D3, 2013.

[416] UK, The United Kingdom comments on D3, 2013.

[417] IAF, International Accreditation Forum website, 2010.

[420] EC, 'Regulation (EC) No 1221/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS), repealing Regulation (EC) No 761/2001 and Commission Decisions 2001/681/EC and 2006/193/EC', *Official Journal of the European Union*, Vol. L 342, 22.12.2009, 2009, pp. 1-45.

[424] Asturiana de Zinc, *Photo of landscape restoration ongoing with Jarofix*, 2014.

[426] GFMS, *World Silver Survey 2012 A Summary*, 2012.

[428] COM, *Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry*, 2005.

[429] Eurometaux, 'Updated figure of the NFM sector', Personal Communication, 2016.

[430] CEN, *EN ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use*, 2015.

Europe Direct — це служба, яка допоможе вам знайти відповіді на ваші запитання щодо Європейського Союзу.

Безкоштовний номер телефона (*):

00 800 6 7 8 9 10 11

(*) Інформація надається безплатно, як і більшість дзвінків (хоча деякі оператори, телефони-автомати або готелі можуть стягувати з вас плату).

Більше інформації про Європейський Союз можна знайти в Інтернеті (http://europa.eu).

ЯК ОТРИМАТИ ПУБЛІКАЦІЇ ЄС

Безкоштовні публікації:

- в одному екземплярі:
  у книгарні ЄС (http://bookshop.europa.eu);
- більше ніж в одному екземплярі або плакати/карти:
  через представництва Європейського Союзу (http://ec.europa.eu/represent_en.htm);
  через делегації у країнах, що не входять до ЄС (http://eeas.europa.eu/delegations/index_en.htm);
  звернувшись до служби Europe Direct (http://europa.eu/europedirect/index_en.htm) або
  за номером 00 800 6 7 8 9 10 11 (безплатний номер телефона з будь-якої точки ЄС) (*).

  (*) інформація надається безплатно, як і більшість дзвінків (хоча деякі оператори, телефони-автомати або готелі можуть стягувати з вас плату).

Платні публікації:

- у книгарні ЄС (http://bookshop.europa.eu).

KJ-NA-28648-EN-N

Місія СДЦ

Місія Спільного дослідницького центру, як служби Європейської комісії в галузі науки та знань, полягає в тому, щоб підтримувати політику ЄС незалежними даними протягом усього процесу реалізації політики.

Науковий центр ЄС
ec.europa.eu/jrc

@EU_ScienceHub
Науковий центр ЄС — Спільний дослідницький центр
Спільний дослідницький центр
Науковий центр ЄС

Бюро публікацій

Ідентифікатор цифрового об'єкта:
10.2760/8224
Міжнародний стандартний номер книги
978-92-79-69655-8