



Європейська
комісія

Довідковий звіт

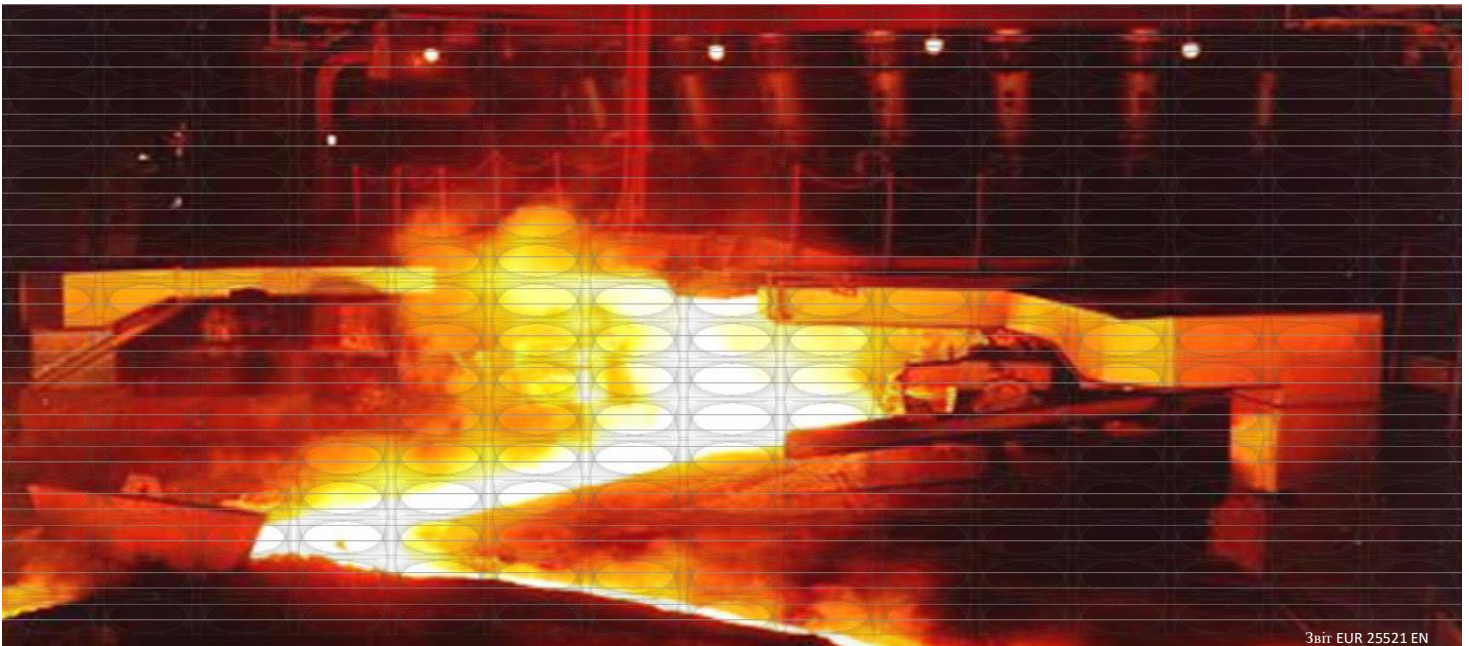
Об'єднаного дослідницького центру Європейської комісії

Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва чавуну та сталі

Директива 2010/75/ЄС «Про промислове
забруднення (інтегроване запобігання та
контроль забруднення)»

Райнер Ремус, Мігель А. Агуадо-
Монсоне,
Серж Рудьє, Луїс Дельгадо Санчо

2013



Звіт EUR 25521 EN

Об'єднаний
дослідницький
центр

Об'єднаний
дослідницький
центр
Європейської
комісії
Інститут перспективних технологічних досліджень

Контактна інформація Європейського бюро із запобігання та контролю промислового забруднення (EIPPCB)

Адреса: Об'єднаний дослідницький центр, Едіфіціо Експо к/ Інка Гарсіласо, 3 Е-41092, Севілья, Іспанія.

Електронна пошта: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu

Тел.: +34 95 4488 284

Факс: +34 95 4488 426

<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/>

Цей документ є довідковим документом, виданим Об'єднаним дослідницьким центром

Європейської Комісії. Правове повідомлення

Відповідно до рішення Комісії від 12 грудня 2011 року про повторне використання документації Комісії (№2011/833/ЄС), цей документ НДТМ (BREF) можна використовувати на безкоштовній основі, за винятком тих частин, на які розповсюджуються авторські права будь-яких інших сторін, що можуть бути в документі (наприклад, зображення, таблиці, дані, письмові матеріали тощо). Для будь-якого подальшого використання або відтворення тих матеріалів, котрими не володіє ЄС, необхідно отримати дозвіл безпосередньо у власників авторських прав. Європейська Комісія не несе відповідальності за будь-які наслідки, які виникають в результаті повторного використання матеріалів цієї публікації. Будь-яке повторне використання дозволяється, якщо зазначене джерело документа, а оригінальне значення або послання інформації не викривлені.

Еуроре Direct – це послуга, яка допомагає вам знайти відповіді на ваші запитання щодо ЄС за безкоштовним номером телефону (*): 00 800 6 7 8 9 10 11

(*) Деякі мобільні оператори не передбачають можливість зателефонувати за номерами 00 800 або ці дзвінки можуть тарифікуватися відповідно до умов тарифного плану.

Значна кількість додаткової інформації про Європейський Союз доступна в Інтернеті. Доступ до неї можна отримати на сервері EUROPA (порталі Європейського Союзу) <http://europa.eu/>.

JRC 69967

EUR 25521 EN

ISBN 978-92-79-26475-7 (pdf-версія)

ISBN 978-92-79-26476-4 (версія для друку)

ISSN 1831-9424 (онлайн версія)

ISSN 1018-5593 (версія для друку)

doi:10.2791/97469

Люксембург: Відділ публікацій Європейського Союзу, 2013 рік.

© Європейський Союз, 2013

Допускається використання та відтворення публікації за умови зазначення джерела запозичення.

Надруковано в Іспанії

Довідковий документ з
найкращих доступних
технологій та методів
управління (НДТМ)
для виробництва

чавуну та сталі

Директива 2010/75/ЄС «Про промислове
забруднення (інтегроване запобігання та
контроль забруднення)»

Автори:

Райнер Ремус, Мігель А. Агуадо-Монсоне,
Серж Рудьє, Луїс Дельгадо Санчо

2013

EUR 25521 EN

Подяка

Цей звіт було підготовлено Європейським Бюро із запобігання та контролю забруднення (EIPPCB) при Спільному дослідницькому центрі Європейської Комісії – Інституті перспективних технологічних досліджень (IPTS) під керівництвом Сержа Рудьє (голови EIPPCB) та Луїса Дельгадо (керівника відділу сталого виробництва та споживання).

Головним автором цього BREF був пан Райнер Ремус. Водночас, пан Мігель Агуадо-Монсоне розпочав роботу.

Цей звіт про проєкт був розроблений в рамках впровадження Директиви про промислові викиди (№ 2010/75/ЄС) і є результатом обміну інформацією, передбаченої статтею 13 Директиви щодо виробництва чавуну та сталі.

Основними учасниками обміну інформацією були:

- такі країни-члени ЄС: Австрія, Бельгія, Чехія, Данія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Італія, Люксембург, Нідерланди, Польща, Швеція, Великобританія
- Норвегія
- Eurofer, галузева асоціація, що представляє більшість європейських виробників сталі
- Ökoro1, що представляє екологічні громадські організації.

Крім того, інформацію надали деякі постачальники обладнання з Німеччини, Італії та Швейцарії. Вся команда EIPPCB брала участь у процесі створення матеріалів та провела експертну перевірку.

Цей документ належить до серії запланованих довідкових документів, що перелічені нижче (на час написання проекти не всіх документів було підготовлено):

Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління...	Код
Керамічна обробна промисловість	CER
Загальні системи переробки/керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі	CWW
Викиди від зберігання	EFS
Енергоефективність	ENE
Чорна металургія	FMP
Харчова, питна та молочна промисловість	FDM
Промислові системи охолодження	ICS
Розведення птиці та свиней	IRPP
<i>Виробництво чавуну та сталі</i>	<i>IS</i>
Великі спалювальні установки	LCP
Масштабне виробництво неорганічних хімічних речовин – промисловості з виробництва аміаку, кислот і мінеральних добрив	LVIC-AAF
Масштабне виробництво неорганічних хімічних речовин – виробництво твердих та інших речовин	LVIC-S
Масштабна органічна хімічна промисловість	LVOC
Менеджмент відходів і пустих порід у гірничодобувній діяльності	MTWR
Виробництво скла	GLS
Виробництво хімічних продуктів тонкого органічного синтезу	OFC
Кольорова металургія	NFM
Виробництво цементу, вапна та оксиду магнію	CLM
Лужно-хлорне виробництво	CAK
Виробництво полімерів	POL
Виробництво спеціальних неорганічних хімічних речовин	SIC
Целюлозно-паперова промисловість	PP
Переробка нафтопродуктів і газу	REF
Скотобійні та виробництво тваринних продуктів	SA
Ковальська та ливарна промисловості	SF
Поверхнева обробка металів	STM
Поверхнева обробка з використанням органічних розчинників	STS
Дублення шкір і шкіри	TAN
Текстильна промисловість	TXT
Спалювання відходів	WI
Галузі промисловості з обробки відходів	WT
Деревообробка та консервування продуктів з деревини за допомогою хімічних речовин	WPC
Виробництво дерев'яних плит	WBP
Довідковий документ...	
Економіка та міжсередовищні наслідки	ECM
Загальні принципи моніторингу	MON

Електронні версії проектів та остаточних версій документів наявні у відкритому доступі, їх можна завантажити з вебсайту <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/>.

Прембула

1. Статус цього документа

Якщо не зазначено інше, посилання на «Директиву» в цьому документі стосується Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди (про інтегроване (комплексне) запобігання та контроль забруднення) Європейського парламенту та Ради (в новій редакції).

Це – оригінальний довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ або BAT) для виробництва чавуну та сталі, який був прийнятий Європейською Комісією в 2001 році. Розгляд було розпочато в листопаді 2005 року.

Цей довідковий документ про НДТМ для виробництва чавуну та сталі є частиною серії документів, де представлені результати обміну інформацією між країнами-членами ЄС, відповідними галузями, неурядовими організаціями, які сприяють захисту навколишнього середовища, та Комісією, для складання, перегляду та, за необхідності, оновлення довідкових документів НДТМ, передбачених пунктом 1 статті 13 Директиви. Цей документ публікується Європейською Комісією відповідно до статті 13 (6) Директиви.

Згідно зі статтею 13 (5) Директиви рішення Комісії про впровадження висновків про НДТМ (2012/135/ЄС), які містяться в главі 9, було прийняте 28 лютого 2012 року та опубліковане 08 березня 2012 року ⁽¹⁾.

2. Учасники обміну інформацією

Відповідно до вимог статті 13 (3) Директиви, Комісія створила форум для сприяння обміну інформацією, до складу якого входять представники країн-членів, представники розглянутих галузей промисловості та неурядових організацій, що займаються питаннями захисту навколишнього середовища (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/C146/03), ОJ C 146, 17.05.2011, стор. 3).

Члени Форуму призначили технічних експертів, які утворюють технічну робочу групу (TRG або TWG), яка була основним джерелом інформації для підготовки цього документа. Роботу TRG очолювало Європейське бюро ІЗКЗ (Об'єднаного дослідницького центру при Європейській Комісії).

3. Структура та зміст цього документа

У цій частині описана інформація, яка міститься в кожному розділі документа. У розділі 1 представлена загальна інформація про металургійний сектор. Розділ 2 надає інформацію та дані про загальні виробничі процеси й методи, які застосовуються в цьому секторі. Це горизонтальні питання або конкретні види діяльності, які не стосуються однієї конкретної практики з виробництва чавуну та сталі.

У розділах 3-8 представлені дані та інформація про конкретні процеси з виробництва чавуну та сталі (агломераційні установки, процес виробництва окатишів, коксові печі, доменні печі/печі дуття, киснево-конвертерний процес виготовлення та лиття сталі, виготовлення та лиття сталі в електродугових печах). X можна замінити відповідним номером розділу від 3 до 8:

⁽¹⁾ OJ L 70, 8.3.2012, стор. 63

Розділ X.1	Інформація про процеси та методи, що застосовуються
Розділ X.2	Представлено дані та інформацію щодо екологічних показників установок у секторі та в процесі експлуатації на момент написання документа, в частині поточних рівнів викидів та споживання, характеру сировини, споживання води, використання енергії та утворення відходів.
Розділ X.3	Більш детально описує методи запобігання або зменшення впливу на навколишнє середовище, де неможливо його уникнути, промислових підприємств та установок, які діють у цьому секторі, що розглядаються при визначенні НДТМ. Ця інформація включає, де це доречно, рівні екологічної ефективності (наприклад, рівні викидів та споживання), яких можна досягти за допомогою визначених методів, пов'язаного з цим моніторингу, витрат і проблем, а також міжсередовищних питань, пов'язаних із цими методами.

В розділі 9 представлено висновки щодо найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ або ВАТ), визначених у статті 3 (12) Директиви.

Розділ 10 надає інформацію про альтернативні методи виготовлення чавуну, які вже застосовуються.

У розділі 11 представлена інформація щодо «передових технологій», визначених у статті 3 (14) Директиви.

Прикінцеві положення та рекомендації щодо подальшої роботи представлені у розділі 12.

4. Джерела інформації та визначення НДТМ

Цей документ підготовлено на підставі інформації, отриманої з різних джерел, зокрема від ТРГ, яка була створена спеціально для обміну інформацією відповідно до статті 13 Директиви. Інформація була зібрана й оцінена Європейським бюро ІЗКЗ (Об'єднаного дослідницького центру при Європейській Комісії), яке координувало роботу з визначення НДТМ, керуючись принципами технічної експертизи, прозорості та нейтральності. Висловлюється глибока вдячність ТРГ і всім іншим учасникам за виконану роботу.

Висновки щодо НДТМ були отримані в результаті циклічного процесу, що включає такі етапи:

- виявлення ключових екологічних проблем для сектору за двома найважливішими технологічними маршрутами: виготовлення сталі через агломераційний завод /завод із виготовлення окатишів / коксову піч / доменну піч / кисневий перетворювач та електродугову піч. Основними екологічними проблемами для дій у відповідь на екологічні проблеми є викиди в атмосферу та споживання енергії;
- вивчення технологій, найбільш актуальних для боротьби з ключовими екологічними проблемами;
- визначення найкращих рівнів екологічних характеристик на основі наявних загальносвітових даних і даних ЄС;
- вивчення умов, які допомогли досягти цих рівнів екологічних характеристик, включаючи витрати, питання впливу на різні компоненти навколишнього середовища й основні мотиви впровадження технологій;
- визначення найкращих доступних технологій (НДТМ), пов'язаних із ними рівнів викидів (та інших показників екологічної ефективності) та системи моніторингу для згаданого сектору відповідно до статті 3 (10) та Додатка III до Директиви.

Експертні оцінки Європейського бюро ІЗКЗ і ТРГ мали величезне значення на кожному з цих етапів і на те, в якому кінцевому вигляді в зазначеному документі представлена інформація.

Там, де це можливо, разом з описами технологій, представлених у розділах X.3, наводяться економічні дані. Ці дані дають приблизне уявлення про величину витрат і вигід. Однак фактичні витрати і вигоди від застосування технології можуть сильно залежати від конкретного розглянутого підприємства, що не може бути повністю оцінено в цьому документі. За відсутності даних щодо витрат, висновки про економічну життєздатність технології робляться на основі спостережень за діючими установками.

5. Перегляд довідкового документа по НДТМ (BREF)

НДТМ – це динамічна концепція, у зв'язку з чим перегляд BREF є безперервним процесом. Постійно з'являються нові заходи й технології, наука і технології постійно розвиваються, а нові або перспективні процеси успішно впроваджуються у виробництво. Для того щоб відобразити такі зміни та їхні наслідки для НДТМ, цей документ буде періодично переглядатися і, за необхідності, оновлюватись у відповідний спосіб.

6. Контактна інформація

Усі зауваження та пропозиції слід направляти до Європейського бюро ІЗКЗ в Інститут перспективних технологічних досліджень за адресою:

Європейська Комісія (European Commission)

Інститут перспективних технологічних досліджень Європейського бюро ІЗКЗ (Institute for Prospective Technological Studies European IPPC Bureau)

Едіфіціо Експо (Edificio Expo)

к/ Інка Гарсіласо, 3 (с/ Inca Garcilaso, 3)

Е-41092 Севілья, Іспанія. (E-41092 Seville, Spain)

Телефон: +34 95 4488 284

Факс: +34 95 4488 426

Електронна пошта: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu

Вебсайт: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

ДОВІДКОВИЙ ДОКУМЕНТ З НАЙКРАЩИХ ДОСТУПНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ (ДД НДТМ) ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУНУ ТА СТАЛІ

ПРЕАМБУЛА	1
СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ	2
1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ	4
1.1 Виробництво сталі в Європі та світі	4
1.2 Географічний розподіл виробництва чавуну та сталі в ЄС	6
1.3 Економічні показники та зайнятість у секторі чорної металургії ЄС	10
1.4 Процес виробництва сталі	11
1.5 Основні екологічні проблеми під час виробництва чавуну та сталі	15
2 ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ	22
2.1 Регулювання споживання енергії в чорній металургії	22
2.1.1 Енергопотоки та використання технологічних газів на металургійному заводі з повним циклом	22
2.1.2 Управління потоками пари і тепла на металургійному заводі з повним циклом	26
2.1.3 Енергопотоки в електродуговій печі (EAF)	28
2.2 Електростанції на заводах чорної металургії	28
2.2.1.1 Процеси і технології, що застосовуються	29
2.2.1.2 Поточний рівень викидів і споживання	32
2.2.1.2.1 Викиди в повітря	32
2.2.1.2.1.1 Зниження викидів пилу	32
2.2.1.2.1.2 Зниження викидів SO ₂	32
2.2.1.2.1.3 Зниження викидів монооксиду вуглецю (CO)	33
2.2.1.2.1.4 Зниження викидів NO _x	33
2.3 Управління матеріалами	35
2.3.1 Зберігання та робота з матеріалами на вході	36
2.3.2 Управління відходами виробництва	39
2.3.2.1 Використання відходів у власному виробництві металургійного заводу з повним циклом	41
2.3.2.2 Застосування відходів металургійного заводу з повним циклом як технологічної сировини	42
2.3.2.3 Управління відходами металургійного заводу з повним циклом	42
2.4 Управління водокористуванням та водовідведенням	43
2.5 Основні технології, що розглядаються при визначенні НДТМ	49
2.5.2 Регулювання споживання енергії	54
2.5.2.1 Технології для підвищення ефективності використання енергії	54
2.5.2.2 Технології для оптимізації використання технологічних газів	56
2.5.2.3 Технології для підвищення ефективності утилізації тепла	57
2.5.2.4 Насоси і вентилятори із частотно-регульованим приводом	60
2.5.3 Зниження викидів NO _x на електростанціях, що опалюються технологічними газами	61
2.5.3.1 Зниження викидів NO _x за допомогою основних заходів	61
2.5.3.2 Зниження викидів NO _x за допомогою допоміжних заходів	64
2.5.3.2.1 Зниження викидів NO _x за допомогою селективного каталітичного відновлення (SCR)	64
2.5.3.2.2 Зниження викидів NO _x за допомогою неселективного каталітичного відновлення (SNCR)	66
2.5.4 Управління матеріалами	67
2.5.4.1 Технології для поліпшення використання скрапу (брухту)	67
2.5.4.2 Технології для зниження розсіяних викидів від зберігання матеріалів, поводження з ними, транспортування та їхнього обігу	69
2.5.4.3 Технології для регулювання скидів у водні об'єкти від зберігання, обігу та змішування матеріалів	73
2.5.4.4 Спеціалізовані установки для переробки відходів (рециклінгу) з високим вмістом заліза	74
2.5.4.4.1 Піч шахтного типу OxyCup®	74
2.5.4.4.3 Процес рідкофазного відновлення	76
2.5.4.4.4 Безвипалювальні окатиші/брикети	81
2.5.5 Моніторинг на підприємствах чорної металургії	83

2.5.5.1	Безперервний моніторинг параметрів і викидів у повітря.....	83
2.5.5.2	Приклади безперервного моніторингу викидів після систем знепилювання..	85
2.5.5.2.1	Безперервний моніторинг викидів у повітря із систем вторинного знепилювання в основних кисневих конвертерах	85
2.5.5.2.2	Безперервний моніторинг викидів після кінцевого рукавного фільтра в електродуговій печі	87
2.5.5.3	Моніторинг технологічних газів	88
2.5.5.4	Періодичний моніторинг викидів після систем знепилювання.....	89
2.5.5.5	Моніторинг PCDD/F.....	91
2.5.5.6	Моніторинг розсіяних і неорганізованих (неконтрольованих) викидів	93
2.5.5.6.1	Безпосередні (прямі) або квазібезперервні вимірювання	93
2.5.5.6.2	Непрямі вимірювання.....	94
2.5.5.6.3	Розрахунок викидів за допомогою коефіцієнтів викидів	95
2.5.5.7	Моніторинг скидання стічних вод	97
2.5.6	Зниження рівнів шуму	97
3	АГЛОМЕРАЦІЙНІ УСТАНОВКИ	98
3.1	Процеси і технології, що застосовуються	98
3.1.1	Мета процесу агломерації.....	98
3.1.2	Усереднення та змішування сировини	98
3.1.3	Робота агломераційної стрічки.....	101
3.1.4	Грохочення гарячого й охолодженого агломерату	103
3.2	Поточні рівні викидів і споживання.....	104
3.2.1	Огляд основних потоків і даних споживання та виробництва.....	104
3.2.2	Екологічні проблеми для процесу агломерації	109
3.2.2.1	Викиди у повітря	109
3.2.2.1.1	Викиди пилу від поводження, дроблення, просівання і транспортування сировини для агломерації.....	109
3.2.2.1.2	Викиди відхідних газів від агломераційної стрічки.....	109
3.2.2.1.2.1	Пил	110
3.2.2.1.2.2	Важкі метали	112
3.2.2.1.2.3	Хлориди лужних металів.....	113
3.2.2.1.2.4	Оксиди сірки (SO _x).....	113
3.2.2.1.2.5	Фториди.....	117
3.2.2.1.2.6	Оксиди азоту (NO _x)	118
3.2.2.1.2.7	Інші неорганічні сполуки	118
3.2.2.1.2.8	Вуглеводні	119
3.2.2.1.2.9	Поліхлоровані дибензо-п-діоксини та фурані (PCDD/F)	120
3.2.2.1.2.10	Поліхлоровані біфеніли (PCB)	123
3.2.2.1.2.11	Інші галогенорганічні сполуки	125
3.2.2.1.2.12	Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАН).....	125
3.2.2.1.2.13	Шлейфи диму	125
3.2.2.1.3	Викиди пилу від охолодження агломерату	125
3.2.2.2	Стічні води	126
3.2.2.3	Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти	127
3.2.2.4	Споживання енергії	127
3.2.2.5	Шум	127
3.3	Технології, що розглядаються при визначенні НДТМ для агломераційних установок ..	128
3.3.1	Оптимізація технологічного процесу	130
3.3.2	Методи зниження викидів у повітря від агломераційних установок	131
3.3.2.1	Сучасні електрофільтри (EPS)	131
3.3.2.1.1	Зниження PCDD/F за допомогою ESP та домішок	138
3.3.2.2	Рукавний фільтр – комбіноване або комплексне зниження викидів твердих і газоподібних забруднювачів	139
3.3.2.3	Циклони	152
3.3.2.4	Мокрі скрубери	153
3.3.2.5	Зниження викидів летких органічних сполук (ЛОС/VOC)	157
3.3.2.5.1	Зниження вмісту летких вуглеводнів в агломераційної шихті.....	157
3.3.2.5.2	Спікання поверхневого шару шихти	159
3.3.2.6	Зниження викидів PCDD/F.....	160
3.3.2.6.1	Придушення утворення PCDD/F за допомогою додавання сполук азоту у суміш, що спікається	160
3.3.2.7	Зниження викидів SO ₂	161
3.3.2.7.1	Основні заходи для зниження викидів SO ₂ від процесу спікання	161
3.3.2.7.2	Мокра десульфурація	162
3.3.2.7.3	Регенеративний процес десульфурації та зниження викидів NO _x за допомогою	

	активованого вугілля (RAC)	167
3.3.2.8	Скорочення викидів NO _x	171
3.3.2.8.1	Основні заходи для зниження викидів NO _x	171
3.3.2.8.2	Селективне каталітичне відновлення (SCR).....	172
3.3.3	Пилоловлювання і зниження викидів пилу від вторинних джерел	175
3.3.4	Використання відходів і побічних продуктів виробництва на агломераційній установці.....	177
3.3.5	Утилізація тепла в процесі спікання	178
3.3.5.1	Утилізація тепла при спіканні і охолодженні агломерату	178
3.3.5.2	Часткова утилізація відхідних газів.....	181
3.3.5.2.1	Часткова утилізація відхідних газів від всієї агломераційної стрічки.....	183
3.3.5.2.2	Утилізація відхідних газів від всієї агломераційної стрічки в поєднанні з теплообміном	187
3.3.5.2.3	Утилізація відхідних газів від частини торця агломераційної стрічки та використання відхідних газів при охолодженні агломерату.....	189
3.3.5.2.4	Утилізація частин відхідних газів для різних частин агломераційної стрічки	193
4	УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ОКАТИШІВ.....	197
4.1	Процеси і технології, що застосовуються	197
4.1.1	Дроблення та сушка/зневоднення	198
4.1.2	Приготування сирих окатишів	199
4.1.3	Випал	200
4.1.3.1	Процес випалу з прямолінійним рухом.....	200
4.1.3.2	Процес випалу в агрегаті решітка – трубчаста піч.....	201
4.2	Поточний рівень викидів і споживання.....	203
4.2.1	Огляд основних потоків і даних споживання та виробництва	203
4.2.2	Екологічні проблеми для процесу виготовлення окатишів.....	204
4.2.2.1	Викиди у повітря.....	204
4.2.2.2	Потоки води	206
4.2.2.3	Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти	207
4.2.2.4	Споживання енергії	207
4.2.2.5	Шум.....	208
4.3	Технології, що розглядаються при визначенні НДТМ для установок для отримання окатишів	208
4.3.1	Електрофільтри на дробарках (сухе подрібнення)	209
4.3.3	Адсорбер за принципом випадання газової суспензії (GSA)	211
4.3.5	Селективне каталітичне відновлення (SCR)	214
4.3.6	Очищення стічних вод на установці для отримання окатишів.....	215
4.3.7	Установка для видалення арсену (миш'яку)	216
4.3.8	Утилізація фізичного тепла з ділянки затвердіння окатишів	218
5	КОКСОВІ ПЕЧІ.....	220
5.1	Процеси і технології, що застосовуються	220
5.1.2	Робота батареї коксових печей.....	223
5.1.2.1	Завантаження вугілля	224
5.1.2.2	Камери нагрівання/випалу коксу.....	225
5.1.2.3	Коксування.....	226
5.1.2.4	Видача коксу.....	228
5.1.2.5	Гасіння коксу	228
5.1.3	Переміщення і підготовка коксу	228
5.1.4	Очищення коксового газу	229
5.1.4.1	Збір і очищення коксового газу (COG) з утилізацією побічних продуктів ...	229
5.1.4.2	Охолодження газу	232
5.1.4.3	Утилізація кам'яновугільної смоли з коксового газу	233
5.1.4.4	Десульфурація коксового газу.....	233
5.1.4.5	Утилізація аміаку з коксового газу.....	234
5.1.4.6	Утилізація легких фракцій з коксового газу	235
5.1.5	Потоки води з коксової печі та установок для отримання побічних продуктів ...	235
5.2	Поточний рівень викидів і споживання.....	237
5.2.1	Огляд масових потоків і даних споживання та виробництва	237
5.2.2	Екологічні проблеми для процесу отримання коксу	239
5.2.2.1	Викиди у повітря.....	239
5.2.2.2	Споживання води та стічні води.....	245
5.2.2.3	Відходи виробництва коксохімічних заводів	248

5.2.2.4	Потреба в енергії	249
5.2.2.5	Забруднення ґрунту	250
5.3	Техніки та прийоми, які слід враховувати при визначенні НДТМ.....	250
5.3.1	Підготовка вугілля	252
5.3.2	Мінімізація викидів при завантаженні печі.....	253
5.3.3	Герметизація підйомних труб і завалювальних отворів.....	254
5.3.4	Стійка та стабільна робота коксохімічного підприємства	256
5.3.5	Обслуговування коксових печей	258
5.3.6	Більші коксові камери.....	260
5.3.7	Удосконалення дверей та рамних ущільнень коксових печей.....	261
5.3.8	Очищення дверей та рамних ущільнень коксових печей.....	263
5.3.9	Підтримка вільного потоку газу в коксовій печі	264
5.3.10	Регулювання тиску в печах протягом процесу коксування	265
5.3.11	Коксування з утилізацією теплоти	267
5.3.12	Зниження викидів при опаленні коксових печей	271
5.3.12.1	Мінімізація витоків між камерами коксової печі та камерами випалу	271
5.3.12.2	Зниження викидів NO _x за допомогою основних заходів.....	272
5.3.12.3	Зниження викидів NO _x за допомогою допоміжних заходів	274
5.3.12.4	Зниження викидів SO ₂ при десульфурації коксового газу	275
5.3.13	Зниження викидів під час видачі коксу.....	282
5.3.14	Сухе гасіння коксу	284
5.3.15	Гасіння коксу мокрим способом.....	287
5.3.15.1	Звичайне мокре гасіння.....	287
5.3.15.2	Стабілізаційне гасіння коксу.....	289
5.3.16	Зниження викидів при транспортуванні коксу.....	290
5.3.17	Стрічковий конвеєр закритого типу	291
5.3.18	Герметична система газоочистки коксової печі	293
5.3.19	Видалення смоли (і РАН) зі стоків відпарювальних колон	294
5.3.20	Відгонка аміаку зі стічних вод.....	295
5.3.21	Очищення стічних вод	296
6	ДОМЕННІ ПЕЧІ	306
6.1	Процеси, що застосовуються.....	306
6.1.1	Підготовлення шихти	308
6.1.2	Транспортування і завантаження сировини	309
6.1.3	Робота доменної печі	309
6.1.3.1	Застосування відновлювальних агентів.....	310
6.1.4	Робота повітрянагрівачів	314
6.1.5	Випуск.....	315
6.1.6	Охолодження і переробка шлаку.....	316
6.1.6.1	Процес грануляції шлаку	299
6.1.6.2	Процес брикетування шлаку	300
6.1.6.3	Переробка шлаку в шлаковій траншеї	301
6.2	Поточний рівень викидів і споживання	301
6.2.1	Огляд основних потоків і даних споживання та виробництва.....	301
6.2.2	Екологічні проблеми для процесу доменного виробництва	307
6.2.2.1	Викиди у повітря	307
6.2.2.2	Стічні води	312
6.2.2.3	Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти	314
6.2.2.4	Потреба в енергії та відновлювальних агентах.....	316
6.2.2.5	Шумове забруднення.....	317
6.3	Техніки та прийоми, які слід враховувати при визначенні НДТМ.....	318
6.3.1	Пиловидалення з ливарного двору (льотки, жолоби, скіммери, місця зливу до ковшів-торпедо).....	320
6.3.2	Придушення утворення диму при розливі чавуну	323
6.3.3	Використання футерування жолобу без смоли	326
6.3.4	Очищення доменного газу.....	327
6.3.5	Система утилізації газу при завантаженні доменної печі	329
6.3.6	Очищення і повторне використання скруберної води	333
6.3.7	Обробка доменних шлаків у гідроциклонах	336
6.3.8	Конденсація диму при переробці шлаку	337
6.3.9	Використання руд високої якості	339
6.3.10	Підвищення ефективності використання енергії в доменній печі	340
6.3.11	Утилізація і використання доменного газу	341

6.3.12	Пряме вдування відновлювальних агентів	341
6.3.13.1	Вдування вугільного пилу	343
6.3.13.2	Вдування мазуту з киснем	345
6.3.13.3	Вдування газу.....	346
6.3.13.4	Вдування відходів пластмас	348
6.3.12.5	Пряме вдування відпрацьованих масел, жирів та емульсій як відновлювальних агентів і залишків твердого заліза	349
6.3.13	Утилізація енергії тиску колошникового газу	351
6.3.14	Економія енергії в повітрянагрівачах	353
7	ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ В КИСНЕВИХ КОНВЕРТЕРАХ ТА РОЗЛИВКА.....	355
7.1	Процеси і технології, що застосовуються	355
7.1.1	Транспортування і зберігання розплавленого чавуну	357
7.1.2	Попередня обробка рідкого чавуну.....	357
7.1.3	Окислення в кисневому конвертері	359
7.1.5	Розливка.....	366
7.1.5.1	Безперервна розливка	366
7.1.5.2	Розливка за формою, близькою до заданої.....	368
7.1.5.3	Розливка в злитки	369
7.2	Поточний рівень викидів і споживання	369
7.2.1	Огляд основних потоків і даних споживання та виробництва	369
7.2.2	Екологічні проблеми для виробництва сталі в кисневому конвертері.....	372
7.2.3.1	Викиди у повітря.....	373
7.2.3.1.1	Викиди від попередньої обробки гарячого металу	374
7.2.3.1.2	Викиди при роботі кисневих конвертерів	374
7.2.3.1.4	Розсіяні викиди з кисневих конвертерів.....	378
7.2.3.2	Стічні води.....	379
7.2.3.3	Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти	380
7.2.3.4	Споживання енергії	386
7.3	Техніки та прийоми, які слід враховувати при визначенні НДТМ	387
7.3.1	Первинне знепилювання	389
7.3.2	Вторинне знепилювання	391
7.3.3.1	Збір і придушення вторинних викидів	391
7.3.2.2	Зниження запиленості при попередній обробці рідкого металу.....	400
7.3.2.3	Зниження запиленості при розливанні в злитки і безперервній розливці	402
7.3.2.4	Основні технології для запобігання або контролю розсіяних і неконтрольованих вторинних викидів	403
7.3.3	Очищення стічних вод від вологого знепилювання	405
7.3.4	Очищення стічних вод від безперервної розливки.....	406
7.3.5	Пил від гарячого брикетування і рециклінг з утилізацією окатишів із високою концентрацією цинку для зовнішнього використання	409
7.3.6	Зниження вмісту цинку в брукті	412
7.3.7	Утилізація енергії конвертерного газу.....	413
7.3.8	Відбір проб в реальному часі та аналіз сталі	417
7.3.9	Підвищення ефективності використання енергії в сталеплавильних цехах за допомогою автоматизації.....	418
7.3.10	Прямий випуск сталі з конвертера.....	421
7.3.11	Безперервна розливка смуги із формою, близькою до заданої.....	422
8	ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ В ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПЕЧАХ ТА ЛИТТЯ.....	426
8.1	Процеси і технології, що застосовуються	426
8.1.1	Транспортування та зберігання сировини	429
8.1.2	Попереднє нагрівання скрапу (брукту).....	429
8.1.3	Завантаження.....	430
8.1.4	Плавлення та рафінування в електродугових печах	431
8.1.5	Випуск сталі та шлаку.....	431
8.1.6	Позапічна обробка сталі.....	432
8.1.7	Транспортування та обробка шлаку.....	434
8.1.8	Лиття (розливання).....	435
8.2	Чинні рівні споживання ресурсів та викидів.....	435
8.2.1	Огляд основних потоків і показників споживання та виробництва	435
8.2.2	Екологічні проблеми для процесу виробництва сталі в електродугових печах....	438
8.2.2.1	Викиди у повітря.....	438
8.2.2.1.1	Уловлювання первинних викидів.....	438
8.2.2.1.2	Уловлювання вторинних викидів	439

8.2.2.1.3	Первинні та вторинні викиди і очищення.....	441
8.2.2.1.4	Викиди від позапічної обробки сталі та безперервного лиття	448
8.2.2.1.5	Викиди від попереднього нагрівання скрапу.....	448
8.2.2.1.6	Викиди від переробки шлаку	449
8.2.2.2	Стічні води	449
8.2.2.3	Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти	450
8.2.2.3.1	Шлаки від виплавлення вуглецевої/низьколегованої/високолегованої сталі.....	451
8.2.2.3.2	Пил від очищення відхідних газів.....	452
8.2.2.3.3	Вогнетривка цегла	454
8.2.2.4	Споживання енергії	455
8.2.2.5	Шум	455
8.2.2.6	Забруднення ґрунту.....	456
8.3	Техніки та прийоми, які слід враховувати при визначенні НДТМ.....	456
8.3.1	Оптимізація виплавлення сталі в EAF.....	457
8.3.2	Попереднє нагрівання скрапу (брухту)	460
8.3.3	Зниження викидів пилу від переробки шлаку.....	466
8.3.4	Сучасні системи відведення пилу.....	467
8.3.5	Сучасні технології очищення первинних та вторинних викидів у повітря від електродугових печей.....	470
8.3.5.1	Зниження запиленості за допомогою рукавного фільтра та електрофільтрів.....	470
8.3.5.2	Зниження викидів PCDD/F за допомогою доспалення та загартовування в поєднанні з рукавним фільтром	473
8.3.5.3	Зниження викидів PCDD/F за допомогою адсорбуючих матеріалів у поєднанні з рукавним фільтром	478
8.3.6	Очищення стічних вод, що утворюються у процесі безперервного лиття	482
8.3.7	Система водоохолодження із замкненим контуром	484
8.3.8	Переробка пилу EAF з вилученням та утилізацією ВМ.....	485
8.3.9	Переробка шлаку EAF	486
8.3.10	Переробка шлаків EAF від виплавки високолегованої та нержавіючої сталі.....	489
8.3.11	Безперервне лиття смуги із формою, близькою до заданої.....	491
8.3.12	Технології для запобігання шумових викидів	491
9	ВИСНОВКИ ЩОДО НДТМ (ВАТ) ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУНУ ТА СТАЛІ	494
9.1	Загальні висновки щодо НДТМ	495
9.1.1	Системи управління охороною навколишнього середовища	496
9.1.2	Регулювання споживання енергії	497
9.1.3	Управління матеріалами	499
9.1.4	Управління побічними продуктами і відходами виробництва	500
9.1.5	Розсіянні викиди пилу від зберігання, обігу і транспортування сировини та проміжних продуктів	501
9.1.6	Управління водокористуванням та водовідведенням	504
9.1.7	Моніторинг	505
9.1.8	Виведення з експлуатації.....	506
9.1.9	Шум.....	507
9.2	Висновки щодо НДТМ для агломераційних установок.....	507
9.3	Висновки щодо НДТМ для установок для отримання окатишів.....	515
9.4	Висновки щодо НДТМ для коксогазових заводів.....	518
9.5	Висновки щодо НДТМ для доменних печей.....	523
9.6	Висновки щодо НДТМ для виробництва та лиття в кисневих конвертерах	527
9.7	Висновки щодо НДТМ для виробництва та лиття в електродугових печах	532
10	АЛЬТЕРНАТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУНУ	537
10.1	Пряме відновлення (DR)	538
10.2	Рідкофазне відновлення (SR)	541
10.2.1	Процеси Corex і Finex	541
10.2.2	Процеси в стадії розроблення.....	545
10.3	Порівняння звичайного режиму плавлення в доменній печі з прямим відновленням та рідкофазним відновленням.....	550
11	НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ	537
11.1	Загальні нові технології.....	537
11.1.1	Стратегії зниження викидів діоксиду вуглецю (проект ULCOS).....	537
11.1.1.1	Доменна піч із рециклінгом колошникового газу	538
11.1.1.2	Палива з низьким вмістом вуглецю та відновлювальні агенти	539
11.1.1.3	Біомаса.....	540

11.1.2	Уловлювання і зберігання CO ₂	540
11.1.3	Керамічні фільтри для зниження викидів твердих частинок і оксидів азоту в газових потоках	543
11.1.4	Спалювання і рециклінг сухого вловленого пилю	544
11.2	Нові технології для агломераційних установок	546
11.2.1	Використання пластиків, просочених вугіллям, для адсорбції PCDD/F	546
11.2.2	Придушення утворення PCDD/F за допомогою додавання сполук азоту до димових газів.....	547
11.2.3	Гартування.....	549
11.3	Нові технології для коксових печей	549
11.3.1	Коксова піч підвищеної якості	549
11.3.2	Спосіб контролю тиску в одній печі	550
11.3.3	Альтернативи використання коксового газу	553
11.4	Нові технології для доменних печей	554
11.4.1	Зниження викидів CO від повітрянагрівачів із камерою внутрішнього згорання	554
11.4.2	Утилізація тепла шлаку	554
11.4.3	Вдування відходів у доменну піч	554
11.5	Нові технології для кисневих конвертерів і лиття	555
11.5.1	Підвищення стабільності конвертерного шлаку для тривалого застосування	555
11.5.2	Підвищення ступеня очищення відхідних газів у кисневих конвертерах за допомогою модернізації гібридних фільтр-циклонів	556
11.5.3	Парасоль із вихровим відсмоктувачем для вторинного знепилювання	557
11.5.4	Рециклінг шлаку у сталерозливних ковшах кисневого конвертера та електродугової печі в якості флюсу в електросталеплавильному виробництві	558
11.6	Нові технології для електродугових печей.....	559
11.6.1	Безперервне плавлення губчастого заліза в електродуговій печі.....	559
11.6.2	Рукавний фільтр з інтерметалічних сполук для мінімізації викидів пилю, PCDD/F і важких металів	561
11.6.3	Утилізація старих шин в EAF	562
11.6.4	Рециклінг шлаків (конвертерного і електродугового) як флюсу в електросталеплавильному виробництві	562
12	КІНЦЕВІ ЗАУВАЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ МАЙБУТНЬОЇ РОБОТИ.....	564
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	570
	ГЛОСАРІЙ.....	592
13	ДОДАТКИ	599
13.1	Додаток I. Визначення у стічних водах елементів, до яких чутлива біота	599
13.2	Додаток II. Викиди діоксинів	601
13.3	Додаток III. WHO-12 PCB (BOO3-12 PCB)	602
13.4	Додаток IV. Приклад порогових значень масових потоків для постійного моніторингу	603
13.5	Додаток V. Приклад шаблону для збору даних про навколишнє середовище на промислових підприємствах з переробки чорних металів.....	605

ПЕРЕЛІК РИСУНКІВ

Рис. 1.1.	Виробництво сталі у злитках в Європі та в світі з 1870 року	4
Рис. 1.2.	Виробництво сталі в електродугових печах і кисневих конвертерах в ЄС з 1996 по 2006 роки...5	5
Рис. 1.3.	Географічний розподіл заводів із повним циклом у країнах ЄС 3.....	6
Рис. 1.4.	Методи виробництва нерафінованої сталі	12
Рис. 1.5.	Вид згори металургійного заводу з повним циклом поблизу узбережжя.....	13
Рис. 1.6.	Огляд технологічних методів на заводі з повним циклом	14
Рис. 1.7.	Огляд вхідних і вихідних потоків матеріалів для виробництва чавуну і сталі в ЄС-27 в 2006 році	15
Рис. 2.1.	Технологічна схема типового використання газу при комплексному виробництві агломерату, коксу та рідкого металу.....	23
Рис. 2.2.	Приклад використання коксового газу на заводі з повним циклом	Error! Bookmark not defined.
Рис. 2.3.	Приклад потоків доменного і конвертерного газу на заводі з повним циклом	24
Рис. 2.4.	Приклад BF та потоку газу BOF на заводі з повним циклом	25
Рис. 2.5.	Приклад виробництва пари і використання промислового тепла, що скидається на заводі з повним циклом.....	Error! Bookmark not defined.
Рис. 2.6.	Вид електростанції на заводі з повним циклом	28
Рис. 2.7.	Схема розміщення котла/генератора (40 МВт)	29
Рис. 2.8.	Приклад розміщення котла/генератора з перегрівом пари (85 МВт).....	30
Рис. 2.9.	Приклад газової турбіни (38 МВт) і парової турбіни (МВт) в комбінованому циклі виробництва теплової та електричної енергії	31
Рис. 2.10.	Технологічна схема нормального процесу переміщення матеріалів на заводі з повним циклом	Error! Bookmark not defined.
Рис. 2.11.	Приклад управління побічними продуктами і відходами на заводі з повним циклом	40
Рис. 2.12.	Приклад управління водними ресурсами на заводі з повним циклом в місцевості з високим надлишком прісної води	44
Рис. 2.13.	Приклад управління водними ресурсами на заводі з повним циклом із окремими контурами..	46
Рис. 2.14.	Приклад управління водними ресурсами на заводі з повним циклом із використанням каскадної системи	Error! Bookmark not defined.
Рис. 2.15.	Безперервне вдосконалення моделі Системи управління навколишнім середовищем (EMS) ...	51
Рис. 2.16.	Каталітичний перетворювач NO _x	64
Рис. 2.17.	Кількості пилу від систем вторинного пиловловлення, представлені як середні значення за тиждень	86
Рис. 3.1.	Фотографія агломераційної стрічки із системою завантаження (барабани або жолоби) і запалювального горну.....	98
Рис. 3.2.	Принципова схема агломераційної установки із зазначенням основних точок викидів	101
Рис. 3.3.	Схема розподілу температур і реакційних зон у процесі спікання через шість хвилин після розпалювання	103
Рис. 3.4.	Загальне уявлення про потік сировини для агломераційної установки	104
Рис. 3.5.	Типовий характер викидів CO ₂ , CO, O ₂ та H ₂ O у відхідних газах (одна вакуум-камера) уздовж агломераційної стрічки	110
Рис. 3.6.	Розподіл за розміром частинок і вагою пилу від різних агломераційних стрічок	110
Рис. 3.7.	Розподіл температури і концентрації газових сполук в газах із вакуум-камер	114
Рис. 3.8.	Типовий характер викидів SO ₂ і NO _x в газах (окремі вакуум-камери) і температурний профіль уздовж агломераційної стрічки.....	114
Рис. 3.9.	Середньозважений склад агломерату для установок, які беруть участь в обміні даними Європейського комітету доменних печей.....	116
Рис. 3.10.	Вплив основності агломерату (СаО/SiO ₂) на питомий опір пилу	117
Рис. 3.11.	Співвідношення між основністю агломераційної шихти і викидами	118
Рис. 3.12.	Характер зміни PCDD/F і температури відхідних газів уздовж агломераційної стрічки	122
Рис. 3.13.	Вплив вмісту лужних металів на вході в процесі спікання на викиди пилу після електрофільтра (ESP) на агломераційній установці Voestalpine Stahl GmbH, м. Донавіц, Австрія	132
Рис. 3.14.	Досягнута чистота очищення від пилу з ESP для відхідних газів після агломераційної установки і вплив зниженого вмісту хлоридів на вході.....	133
Рис. 3.15.	Основна технологічна схема розміщення рукавного фільтра після наявного ESP або циклону	141
Рис. 3.16.	Технологічна схема агломераційної установки з додатковою системою SIMETAL MEROS®	142
Рис. 3.17.	Щодобові середні значення викидів пилу з однієї агломераційної стрічки, оснащеної рукавним фільтром, у період із січня 2008 року по жовтень 2009 року.....	145
Рис. 3.18.	Очищення димових газів на агломераційній установці з використанням системи AIRFINE (процес мокрого газоочищення)	153
Рис. 3.19.	Регенеративний процес із використанням активованого вугілля (RAC)	167
Рис. 3.20.	Утилізація тепла від охолоджувача агломерату.....	179
Рис. 3.21.	Агломераційна стрічка з накриттям відповідно до процесу EOS (викиди при оптимізованому спалюванні).....	183

Рис. 3.22.	Схема оптимізованого процесу спікання з мінімізацією викидів (EOS).....	184
Рис. 3.23.	Процес спікання з низькими викидами і оптимальним споживанням енергії (LEEP), розроблений компанією Hüttenwerke Krupp Mannesmann (Німеччина).....	187
Рис. 3.24.	Схематична діаграма технології рециклінгу газу EPOSINT (екологічно оптимізований процес спікання), встановленої на агломераційній стрічці № 5 фірми Voestalpine, м. Лінц, Австрія .	190
Рис. 3.25.	Схематична діаграма селективної рециркуляції відхідних газів на аглофабриці № 3 японської компанії Nippon Steel Corporation, Yawata Works, м. Тобата, Японія	194
Рис. 4.1.	Барабанний окомковувач як частина установки для отримання окатишів, на яку виходять сирі окатиші	197
Рис. 4.2.	Схема установки для отримання окатишів у Нідерландах.....	198
Рис. 4.3.	Схема установки для отримання окатишів із мокрим подрібненням.....	199
Рис. 4.4.	Схема процесу випалу з прямолінійним рухом.....	200
Рис. 4.5.	Схема процесу випалу в трубчастій печі.....	201
Рис. 4.6.	Загальне уявлення про масові потоки на установці для отримання окатишів	203
Рис. 4.7.	Схема технологічного процесу установки для видалення арсену (миш'яку)	217
Рис. 5.1.	Фотографія коксогазового заводу в м. Дуйсбург (Швельгерн), Німеччина	221
Рис. 5.2.	Типова схема коксової печі з джерелами викидів	222
Рис. 5.3.	Принципова схема батареї коксових печей з основними джерелами викидів	224
Рис. 5.4.	Схема завантаження вугілля в камеру коксової печі з використанням завалочного візка із зазначенням джерел викидів.....	225
Рис. 5.5.	Принципова схема системи нагрівання коксової печі із зазначенням місць викидів	226
Рис. 5.6.	Принципова схема камери коксової печі із зазначенням можливих місць викидів під час коксування (вказано стрілками).....	227
Рис. 5.7.	Видача готового коксу із коксової печі в коксогасильний вагон із зазначенням викидів.....	228
Рис. 5.8.	Видача готового коксу з коксової печі в коксотушильний вагон із зазначенням викидів Error! Bookmark not defined.	
Рис. 5.9.	Принципова схема з прикладом потоків води в коксовій печі.....	233
Рис. 5.10.	Загальне уявлення про масові потоки для коксового заводу.....	237
Рис. 5.11.	Приклад річної потреби в енергії / балансу коксохімічного виробництва на заводі з повним циклом	249
Рис. 5.12.	Підйомна труба в камері коксової печі.....	255
Рис. 5.13.	Схема системи PROven®.....	266
Рис. 5.14.	Піч Джевелла-Томпсона і коксовий завод з утилізацією тепла.....	268
Рис. 5.15.	Найважливіші характеристики способу утилізації тепла на відміну від утилізації коксового газу.....	269
Рис. 5.16.	Блок-схема установки для очищення коксового газу з процесом ASK (аміачна вода), встановленої в 1997 році..... Error! Bookmark not defined.	
Рис. 5.17.	Приклад системи знепилювання при виштовхуванні коксу.....	283
Рис. 5.18.	Схема установки сухого гасіння коксу.....	285
Рис. 5.19.	Принципова схема вежі гасіння коксу з екранами для зниження викидів	288
Рис. 5.20.	Приклад системи трубчастого конвеєра	292
Рис. 5.21.	Приклад типового біологічного очищення стічних вод зі стадіями нітрифікації – денітрифікації	297
Рис. 5.22.	Приклад установки біологічного очищення з попередньою денітрифікацією – нітрифікацією – денітрифікацією.....	298
Рис. 5.23.	Поверховий план установки для біологічного очищення стічних вод компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди.....	300
Рис. 5.24.	Вид згори установки для біологічного очищення стічних вод компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди.....	301
Рис. 6.1.	Загальний вид двох доменних печей із трьома повітрянагрівачами для кожної та димовою трубою для відхідних газів із повітрянагрівачів	306
Рис. 6.2.	Спрощена схема доменної печі	307
Рис. 6.3.	Середнє споживання відновлювальних агентів доменними печами в Німеччині.....	311
Рис. 6.4.	Споживання відновлювальних агентів у доменних печах у світі у 2006 році.....	313
Рис. 6.5.	Повітрянагрівачі (каупери) з внутрішніми і зовнішніми камерами горіння в розрізі.....	315
Рис. 6.6.	Резюме методів контролю і технологічних схем для рідких доменних шлаків Error! Bookmark not defined.	
Рис. 6.7.	Приклад грануляції доменного шлаку з відкритим циклом	299
Рис. 6.8.	Грануляція доменного шлаку в процесі INBA	300
Рис. 6.9.	Загальне уявлення про масові потоки в доменній печі.....	302
Рис. 6.10.	Загальна схема процесу в доменній печі із зазначенням індивідуальних операцій, а також вхідних і вихідних масових потоків	303
Рис. 6.11.	Схема управління водою в доменній печі	312
Рис. 6.12.	Способи використання пилу і шламів від очищення доменного газу в ЄС	315
Рис. 6.13.	Кінцеве використання доменного шлаку в ЄС.....	316
Рис. 6.14.	Середньодобові значення викидів для систем знепилювання у ливарному дворі в льотках і випускних жолобах доменних печей компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія.....	322
Рис. 6.15.	Утворення пилу при розливі чавуну в сигароподібний міксерний ківш із продувкою інертним газом (азотом) або без продувки залежно від витрати рідкого чавуну	324
Рис. 6.16.	Розлив чавуну в ківш сигароподібної форми з придушенням утворення пилу завдяки продувці інертним газом.....	325

Рис. 6.17.	Порівняння капітальних витрат, витрат на енергію та обслуговування для системи придушення утворення диму	326
Рис. 6.18.	Схема безконусного завантажувального пристрою із клапанами вирівнювання тиску, вихлопним клапаном і з системою утилізації газу.....	329
Рис. 6.19.	Схема безконусного завантажувального пристрою із клапанами вирівнювання тиску, вихлопними клапанами і системою утилізації газу	330
Рис. 6.20.	Приклад процесу очищення скрубберної води від ціаніду на доменних печах.....	334
Рис. 6.21.	Грануляція доменного шлаку з конденсацією диму	338
Рис. 6.22.	Питома витрата коксу та інтенсивність вдування на 26 доменних печах.....	342
Рис. 6.23.	Приклад схеми вдування коксового газу	347
Рис. 6.24.	Спрощена схема прямого вдування відпрацьованих масел, жирів та емульсій в доменну піч	350
Рис. 7.1.	Кисневий конвертер у момент розливки рідкої сталі	355
Рис. 7.2.	Послідовність процесу киснево-конвертерного виробництва сталі із зазначенням окремих джерел викидів.....	357
Рис. 7.3.	Кисневий конвертер.....	360
Рис. 7.4.	Розріз конвертера з донною продувкою (ОВМ) (процес Q-BOP).....	360
Рис. 7.5.	Схема конвертера з комбінованою верхньою продувкою	361
Рис. 7.6.	Переробка конвертерного шлаку	363
Рис. 7.7.	Загальне уявлення про операції позапічної обробки сталі та очищення при зливці	365
Рис. 7.8.	Схема установки безперервної розливки із томильною піччю і прокатним станом із гарячим завантаженням	367
Рис. 7.9.	Загальне уявлення про масові потоки для кисневого конвертера.....	370
Рис. 7.10.	Загальна схема процесу в доменній печі із зазначенням індивідуальних операцій, а також вхідних і вихідних масових потоків.....	371
Рис. 7.11.	Збір конвертерного газу в разі неповного спалювання.....	376
Рис. 7.12.	Види використання шлаку від десульфурації металу в ЄС	382
Рис. 7.13.	Використання конвертерного шлаку в Європі у 2004 році.....	383
Рис. 7.14.	Шляхи використання пилу від сухого очищення конвертерного газу.....	385
Рис. 7.15.	Використання пилу/шламу та прокатної окалини від киснево-конвертерного виробництва сталі	386
Рис. 7.16.	Видалення вторинних викидів протягом розливки рідкого чавуну і завантаження брухту в конвертер.....	393
Рис. 7.17.	Питоме споживання енергії для різних операцій знепилювання на заводах із повним циклом	396
Рис. 7.18.	Приклад системи вторинного знепилювання, що складається з трьох окремих повітродувок і фільтрів для очищення повітря, що відводиться з різних точок відбору.....	398
Рис. 7.19.	Середньодобові значення викидів на Установці № 2 вторинного знепилювання на кисневому конвертері компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія	399
Рис. 7.20.	Уловлювання пилу на майданчику десульфурації рідкого металу.....	400
Рис. 7.21.	Середньодобові значення викидів на Установці № 1 вторинного знепилювання на кисневому конвертері компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія	401
Рис. 7.22.	Установка для гарячого брикетування пилу з кисневих конвертерів.....	409
Рис. 7.23.	Загальне уявлення про заходи для оптимізації рециклінгу пилу від кисневого конвертера ...	410
Рис. 7.24.	Автоматизована система управління кришкою ковша	418
Рис. 7.25.	Схема автоматизованої системи випуску металу	419
Рис. 7.26.	Можлива схема класифікації для процесів безперервної розливки смуги	423
Рис. 7.27.	Співвідношення між споживанням первинної енергії та викидами CO ₂ (порівняння установок промислового масштабу) для різних технологій розливання	424
Рис. 8.1.	Електросталеплавильні цехи.....	426
Рис. 8.2.	Завантаження електродугової печі.....	427
Рис. 8.3.	Огляд процесів, пов'язаних із плавленням сталі в електродугових печах	428
Рис. 8.4.	Блок-схема можливих видів позапічної обробки сталі в ковші для різних сортів сталі (вуглецевої, нержавіючої або високолегованої)	433
Рис. 8.5.	Потік матеріалів у цеху виплавки нержавіючої сталі з конвертером аргоно-кисневого зневуглицювання.....	434
Рис. 8.6.	Загальне уявлення про масові потоки в електродугових печах	436
Рис. 8.7.	Системи уловлювання на електродугових печах..... Error! Bookmark not defined.	
Рис. 8.8.	Відсоткові частки наявних систем знепилювання для 51 EAF в ЄС	440
Рис. 8.9.	Розподіл гомологів PCDD/F у газах EAF із подвійною стінкою з попереднім підігрівом брухту до і після очищення.....	444
Рис. 8.10.	Кореляція викидів PCDD/F із температурою відхідних газів після очищення в рукавному фільтрі EAF	445
Рис. 8.11.	Кореляція залишкового вмісту пилу з концентраціями PCDD/F після очищення в рукавному фільтрі в газах EAF при температурі нижче 85 °С	445
Рис. 8.12.	Кореляція вмісту водяної пари і залишкового пилу після очищення в рукавному фільтрі.....	446
Рис. 8.13.	Викиди PCDD/F як I-TEQ (міжнародний токсичний еквівалент), включаючи діоксиноподібні PCB.....	447
Рис. 8.14.	Використання пилу EAF	454
Рис. 8.15.	Схема процесу CONSTELL.....	462
Рис. 8.16.	Кількість установок для підігрівання брухту в EAF	466
Рис. 8.17.	Середньодобові викиди пилу від EAF за три роки	471

Рис. 8.18.	Спалювання основних відхідних газів EAF із наступним швидким охолодженням.....	474
Рис. 8.19.	Середньорічні концентрації діоксинів у викидах від двох EAF із доспаленням	475
Рис. 8.20.	Схема вдування адсорбенту.....	478
Рис. 8.21.	Технологічна схема установки для попередньої обробки шлаку	488
Рис. 10.1.	Минулі, теперішні та майбутні напрями альтернативних процесів виробництва чавуну та сталі	538
Рис. 11.1.	Схема рециклінгу колошникового газу доменної печі для мінімізації викидів ПГ з уловлюванням і додатковим зберіганням CO ₂	538
Рис. 11.2.	Технологічна схема виробництва коксу підвищеної якості в процесі SCOPE 21	550
Рис. 11.3.	Клапан SOPRECO (система регулювання тиску в окремій камері батареї коксових печей, розроблена компанією Paul Wurth).....	551
Рис. 11.4.	Схема системи SOPRECO.....	552
Рис. 11.5.	Клапани SOPRECO модель 2 на батареї коксових печей.....	553
Рис. 13.1.	Система нумерації ІЮПАК (IUPAC) та номенклатура РСВ	602

ПЕРЕЛІК ТАБЛИЦЬ

Таблиця 1.1:	Кількість установок та обсяг виробництва агломерату і окатишів у країнах ЄС-27	7
Таблиця 1.2:	Виробництво коксу в країнах ЄС-27	8
Таблиця 1.3:	Кількість доменних печей і виробництво чавуну в різних країнах ЄС-27	8
Таблиця 1.4:	Кількість кисневих конвертерів та виробництво металу в різних країнах-членах ЄС	9
Таблиця 1.5:	Кількість електродугових печей і виробництво сталі в різних країнах ЄС-27	9
Таблиця 1.6:	Кількість установок для безперервного лиття і виробництво металу в ЄС-27	10
Таблиця 1.7:	Зайнятість у секторі чорної металургії ЄС-15 з 1996 по 2004 роки	11
Таблиця 1.8:	Перша таблиця, що представляє потенційні маршрути викидів передбачених речовин та інших речовин, які можуть заподіяти шкоду довкіллю	18
Таблиця 1.9:	Друга таблиця, що представляє потенційні маршрути викидів передбачених речовин та інших речовин, які можуть заподіяти шкоду довкіллю	20
Таблиця 1.10:	Третя таблиця, що представляє потенційні маршрути викидів передбачених речовин та інших речовин, які можуть заподіяти шкоду довкіллю	21
Таблиця 2.1:	ККД котлів із газовою топкою під час використання газу з низькою теплотворною здатністю	29
Таблиця 2.2:	ККД газової турбіни комбінованого циклу при використанні газу з низькою теплотворною здатністю в парогазовому циклі (CCGT)	31
Таблиця 2.3:	Значення викидів, що досягаються для котлів із газовою топкою і турбін під час використання технологічних газів із металургійних заводів	32
Таблиця 2.4:	Середньорічне значення викидів SO ₂ для п'яти установок в Австрії, що працюють на технологічних газах	33
Таблиця 2.5:	Типовий склад технологічних газів металургійних заводів	33
Таблиця 2.6:	Типові значення NO _x , мг/Нм ³ , у викидах при спалюванні коксового газу на електростанції	34
Таблиця 2.7:	Використання металовмісних шлаків у Європі	42
Таблиця 2.8:	Споживання води, необхідне для заводів із повним циклом із прямою системою водопостачання порівняно із системою з інтенсивної рециркуляції	45
Таблиця 2.9:	Вихідна інформація для кожної технології, що описана в цьому розділі	50
Таблиця 2.10:	Приклад установки CHP, на якій виробляють теплову та електричну енергію для населення	59
Таблиця 2.11:	Ефективність зниження викидів NO _x від первинних заходів	63
Таблиця 2.12:	Експлуатаційні параметри для п'яти процесів на установках, що працюють на газі з використанням технології SCR	65
Таблиця 2.13:	Експлуатаційні характеристики установки Primus® в комуні Діфферданж (Люксембург) із номінальною продуктивністю 10 т/год.	78
Таблиця 2.14:	Досягнуті концентрації очищеного газу для процесу Primus® (MNF та EAF)	79
Таблиця 2.15:	Досягнуті концентрації очищеного газу для процесу Primus® з пилешумозахисного кожуха електродугового печі (MNF та EAF)	80
Таблиця 2.16:	Результати безперервного вимірювання викидів у повітря на заводі компанії Voestalpine Stahl, м. Лінц, Австрія	84
Таблиця 2.17:	Умови, передбачені в дозволі для моніторингу технологічних газів компанії Voestalpine Stahl, Австрія	88
Таблиця 2.18:	Методи вимірювання для періодичного моніторингу викидів	90
Таблиця 2.19:	Загальні витрати на вимір PCDD/F відповідно до EN 1948	92
Таблиця 2.20:	Частота моніторингу PCDD/F у металургійній промисловості в різних країнах-членах ЄС	93
Таблиця 3.1:	Характеристики коксового пилу, що використовується на агломераційній установці	100
Таблиця 3.2:	Питомі коефіцієнти сировини, що надходила для виробництва агломерату в ЄС-25 у 2004 році	105
Таблиця 3.3:	Питомі витрати ресурсів за 1999 рік із п'яти агломераційних установок у чотирьох країнах-членах ЄС (Австрія, Бельгія, Німеччина та Нідерланди)	105
Таблиця 3.4:	Усереднені максимальні та мінімальні концентрації викидів у відхідних газах агломераційної стрічки після очищення для виробництва агломерату в ЄС-25 за 2004 рік	107
Таблиця 3.5:	Діапазони викидів твердих частинок для точкових джерел на установці для спікання (за винятком основної димової труби)	108
Таблиця 3.6:	Викиди пилу від системи вторинного знепилювання на трьох установках в ЄС	109
Таблиця 3.7:	Діапазони, виявлені під час елементного аналізу пилу з агломераційної стрічки	111
Таблиця 3.8:	Вміст розчинних хлоридів у шихті	113
Таблиця 3.9:	Концентрація PCDD/F в сировині, змішаних матеріалах та агломераті, що виробляється	121
Таблиця 3.10:	Загальні концентрації, нг/м ³ , груп гомологів PCDD і PCDF у пробах із вакуум-камери	123
Таблиця 3.11:	Викиди PCB з установок агломерації	124
Таблиця 3.12:	Конженери (гомологи) PCB, виявлені у газах аглофабрики	124
Таблиця 3.13:	Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі	129
Таблиця 3.14:	Характеристики викидів пилу, мг/м ³ , для електрофільтрів на двох аглофабриках компанії Arcelormittal, м. Гент, Бельгія у 2008 році	133
Таблиця 3.15:	Досягнуті значення рівнів концентрації для знепилювання з ESP на трьох німецьких аглофабриках	134
Таблиця 3.16:	Експлуатаційні та економічні показники для електрофільтра MEER (електрофільтрів із	

рухливими електродами) і ESCS (електрофільтрів зі статичним зарядом), що працюють для очищення відхідних газів на аглофабриці	137
Таблиця 3.17: Характеристики трьох агломераційних установок із системою рукавних фільтрів.....	143
Таблиця 3.18: Досягнуті значення концентрації викидів для системи знепилювання на п'яти аглофабриках в ЄС	144
Таблиця 3.19: Характеристики різних адсорбуючих та абсорбуючих матеріалів.....	146
Таблиця 3.20: Типові експлуатаційні параметри під час використання бікарбонату натрію та гашеного вапна як добавок (домішок).....	146
Таблиця 3.21: Витрати на рукавні фільтри, встановлені на аглофабриках	148
Таблиця 3.22: Експлуатаційні та економічні показники рукавних фільтрів на агломераційних установках ..	150
Таблиця 3.23: Досягнуті параметри викидів на установці компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, з використанням системи AIRFINE	154
Таблиця 3.24: Досягнуті концентрації викидів для стічних вод, що очищуються, від мокрого газоочищення відхідних газів від пилу з використанням електрофільтрів на установці компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, у 2004 році	156
Таблиця 3.25: Експлуатаційні дані для установки компанії Corus в м. Еймьойден	156
Таблиця 3.26: Оцінка експлуатаційних витрат процесу мокрого очищення разом із системою SCR	165
Таблиця 3.27: Установка мокрої десульфурації на аглофабриці	165
Таблиця 3.28: Експлуатаційні та економічні показники для трьох аглофабрик з установками мокрої десульфурації.....	166
Таблиця 3.29: Концентрація компонентів відхідних газів.....	168
Таблиця 3.30: Досягнуті показники агломераційної установки під час застосування деревного активованого вугілля.....	168
Таблиця 3.31: Оцінка витрат системи з активованим вугіллям.....	170
Таблиця 3.32: Технології з частковою рециркуляцією відхідних газів, що включені в цей розділ	182
Таблиця 3.33: Порівняння характеристик і значень викидів звичайного спікання і викидів оптимізованого спікання на агломераційній установці компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди.....	184
Таблиця 3.34: Показники зниження викидів (за масою) для оптимізованого спікання (EOS) компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди.....	185
Таблиця 3.35: Деякі екологічні переваги, що досягаються за допомогою LEEP (низький рівень викидів та оптимальне споживання енергії), порівняно зі звичайним процесом спікання	188
Таблиця 3.36: Основні екологічні переваги від застосування технології рециркуляції відхідних газів	191
Таблиця 3.37: Експлуатаційні дані агломераційної установки до і після застосування системи рециркуляції відхідних газів (2007 рік, застосування системи AIRFINE для придушення/зменшення викидів)	192
Таблиця 3.38: Характеристики потоків відхідних газів із використанням селективної рециркуляції відхідних газів на агломераційній установці № 3 компанії Nippon Steel Corporation на заводі Yawata Works, м. Тобата, Японія	195
Таблиця 3.39: Порівняння кінцевого складу відхідних газів до і після реконструкції з введенням селективної рециркуляції відхідних газів на установці для спікання № 3 компанії Nippon Steel Corporation, Yawataworks, м. Тобата, Японія.....	195
Таблиця 4.1: Дані щодо входу/виходу від трьох установок для отримання окатишів у країнах ЄС-25.....	204
Таблиця 4.2: Експлуатаційні дані щодо очищення стічних вод на руднику Мальмбергет та в м. Кіруна (Швеція).....	207
Таблиця 4.3: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі	208
Таблиця 4.4: Експлуатаційні дані адсорбера за принципом випадіння газової суспензії, тобто суміші газу з краплями рідини або твердими частинками (GSA)	212
Таблиця 4.5: Експлуатаційні дані з установки з видалення арсену (миш'яку) (2007 рік)	217
Таблиця 5.1: Вихід неочищеного коксового газу та його склад.....	230
Таблиця 5.2: Вхідні та вихідні дані для коксових заводів у різних країнах-членах ЄС за 2005 рік, доповнені іншими посиланнями.....	238
Таблиця 5.3: Вихідні дані 2004 року з польської коксової печі	239
Таблиця 5.4: Коефіцієнти розсіяних або неорганізованих/неконтрольованих викидів у повітря, що викликані роботою батарей коксових печей	241
Таблиця 5.5: Концентрація викидів на коксохімічних заводах у Німеччині та Чеській Республіці	242
Таблиця 5.6: Оцінка викидів від спалювання коксового газу на свічці.....	243
Таблиця 5.7: Коефіцієнти викидів для спрямованих викидів від коксогасильної установки	244
Таблиця 5.8: Коефіцієнти викидів для випадку неорганізованих викидів від установок коксохімічного виробництва.....	244
Таблиця 5.9: Концентрації у вхідному та вихідному потоках стічних вод та деякі аспекти систем очищення стічних вод.....	247
Таблиця 5.10: Склад стічних вод для двох процесів мокрої окисної десульфурації.....	248
Таблиця 5.11: Основні відходи/залишки коксохімічного виробництва	249
Таблиця 5.12: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі	251
Таблиця 5.13: Приклади установок з мінімізацією викидів для систем завантаження коксових печей.....	254
Таблиця 5.14: Характеристики кількох типів коксових печей	261
Таблиця 5.15: Виміряні викиди РАН із системою регулювання тиску	266
Таблиця 5.16: Викиди під час завантаження та видачі коксу при коксуванні без утилізації тепла, без зниження викидів.....	269
Таблиця 5.17: Процеси десульфурації коксового газу та їхні характеристики	276
Таблиця 5.18: Типові експлуатаційні та капітальні витрати для десульфурації 42 000 нм ³ /год коксового газу,	

що містить 6 г/нм ³ H ₂ S і 6 нм ³ NH ₃ для двох основних типів технологій десульфурації коксового газу, що використовуються в Європі (ASK та Stretford).....	281
Таблиця 5.19: Таблиця з прикладом установок із процесом десульфурації коксового газу.....	282
Таблиця 5.20: Викиди пилу від стабілізаційного гасіння коксу	290
Таблиця 5.21: Технічні дані для трубчастого конвеєра для коксового цеху в Німеччині	292
Таблиця 5.22: Склад різних потоків стічних вод компанії Corus м. Еймьойден, Нідерланди (2007 рік)	299
Таблиця 5.23: Концентрація в стоках і питомі скиди від європейських коксових печей, що використовують очищення стічних вод за допомогою аеробних систем з активним шламом.....	301
Таблиця 5.24: Концентрації у вхідному та вихідному потоках стічних вод та деякі аспекти систем очищення стічних вод	303
Таблиця 5.25: Концентрації в скидах для установки біологічного очищення компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди (2007 рік) після спільного очищення стічних вод із коксової печі, доменних печей та установки для спікання.....	304
Таблиця 6.1: Вхідні дані для доменних печей в різних країнах-членах ЄС.....	304
Таблиця 6.2: Вихідні дані за 2004 рік для доменних печей	305
Таблиця 6.3: Викиди від підготовки вугілля для вдування	305
Таблиця 6.4: Викиди із зони завантаження.....	305
Таблиця 6.5: Викиди в повітря з ливарного двору доменної печі (на кінці труби)	306
Таблиця 6.6: Викиди в повітря від грануляції доменного шлаку.....	306
Таблиця 6.7: Склад неочищеного доменного газу (перед очищенням)	308
Таблиця 6.8: Склад доменного газу (після двостадійного очищення).....	309
Таблиця 6.9: Концентрації викидів від повітрянагрівачів	310
Таблиця 6.10: Концентрації викидів із ливарного двору доменної печі та знепилювання шихти	311
Таблиця 6.11: Склад стічних вод від мокрого очищення газу після доменної печі після очищення	313
Таблиця 6.12: Концентрації забруднюючих речовин та питомі викиди для стічних вод від грануляції доменного шлаку.....	314
Таблиця 6.13: Типовий склад (% , ваг.) сухого крупного пилу після очищення доменного газу.....	315
Таблиця 6.14: Типовий склад (% , ваг.) шламів від очищення доменного газу.....	315
Таблиця 6.15: Хімічний склад доменного шлаку (% , ваг.) для основності нижче і вище 1,0 та інші приклади	316
Таблиця 6.16: Приклад споживання/виробництва енергії в доменній печі з підвищеним тиском на колошнику та з використанням газових утилізаційних безкомпресорних турбін.....	317
Таблиця 6.17: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі	319
Таблиця 6.18: Концентрації викидів із ливарного двору доменної печі та знепилювання шихти	321
Таблиця 6.19: Викиди від футерування жолобу без смоли	327
Таблиця 6.20: Умови для доменної печі компанії Voestalpine GmbH, м. Лінц, Австрія	331
Таблиця 6.21: Зниження неорганізованих викидів через колошник із системою утилізації газу компанії Voestalpine GmbH, доменна піч, м. Лінц, Австрія	332
Таблиця 6.22: Експлуатаційні дані від семи установок контактного фільтрування в Німеччині для очищення скрубберної води.....	333
Таблиця 6.23: Концентрація в скиді стічних вод від скрубберної води доменної печі після очищення компанії ArcelorMittal в м. Бремен, Німеччина	335
Таблиця 6.24: Приклад вмісту цинку в шламів доменної печі після гідроциклону	337
Таблиця 6.25: Порівняння споживання залишкового коксу і загального споживання вугілля при різних рівнях прямого вдування вугільного пилу	342
Таблиця 6.26: Відновлювальні агенти, що застосовуються на різних доменних печах	343
Таблиця 6.27: Вимоги до складу пластмас, які використовуються для вдування у доменну піч компанії Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц, Австрія.....	349
Таблиця 6.28: Рівні вдування і коефіцієнти заміщення для різних матеріалів, що вдуваються у фурми доменної печі	351
Таблиця 7.1: Основні хімічні реакції, що відбуваються протягом процесу окислення	359
Таблиця 7.2: Типи, кількість і номінальна продуктивність кисневих конвертерів, що працюють у ЄС.....	361
Таблиця 7.3: Вхідні/вихідні дані від 21 наявних кисневих конвертерів у різних країнах-членах ЄС.....	372
Таблиця 7.4: Інші забруднювачі повітря.....	373
Таблиця 7.5: Склад і характеристики конвертерного газу	375
Таблиця 7.6: Питомі значення викидів у повітря від кисневого конвертера з неповним спалюванням СО після очищення, якщо немає інших вказівок	377
Таблиця 7.7: Вимірювання ліхтарних викидів пилу з кисневого конвертера.....	379
Таблиця 7.8: Вид і питома кількість твердих залишків від кисневих конвертерів	381
Таблиця 7.9: Утворення конвертерного шлаку та шлаку від позапічної сталі	381
Таблиця 7.10: Хімічний склад шлаку від десульфурації гарячого металу.....	381
Таблиця 7.11: Приклади хімічного складу конвертерного шлаку	382
Таблиця 7.12: Три приклади діапазону мінеральних складових конвертерного шлаку	382
Таблиця 7.13: Основні мінеральні складові шлаків від позапічної обробки	384
Таблиця 7.14: Діапазон хімічного складу шлаків від позапічної обробки.....	384
Таблиця 7.15: Склад крупнодисперсного та дрібнодисперсного пилу та шламу.....	384
Таблиця 7.16: Склад прокатної окалини	386
Таблиця 7.17: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі	388
Таблиця 7.18: Досягнуті концентрації викидів під час використання систем мокрого очищення.....	390
Таблиця 7.19: Дані щодо системи вторинного знепилювання, що застосовуються, та характеристики викидів при завантаженні та випуску плавлення	394

Таблиця 7.20: Досягнуті ступені видалення пилу від вторинних відхідних газів кисневих конвертерів	395
Таблиця 7.21: Досягнуті рівні викидів за умов вторинного знепилювання в кисневих конвертерах	395
Таблиця 7.22: Ключові технічні показники системи вторинного знепилювання для Установок № 1 і № 2 компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія	399
Таблиця 7.23: Досягнуті рівні викидів для двох методів розливання при використанні рукавних фільтрів ..	403
Таблиця 7.24: Приклади питомих скидів у воду від установок мокрого знепилювання для кисневих конвертерів	405
Таблиця 7.25: Огляд питомих скидів у воду від систем прямого охолодження при безперервній розливці....	407
Таблиця 7.26: Приклад концентрації забруднювачів у стічних водах від безперервного розливання після очищення в кисневому конвертері компанії ArcelorMittal в м. Бремен, Німеччина	408
Таблиця 7.27: Переваги та недоліки неповного спалювання з окремим розглядом використання конвертерного газу	415
Таблиця 7.28: Генерація пари в кисневому конвертері компанії Thyssen Stahl AG	415
Таблиця 8.1: Вхідні та вихідні дані для електродугових печей в ЄС	437
Таблиця 8.2: Системи уловлювання викидів з EAF	440
Таблиця 8.3: Концентрації викидів у повітря від EAF після очищення	441
Таблиця 8.4: Питомі та річні викиди PCDD/F та PCB у повітря від шведських електродугових печей	448
Таблиця 8.5: Викиди від різних елементів позапічної обробки після очищення	448
Таблиця 8.6: Вид і питомі кількості твердих відходів/побічних продуктів від EAF	450
Таблиця 8.7: Хімічний склад шлаку EAF при виплавленні вуглецевої/низьколегованої сталі та високолегованої/нержавіючої сталі	451
Таблиця 8.8: Види використання шлаків EAF в ЄС	452
Таблиця 8.9: Концентрації та щорічні масові потоки PCDD/F та PCB у сталеплавильних печах, де використовують брухт як сировину	452
Таблиця 8.10: Хімічний склад пилу EAF при виплаві вуглецевої/низьколегованої та високолегованої сталі	453
Таблиця 8.11: Концентрації та щорічні масові потоки PCDD/F та PCB у пилу від сталеплавильних печей, де використовують брухт як сировину	453
Таблиця 8.12: Приклад щорічної кількості витрачених вогнетривких матеріалів на одній установці	455
Таблиця 8.13: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі	457
Таблиця 8.14: Вимірювання забруднення з однієї установки протягом восьми років експлуатації	463
Таблиця 8.15: Технологічні дані для ряду систем підігріву брухту, що застосовуються в EAF	464
Таблиця 8.16: Порівняння викидів пилу від димових труб сталеплавильних заводів до і після модернізації (один завод у Німеччині)	469
Таблиця 8.17: Середньодобові викиди пилу від трьох EAF (2004 – 2006 роки)	471
Таблиця 8.18: Концентрації залишкового пилу і важких металів від дев'яти EAF після очищення	472
Таблиця 8.19: Приклад установок, що використовують технології знепилювання	473
Таблиця 8.20: Концентрація викидів пилу, PAH і PCDD/F після очищення.....	475
Таблиця 8.21: Показники після доспалення і швидкого охолодження на чотирьох EAF в Німеччині	476
Таблиця 8.22: Зниження викидів PCDD/F в результаті вдування пилоподібного буровугільного коксу	479
Таблиця 8.23: Прогрес в очищенні від PCDD/F після встановлення другої системи вдування вугілля	479
Таблиця 8.24: Характеристики різних адсорбуючих та абсорбуючих матеріалів	480
Таблиця 8.25: Склад потоків стічних вод від безпосереднього охолодження в компанії BSW в м. Кель, Німеччина, після очищення стічних вод (2008 рік).....	483
Таблиця 10.1: Світове виробництво DRI	539
Таблиця 10.2: Характеристики установок серійного випуску з процесами прямого відновлення	540
Таблиця 10.3: Важливі експлуатаційні дані установки з процесом Corex компанії Iscor's Pretoria Works, Південна Африка (виведена з експлуатації та демонтована у 1998 році)	543
Таблиця 10.4: Огляд щодо установок Corex та Finex	544
Таблиця 10.5: Характеристики процесів рідкофазного відновлення, які перебувають у стадії розроблення ..	546
Таблиця 10.6: Порівняння звичайного режиму плавлення в доменній печі з прямим відновленням та рідкофазним відновленням.....	534
Таблиця 12.1: Погляди, в яких не досягнули згоди	566
Таблиця 13.1: Межі для визначення деяких екологічно чутливих елементів у стічних водах	599
Таблиця 13.2: Режими моніторингу PCDD/F.....	602
Таблиця 13.3: Таблиця коефіцієнтів токсичної еквівалентності BOO3-12 конженерів PCB	603
Таблиця 13.4: Приклад шаблону для збирання даних про навколишнє середовище в секторі IS	605

Сфера застосування

Цей довідковий документ по застосуванню найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для чавуну та сталі охоплює теми, наведені в Додатку I до Директиви 2010/75/EU, а саме:

- економічна діяльність 1.3: виробництво коксу;
- економічна діяльність 2.1: випалювання або агломерація металевих руд (у тому числі сульфідної руди);
- економічна діяльність 2.2: виробництво чавуну або сталі (первинне або переплав), у тому числі безперервний розлив, продуктивністю понад 2,5 тонни на годину.

Зокрема, цей довідковий документ охоплює такі процеси:

- завантаження, розвантаження та переміщення великотонажної сировини;
- складання сумішей і змішування сировини;
- спікання й окомкування залізної руди;
- виробництво коксу з коксівного вугілля;
- виробництво рідкого чавуну в доменних печах, включаючи переробку шлаку;
- виробництво і рафінування сталі з використанням конвертерного процесу, включаючи попередню десульфурацію в ковші, подальшу ковшову металургію та переробку шлаку;
- виробництво сталі в електродугових печах, включаючи подальшу ковшову металургію та переробку шлаку;
- безперервне лиття (тонкий сляб/тонка стрічка) і безперервне лиття листа (близького за формою). У цьому довіднику BREF не розглядалися такі види економічної діяльності:
- виробництво вапна у випалювальних печах, яке входить до BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію (CLM);
- переробка пилу для утилізації кольорових металів (наприклад, пил електродугових печей) і виробництво феросплавів, які входять до BREF для підприємств кольорової металургії (NFM);
- експлуатація установок для видалення сірчаної кислоти в коксових печах, яка розглядається в BREF для великотоннажного виробництва неорганічних хімічних сполук – аміаку, кислот і добрив (LVIC-AAF). Однак у цьому довідковому документі представлена корисна інформація про основні типи процесів десульфурації коксового газу.

Нижче (в табл. 1.1) наведені інші довідкові документи BREF, що мають важливе значення для суміжних видів економічної діяльності.

Довідкові документи	Діяльність
BREF для великих спалювальних установок (LCP)	Установки для спалювання з номінальною тепловою потужністю 50 і більше МВт
BREF для підприємств кольорової металургії (FMP)	Технологічні процеси типу прокатки, травлення, нанесення покриттів тощо Безперервне лиття на тонкий сляб/тонку стрічку безперервне лиття листа (близького за формою)
BREF для викидів від зберігання та обігу (EFS)	Зберігання та поводження з матеріалами
BREF для систем промислового охолодження (ICS)	Системи охолодження
Загальні принципи моніторингу (MON)	Моніторинг викидів і споживання
BREF для енергоефективності (ENF)	Загальні питання енергоефективності
Економіка та міжсередовищні наслідки (ECM)	Економіка та міжсередовищні наслідки технологій

Цей довідковий документ BREF включає нові розділи для електростанцій на заводах чорної металургії, які працюють на технологічних газах. Однак отримана інформація, що стосується викидів із цих станцій, виявилася недостатньою для того, щоб можна було зробити висновок щодо НДТМ-AELs (рівнів викидів по НДТМ) для SO₂, NO_x та CO. Ця проблема повинна розглядатись у спеціальному розділі переглянутого BREF для великих спалювальних установок (LCP) [282, ЄК, 2006].

Сфера застосування довідкового документа BREF **не** включає питання, які стосуються тільки безпеки на робочому місці або безпеки продукції, адже ці питання не охоплені Директивою. Вони обговорюються тільки тоді, коли опиняються у сфері застосування Директиви.

1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

1.1 Виробництво сталі в Європі та світі

[92, Люнген, 1995], [131, Stat Stahl, 1997], [250, ЄК, 2006], www.worldsteel.org.

Чавун та сталь відігравали важливу роль у розвитку людської цивілізації протягом століть, і ми можемо знайти їх застосування в сільському господарстві, будівництві, генерації та розподілі енергії, виробництві машин і обладнання, в домашньому господарстві та в медицині.

Разом із вугіллям і бавовною чавун та сталь були основними матеріалами, на яких базувалася промислова революція. Технічний прогрес із початку вісімнадцятого століття і далі дав змогу різко збільшити випуск продукції, наприклад замінивши порівняно дефіцитне деревне вугілля антрацитом (твердим вугіллям) / бурим вугіллям та коксом, а також розробити процес пудлінгування для перетворення гарячого металу на сталь.

Світове виробництво сталі значно зросло з 2000 року і вперше перевищило 1000 млн т. у 2004 році. У 2006 році світове виробництво сталі перевищило 1200 млн т. (див. рис. 1.1). Основною причиною цього стало те, що у 2006 році виробництво сталі в Китаї зросло з 121 до 421 млн т.

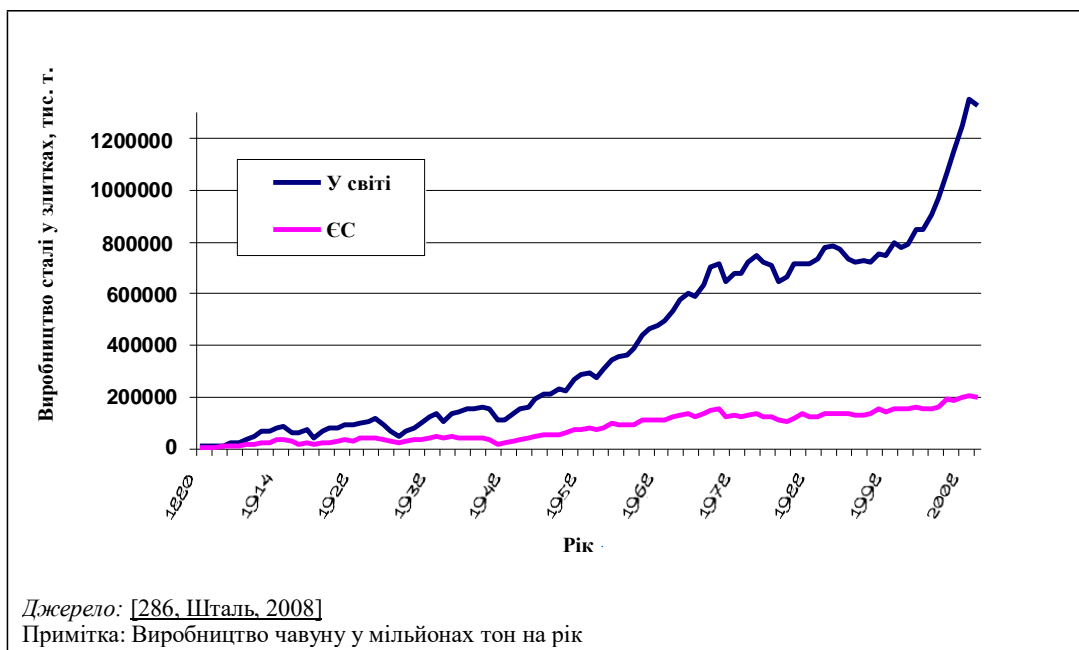


Рис. 1.1. Виробництво сталі у злитках в Європі та в світі з 1870 року

Виробництво сталі у злитках в ЄС зросло на 1,2 % на рік в період з 1985 по 1994 роки (за обсягом). Найшвидше зростання спостерігалось протягом трьох років з 1986 по 1989 рік (3,7 % на рік). Згодом виробництво в країнах ЄС-12 знизилася зі 140 до 132 млн т. у 1992 і 1993 роках, перед підвищенням до 140 млн т. у 1994 році та 143 млн т. у 1995 році. Після вступу Австрії, Фінляндії та Швеції в ЄС виробництво сталі у злитках зросло до 156 млн т. у 1995 році. З 2000 року виробництво сталі у злитках в ЄС стабілізувалося, а в усьому світі продовжувало зростати. У 2006 році виробництво сталі у злитках в ЄС склало 198 млн т., порівняно з 120 млн т. в Росії, 116 млн т. в Японії, 99 млн т. в США та 421 млн т. в Китаї.

З рис 1.1 також видно, що європейська частка в світовому виробництві сталі стійко знижувалася, в результаті знизившись до рівня 21 % в 1970 році.

Після нафтової кризи 1974-75 років зростання виробництва фактично призупинилося і суттєво знизилося в усьому світі аж до середини 1990-х років, що спостерігалось і в Європі зокрема. При виробництві у 198 млн т. у 2008 році частка ЄС у 2008 році склала 15 % від світового виробництва [286, Шталь, 2008].

На рис. 1.2 показано, що виробництво конвертерної сталі залишалось майже стабільним, в той час як виробництво сталі в електродугових печах поступово зростало. Частка виробництва сталі в електродугових печах в загальному виробництві сталі досягла 41,8 % в 2006 році. Проте, прогнозується, що напрям виробництва доменна піч – кисневий конвертер буде залишатися домінуючим у виробництві сталі, принаймні в середньостроковій перспективі.

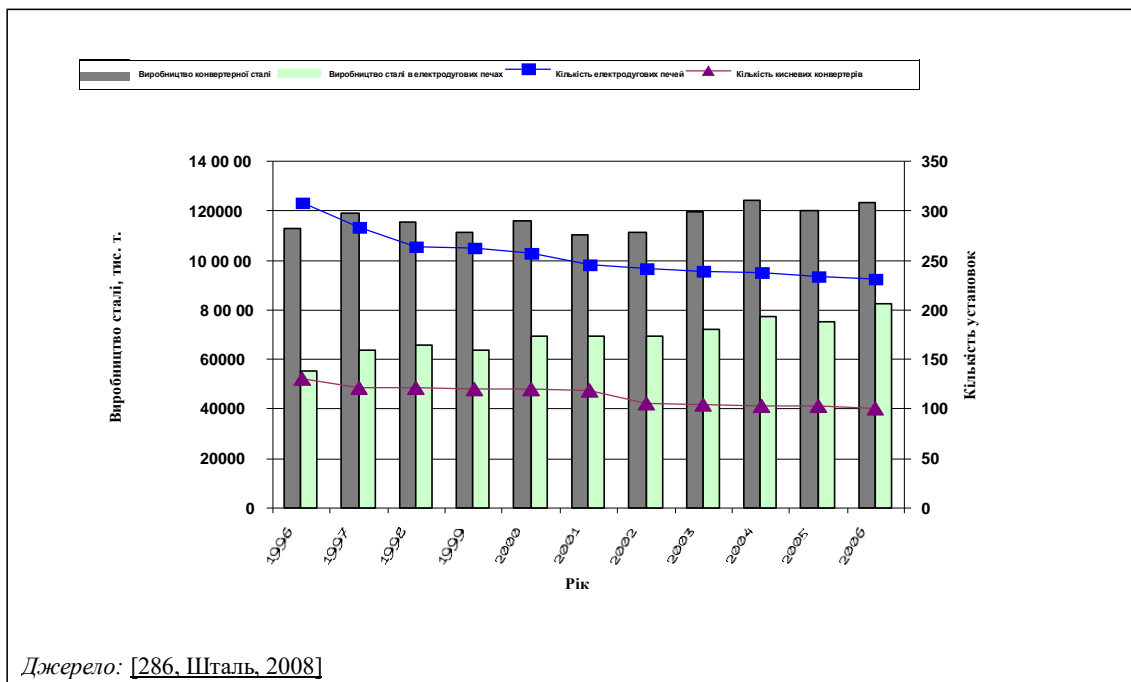


Рис. 1.2. Виробництво сталі в електродугових печах і кисневих конвертерах в ЄС з 1996 по 2006 роки

1.2 Географічний розподіл виробництва чавуну та сталі в ЄС

[200, Європейська Комісія, 2001] [205, Кліарі та ін., 2005] [207, Амелінг та ін., 2004] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [209, ЄК, 2005] [240, УКЕА, 2004] [288, ІА, 2006] [318, Eurofer, 2007] [366, Дорнзайффер та ін., 2007] [403, Польща, 2007]

Розміщення металургійних заводів із повним циклом у країнах ЄС-27 показано на рис. 1.3, з якого чітко видно концентрацію заводів уздовж вугільного пояса Європи. Проте, металургійні заводи з повним циклом є в більшості країн-членів. На рис. 1.3 не включені електродугові печі.



Рис. 1.3. Географічний розподіл заводів із повним циклом у країнах ЄС 3

В табл. 1.1 – 1.6 показано розподіл металургійних об'єктів за потужностями та іншими характеристиками в країнах ЄС-27. Для того, щоб огляд був повним та всеохоплюючим, не включалися країни, в яких немає відповідного обсягу виробництва.

Таблиця 1.1: Кількість установок та обсяг виробництва агломерату і окатишів у країнах ЄС-27

Кількість агломераційних установок та установок для отримання окатишів в ЄС-27						
Країна-член ЄС	Кількість агломераційних установок	Кількість конвеєрів агломашин	Робоча поверхня стрічки (м ²)	Виробництво (тис. т/рік)	Кількість установок для отримання окатишів	Виробництво (тис. т/рік)
Австрія	2	2	342	3 500		
Бельгія	4	5	1405	15 300		
Чеська Республіка (1)	2	9	735	6 500		
Німеччина	8	12	2 282	29 400		
Іспанія	1	2	481	5 400		
Фінляндія	1	3	225	2 700		
Франція (2)	5	6	2 013	23 765		
Угорщина	2	2	100	900		
Італія	2	7	962	11 500		
Нідерланди	1	3	354	4 400	1	4 900 (1)
Польща	2	4	1 161	9 000		
Словаччина (1)	1	4	440	4 100		
Швеція	0				5	22 150 (2)
Сполучене Королівство	3	4	1 328	13 700		
Усього	34	63	11 828	130 165	6	27 050
Примітка: — Дані за 2005 рік — (1) Дані за 2007 рік — (2) Дані за 2008 рік						
Джерело: [140, Eurofer, 2009] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [209, ЄК (ЄС), 2005] [234, Польща, 2007] [240, УКЕА, 2004] [318, Eurofer, 2007]						

Таблиця 1.2: Виробництво коксу в країнах ЄС-27

Коксові печі в ЄС-27	
Країни-члени ЄС-27	Виробництво (тис. т/рік)
Австрія	1 360
Бельгія	2 714
Болгарія	615
Чеська Республіка	3 231
Німеччина	8 250
Іспанія	2 747
Фінляндія	870
Франція	4 290
Угорщина	913
Італія	4 580
Нідерланди	2 160
Польща	9 599
Румунія	1 804
Швеція	1 182
Словаччина	1 749
Сполучене Королівство	4 276
Усього	50 340
Примітка: Дані за 2006 рік. Джерело: [156, Асоціація менеджерів коксових печей, 2008] [286, Шталь, 2008].	

Таблиця 1.3: Кількість доменних печей і виробництво чавуну в різних країнах ЄС-27

Доменні печі в ЄС-27		
ЄС Країна-член ЄС	Кількість доменних печей	Виробництво (тис. т/рік)
Австрія	6	5 547
Бельгія	4	7 516
Болгарія	3	1 147
Чеська Республіка	6	6 185 ⁽¹⁾
Німеччина	18	30 360
Іспанія	2	3 432
Фінляндія	3	3 158
Франція	10	13 013
Угорщина	2	1 336
Італія	6	11 492
Нідерланди	2	5 417
Польща	7	5 333
Румунія	4	3 975
Швеція	3	3 577
Словаччина	3	4 100 ⁽¹⁾
Сполучене Королівство	7	10 696
Усього	86	116 284
Примітка: Дані за 2006 рік. Джерело: [286, Шталь, 2008]; окрім ⁽¹⁾ [372, чеський член ТРГ, 2008].		

Таблиця 1.4: Кількість кисневих конвертерів та виробництво металу в різних країнах-членах ЄС

Кисневі конвертери в ЄС-27		
Країна-член ЄС	Кількість кисневих конвертерів	Виробництво (тис. т/рік)
Австрія	5	6 487
Бельгія	8	8 172
Болгарія	3	1 155
Чеська Республіка	4	6 283
Німеччина	21	32 550
Іспанія	5	3 601
Фінляндія	8	3 454
Франція	7	12 242
Угорщина	2	1 650
Італія	9	11 823
Нідерланди	3	6 223
Польща	6	5 766
Румунія	5	4 374
Швеція	3	3 585
Словаччина	4	4 715
Сполучене Королівство	8	11 203
Усього	101	123 283
Примітка: Дані за 2006 рік. Джерело: [286, Шталь, 2008].		

Таблиця 1.5: Кількість електродугових печей і виробництво сталі в різних країнах ЄС-27

Виробництво сталі в електродугових печах в ЄС-27		
Країна-член ЄС	Кількість EAF	Виробництво (тис. т/рік)
Австрія	3	643
Бельгія	7	3 458
Болгарія	6	696
Чеська Республіка	16	578
Німеччина	42	14 674
10 Греція	7	2 416
Іспанія	28	14 790
Фінляндія	3	1 600
Франція	25	7 610
Угорщина	2	439
Італія	44	19 794
Люксембург	3	2 802
Латвія	–	3
Нідерланди	2	150
Польща	12	4 241
Португалія	2	1 400
Румунія	7	1 889
Швеція	8	1 881
Словенія	3	628
Словаччина	1	378
Сполучене Королівство	10	2 666
Усього	231	82 736
Примітка: Дані за 2006 рік. Джерело: [286, Шталь, 2008].		

Таблиця 1.6: Кількість установок для безперервного лиття і виробництво металу в ЄС-27

Безперервне лиття в ЄС-27	
Країна-член ЄС	Виробництво (тис. т/рік)
Австрія	6 836
Бельгія	11 631
Болгарія	1 227
Чеська Республіка	6 145
Німеччина	45 497
Естонія	0
Греція	2 416
Іспанія	18 278
Фінляндія	5 029
Франція	18 984
Угорщина	2 085
Італія	30 170
Люксембург	2 802
Латвія	548
Нідерланди	6 213
Польща	8 248
Португалія	1 380
Румунія	5 450
Швеція	4 779
Словенія	520
Словаччина	5 081
Сполучене Королівство	13 652
Усього	196 971
Примітка: Дані за 2006 рік. Джерело: [286, Шталь, 2008].	

1990-і роки не відзначилися масовим впровадженням якихось абсолютно нових технологій в ЄС. Радше було вдосконалено класичні методи виробництва на різних стадіях (доменні печі, плавлення сталі тощо), і вони виявилися набагато ефективнішими завдяки вдосконаленню виробничого ланцюга. Ці удосконалення дозволили значно знизити споживання енергії та рівень забруднення, та, водночас, підвищити якість продукції.

1.3 Економічні показники та зайнятість у секторі чорної металургії ЄС

[27, Панорама ЄК, 1997] [28, ECSC, 1951] [200, Єврокомісія, 2001] [250, ЄК 2006] [286, Шталь, 2008] [291, ЄК, 2006] [292, DGENTR 2007] [293, DGENTR 2007]

Глобалізація світової економіки мала великий вплив на чорну металургію та продовжує впливати на дану сферу. Ця галузь зазнає значних структурних трансформаційних змін. Протягом 1990-х і 2000-х років ці зміни характеризувалися розробленням нових концепцій у виробництві сталі (наприклад, міні-електросталеплавильні комплекси, нові концепції електродугових печей, нові технології лиття і технології прямого відновлення або відновлювальної плавки). Умови високої конкуренції на ринках можуть прискорити ці структурні зміни та сприяти консолідації компаній чорної металургії. Це впливає зі щоразу більшої кількості об'єднань, з утворенням спільних підприємств і поглинанням інших. Розвиток безперервного лиття надзвичайно позитивно вплинув на економіку чорної металургії в 1970-і та 1980-і роки.

Чорна металургія є ключовою галуззю економіки і товарної конкурентоспроможності Європи. При виробництві 198 млн т на країни ЄС-27 припадає 15 % світового виробництва сталі в 2008 році.

Річний оборот в секторі чорної металургії ЄС становить приблизно 150 млрд. євро, а кількість працюючих складає 440 тис. чол. [184, Європейський Союз, 2009]. У табл. 1.7 показано зміни у зайнятості в країнах ЄС-15 з 1996 по 2004 роки.

Таблиця 1.7: Зайнятість у секторі чорної металургії ЄС-15 з 1996 по 2004 роки

Частка чорної металургії в загальній зайнятості в ЄС-15 з 1996 по 2004 роки		
Країна-член ЄС	Кількість робітників та службовців у 1996 році	Кількість робітників та службовців у 2004 році
Австрія	12 651	11 000
Бельгія	22 638	17 700
Німеччина	114 305	92 660
Данія	1 170	400
Греція	2 006	2 000
Іспанія	22 955	21 600
Фінляндія	7 210	8 400
Франція	38 106	37 000
Ірландія	375	NA
Італія	36 226	39 150
Люксембург	5 196	4 100
Нідерланди	12 211	10 400
Португалія	2 231	1 100
Швеція	13 648	18 800
Сполучене Королівство	36 527	20 950
Усього	327 455	285 260
Примітка: NA = Немає даних Джерело: [286, Шгаль, 2008].		

1.4 Процес виробництва сталі

[60, Гіль та ін. 1997] [200 , Єврокомісія 2001]

Зараз у світі використовуються чотири способи виробництва сталі: класичне в доменній печі, киснево-конвертерне виробництво, плавлення в електродугових печах та пряме відновлення (див. рис. 1.4).

У 2006 році загалом у виробництві сталі в ЄС-27 переважало класичне/киснево-конвертерне виробництво (приблизно 59,8%) та плавлення в електродугових печах (приблизно 40,2 %) (див. табл. 1.4 та табл. 1.5). Відсоткова частка світового виробництва нерафінованої сталі за допомогою прямого відновлення (DR) у 2006 році склала близько 6,8 % , що відповідає 59,8 млн т гарячобрикетованого заліза (брикетів залізної руди) (ГБЗ чи DRI). З урахуванням запланованих виробничих майданчиків для DRI до 2010 року світове виробництво DRI мало б зрости до 80 млн т. В Європі виробництво DRI було обмежене

704 000 т у 2006 році (580 000 т. в Німеччині та 124 000 т у Швеції), що становило приблизно 1,5 % від світового виробництва. Споживання DRI в EAF, за даними за 2006 рік, в ЄС-27 склало 1,523 млн т.

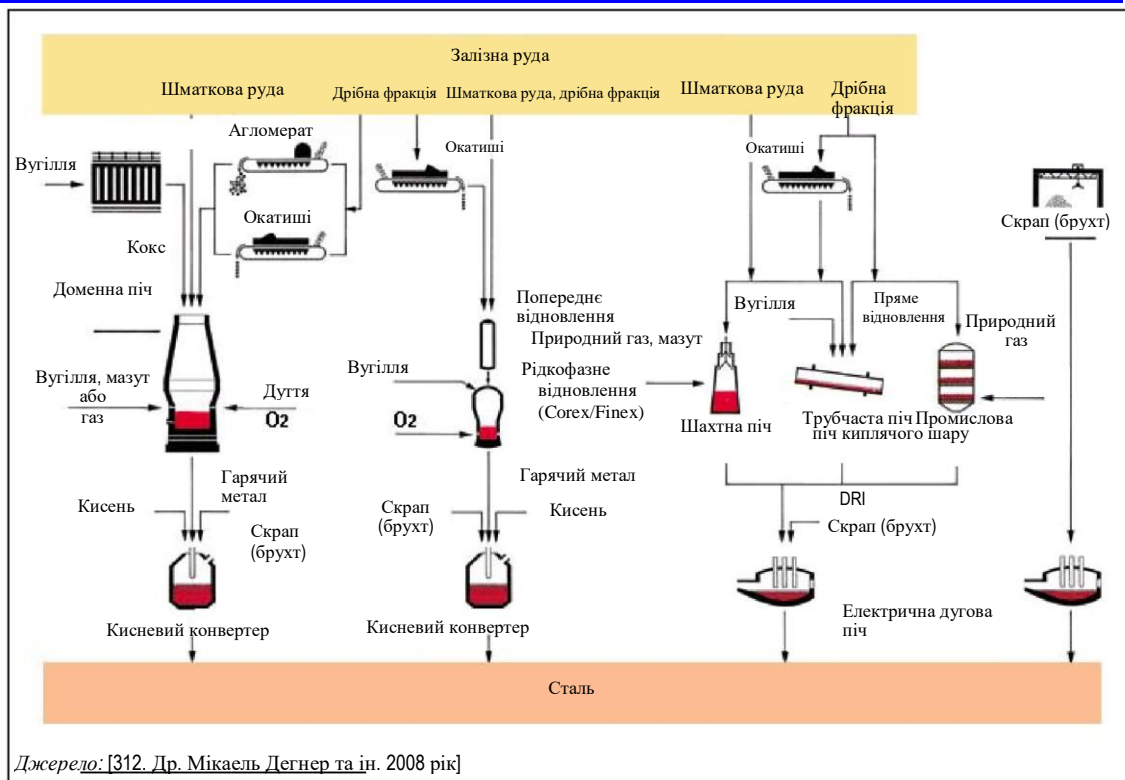


Рис. 1.4. Методи виробництва нерафінованої сталі

Наприкінці 2007 року в цілому в експлуатації знаходилося шість установок для рідкофазного відновлення залізної руди, при загальному виробітку у 7,45 млн т гарячого металу. У країнах ЄС-27 немає установок для рідкофазного відновлення в промисловому масштабі. Тому ці способи тут не описані, але ми будемо згадувати про них в розділі 10: «Альтернативні технології в чорній металургії».

Металургійні заводи повного циклу

Із чотирьох способів плавлення сталі, описаних вище, класична схема – доменна піч/кисневий конвертер – поза всяким сумнівом є найскладнішою і вона характерна для великих промислових комплексів, відомих як металургійні заводи повного циклу, що займають площу кілька кв. км (рис. 1.5). Металургійні заводи повного циклу характеризуються мережами взаємозалежних потоків матеріалів та енергії між різними промисловими установками, велика частина яких наведена в цьому документі (агломераційні установки, установки для отримання окатишів, коксові печі, доменні печі та кисневі конвертери з подальшим литтям). Перед детальним описом цих індивідуальних типів установок буде дано загальне уявлення про згадані взаємозалежності.



Джерело: [200, Єврокомісія, 2001]

Рис. 1.5. Вид згори металургійного заводу з повним циклом поблизу узбережжя

Огляд процесу

Технологічні маршрути металургійного заводу з повним циклом, розглянуті в цьому BREF, наведені на рис. 1.6. На цьому рисунку представлена схема основних потоків сировини та викидів і залишків, пов'язаних із процесом для кожної стадії технологічного маршруту.

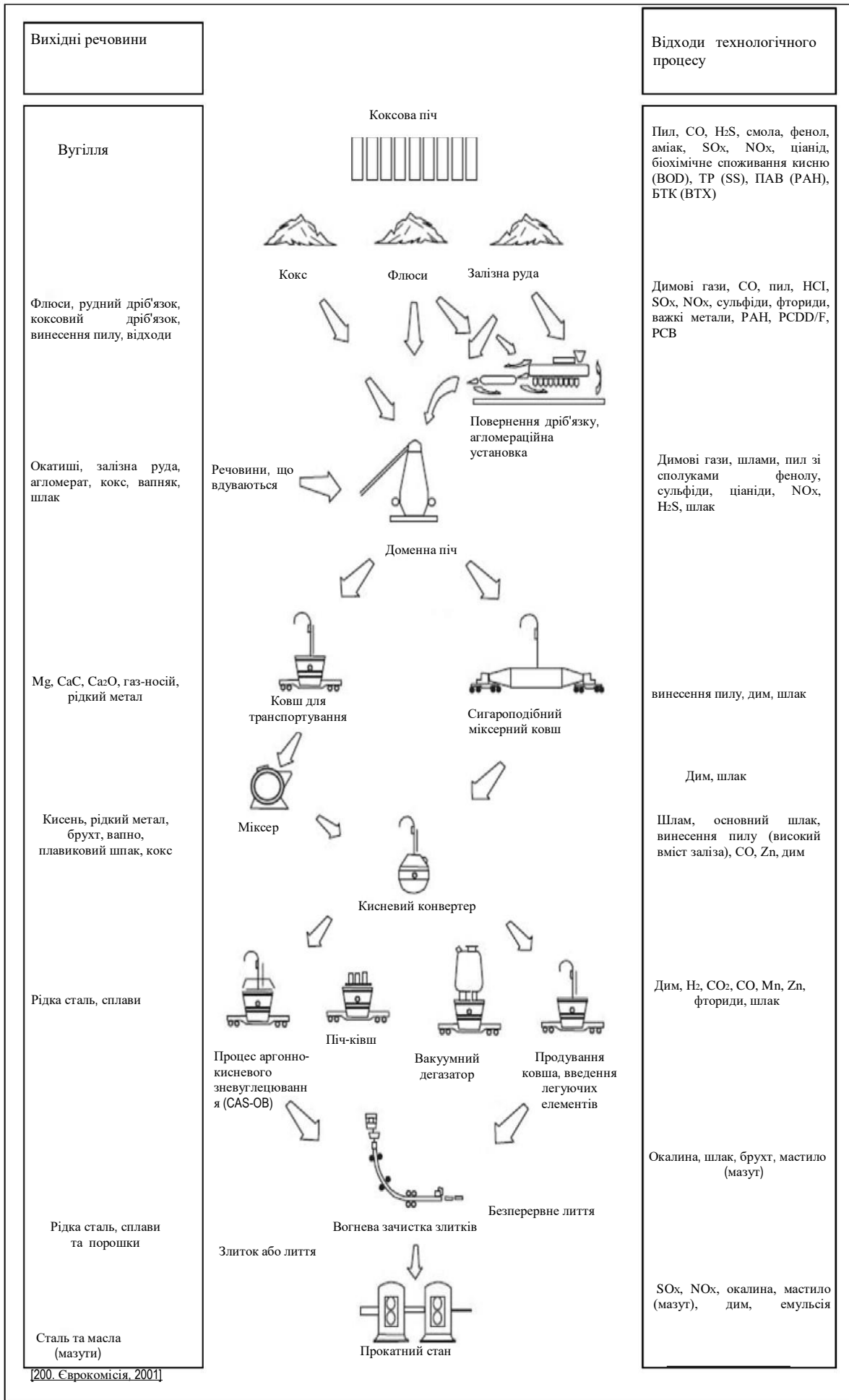
На заводі з повним циклом доменна піч є основною структурною одиницею, в якій відбувається відновлення оксидів залізної руди з отриманням рідкого чавуну, який також називають «рідким металом». Для сучасної доменної печі з високими експлуатаційними характеристиками потрібне фізичне і металургійне підготовлення руди. Для підготовлення залізної руди використовуються установки двох типів: для спікання і для отримання окатишів. Окатиші майже завжди виготовляють із чітко визначеної залізної руди або концентрату. В Європі є тільки один завод із повним циклом, на якому працює установка для отримання окатишів. Агломерат зазвичай виготовляється на заводах із заданих сумішей тонкоподрібнених руд, залишків та добавок.

Основними відновлювальними агентами в доменній печі є кокс і вугільний пил, що утворюють монооксид вуглецю і водень, які відновлюють оксиди заліза. Кокс і вугілля також частково виступають в ролі палива.

Кокс виробляється з вугілля шляхом термічної деструкції вугілля в коксовій печі. Він має кращі фізичні характеристики, ніж вугілля. У багатьох випадках додаткові відновлювальні агенти/палива постачають за допомогою вдування рідкого палива, природного газу і (в деяких випадках) пластиків. Гаряче дуття забезпечує необхідний кисень для утворення монооксиду вуглецю (CO), який слугує основним відновлювальним агентом для оксидів заліза.

Доменна піч завантажується зверху шихтою. Вона почергово складається із шарів коксу і суміші агломерату та/або окатишів, шматкової руди і флюсів. У печі залізна руда все більше і більше відновлюється, а рідкий чавун і шлак збираються в горні печі, звідки вони зливаються.

Шлаки з доменної печі гранулюються, окомкуються або випускаються у шлакову траншею. Гранули або шматки шлаку зазвичай продаються компаніям, що виробляють цемент. Шлаки із траншей можна також використовувати в будівництві доріг.



[200. Єврокомісія, 2001]

Рис. 1.6. Огляд технологічних методів на заводі з повним циклом

Рідкий чавун з доменної печі (рідкий метал) транспортується в кисневий конвертор, в якому вміст вуглецю (приблизно 4 %) знижується менш ніж до 1 %, в результаті чого отримують сталь. Зазвичай застосовується попередня десульфурація рідкого металу в ковші та наступна ковшова металургія, для того щоб отримати сталь необхідної якості. Після випуску з кисневого конвертора рідка сталь розливається або у злитки, або за допомогою безперервного лиття. У деяких випадках застосовується вакуумна дегазація, для того щоб додатково підвищити якість сталі.

Литі вироби, такі як злитки, сляби, заготовки або блями згодом піддаються обробці в прокатних станах і на чистових лініях, для того щоб підготувати їх для ринку.

1.5 Основні екологічні проблеми під час виробництва чавуну та сталі

[200, Єврокомісія, 2001] [240, УКЕА, 2004] [246, ЄК, 2005] [289, ЄК, 2007] [389, Бріггс та ін., 2004]

Чорна металургія є матеріаломісткою та енергоємною галуззю. На рис. 1.7 представлена спрощена схема вхідних і вихідних потоків, що ілюструє і дає цифрові показники для найважливіших потоків разом із кількістю виробленої нерафінованої сталі в ЄС-27 у 2006 році. У цю схему не включені гірничопромислова сировина, вода й газоподібні продукти, окрім палива і тих, що пов'язані з рециклінгом. З рисунка виходить, що майже половина вхідних ресурсів перетворюються на газ, технологічні газ та тверді залишки технологічного процесу.

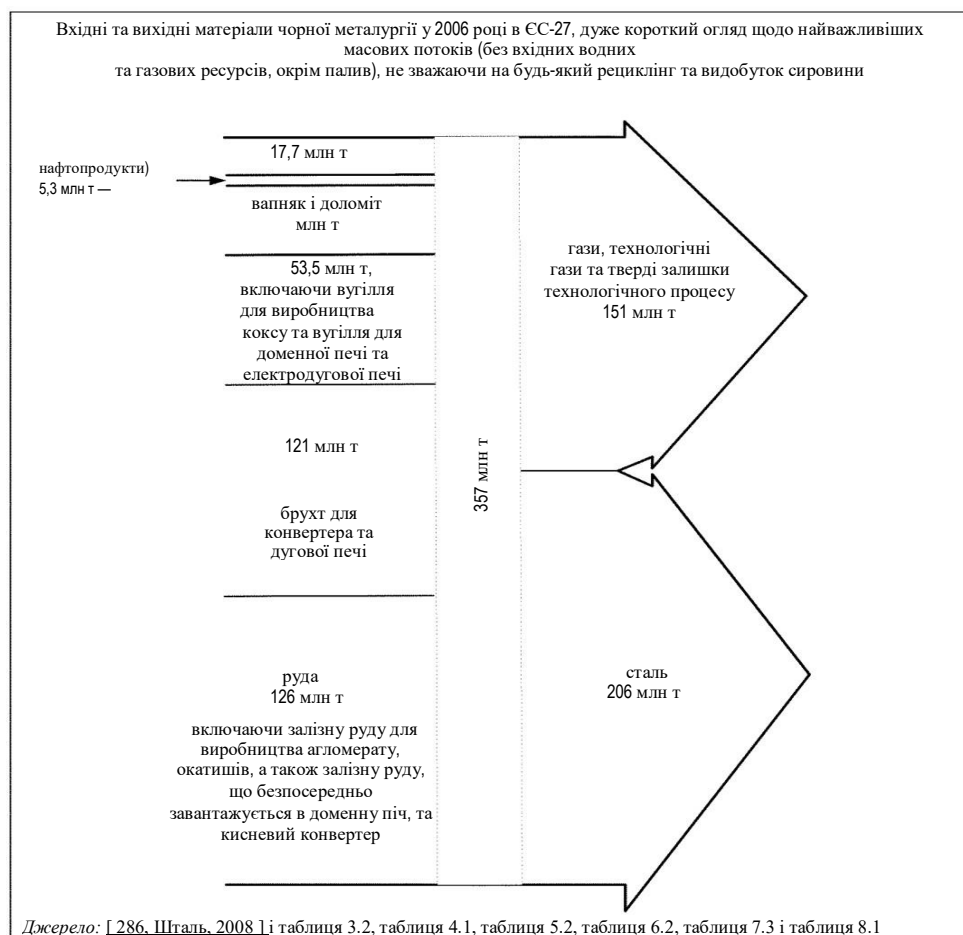


Рис. 1.7. Огляд вхідних і вихідних потоків матеріалів для виробництва чавуну і сталі в ЄС-27 в 2006 році

Дотримуючись двох найважливіших процесів у способах виробництва сталі за допомогою установок для отримання агломерату/окатишів/коксової печі/доменної печі/кисневого конвертера та електродугової печі, то можна визначити основні екологічні проблеми, на які слід звернути увагу.

- Агломераційна установка

Агломерат, як продукт процесу агломерації матеріалів, в яких міститься залізо, являє собою основну частину шихти в доменній печі. На викиди від головної димової труби агломераційних установок припадає до 50 % загальних викидів пилу від металургійного заводу з повним циклом. Іншими важливими забруднюючими речовинами у викидах димових газів від агломераційної стрічки та охолоджувача є важкі метали, SO₂, HCl, HF, PAH, а також стійкі забруднювачі (такі як PCB і PCDD/F). Крім того, певні проблеми пов'язані з утилізацією фізичного тепла та використанням твердих відходів. Вигоди для навколишнього середовища в цьому процесі пов'язані з рециклінгом твердих побічних продуктів із високим вмістом заліза в наступних процесах і з потенційною утилізацією тепла.

- Установки для отримання окатишів

Окомкування є ще одним процесом, що використовується для спікання матеріалів, в яких міститься залізо, коли домінуючою екологічною проблемою є викиди в повітря. Іншими важливими проблемами на установках для отримання окатишів є використання фізичного тепла, очищення стічних вод і внутрішнє використання залишків процесу.

- Коксові заводи

Завод складається з однієї або більше коксових батарей із пристроєм для нагрівання в коксовій печі (без доступу повітря) та установкою для очищення технологічного газу. Найважливішою проблемою є викиди в повітря. Основне джерело викидів в повітря – це гази від процесу коксування. Крім того, багато викидів є неорганізованими викидами від різних джерел, таких як розвантаження, зберігання, транспортування, дроблення і змішування (підготовки) вугілля, витік із кришок і розрівнювачів, дверей коксових печей, підйомних труб і завантажувальних вікон для вугілля та видачі коксу з камер, і, нарешті, гасіння коксу та сортування (дроблення і грохочення), транспортування, обіг і зберігання. Розсіяні/неконтрольовані викиди летких органічних сполук (ЛОС) в повітря можуть відбуватися з коксових батарей, а розсіяні (неконтрольовані/неорганізовані) викиди аміаку і ВТХ (бензолу, толуолу, ксилолу) – від установок для переробки побічних продуктів, які мають потенціал утворення неприємних запахів. Викиди пилу і SO₂ з коксових заводів та інших установок, в яких коксовий газ використовується як паливо, також призводять до проблем. Зокрема, десульфурація коксового газу є пріоритетним засобом мінімізації цих викидів. Ще одна серйозна проблема для коксових заводів – це видалення стічних вод. Оптимізоване управління коксівним газом та його використання в інших процесах металургійних заводів із повним циклом допомагає економити енергію та мінімізувати викиди в повітря.

- Доменні цехи

Значні викиди в усі середовища відбуваються при здійсненні процесу в доменній печі з метою отримання рідкого металу з залізвмісних матеріалів. Внаслідок високого рівня використання відновлювальних агентів (переважно коксу і вугілля) в цьому процесі споживається велика частина енергії, що використовується заводом із повним циклом. Відбуваються викиди в усі середовища, і вони будуть детально описані. Основні екологічні проблеми пов'язані з утворенням пилу, стічними водами від скрубєрів Вентурі для очищення доменного газу, викидами від переробки шлаку, такими як SO₂ і H₂S, які можуть призвести до неприємних запахів, пилом і шламом, і, нарешті, з мінімізацією споживання енергії.

- Цехи кисневих конвертерів

Викиди в повітря від різних джерел, таких як первинне і вторинне знепилювання, попередня обробка рідкого металу і позапічна обробка сталі, а також різні тверді відходи технологічного процесу є основними екологічними проблемами в киснево-конвертерному виробництві. Крім того, з'являються стічні води від мокрого знепилювання (в разі його застосування) і від безперервного розливання. Особливу увагу слід приділяти розсіяним викидам пилу, які відбуваються в разі неефективної роботи системи вловлювання вторинних викидів.

- Електросталеплавильні цехи

Безпосереднє плавлення матеріалів, що містять залізо (переважно брухт/скрап), зазвичай здійснюється в електродугових печах, для яких необхідна значна кількість електроенергії, і супроводжується значними викидами в повітря й утворенням твердих залишків, таких як відходи та побічні продукти (здебільшого пил від фільтрів і шлак). Викиди в повітря від печі складаються з широкого діапазону неорганічних сполук (пил з оксидами заліза і важкими металами) та органічних сполук, таких як стійкі органічні забруднювачі (наприклад, РСВ і PCDD/F).

Споживання енергії

Споживання енергії на заводах чорної металургії є значним. При споживанні енергії утворюється такий парниковий газ як CO₂. У процесах, що здійснюються на таких заводах, є багато джерел викидів CO₂, вони пов'язані з трьома основними факторами: забезпеченням достатньої температури, для того щоб провести хімічні реакції та необхідну фізичну переробку; забезпеченням постачання відновника (переважно СО) в систему, для того щоб відновити оксиди заліза; забезпеченням постачання електроенергії та пари, необхідних для роботи заводів.

Питоме споживання енергії для виробництва сталі в електродугових печах в Європі в середньому становить близько 1,8 ГВт/т рідкої сталі. З урахуванням ефективності використання енергії, що постачається, споживання первинної енергії повинно бути значно вище. Додатково до цього є постачання викопного палива в середній кількості близько 0,5 ГДж/т рідкої сталі (відповідно до табл.8.1).

Зокрема, оскільки CO₂, утворений при споживанні енергії, є парниковим газом (ПГ), економія енергії повинна стати основною метою проведення змін, і зараз це вважається частковим вирішенням проблеми глобального потепління, яка є екологічною проблемою світового масштабу.

Як згадувалось у Зведеному звіті про зміну клімату IPCC (Міжурядової групи зі зміни клімату) 2007 року, немає однозначного вибору для політики щодо пом'якшення зміни клімату. Рішення радше можна знайти в послідовності пом'якшувальних заходів для стабілізації в атмосфері концентрації ПГ [40, IPCC, 2007].

Що стосується чорної металургії, то викиди CO₂ залежать значною мірою від типів і кількостей відновлювальних агентів (наприклад, коксу, вугілля і нафтопродуктів), які використовуються в доменній печі (див. пункти 6.1.3.1 та 6.2.2.4). Через це чорна металургія активно реалізує різні заходи для зниження споживання енергії, взагалі та викидів ПГ, таких як, зокрема, CO₂. Масштабні зусилля були зроблені для зниження споживання відновлювальних агентів ближче до стехіометричної мінімальної потреби (див. пункт 6.3). З 1980 року питоме споживання енергії знизилася з 23 приблизно до 18 ГДж/т рідкої сталі в 2004 році для сучасного заводу з повним циклом [35, д-р. Люнген, Х.Б., 2005].

Споживання енергії постійно знижується в результаті впровадження енергоефективного обладнання у процесах виробництва сталі та підвищення ефективності об'єктів для перетворення енергії, таких як електростанції. Устаткування для економії енергії включає в себе обладнання для утилізації вторинних енергоресурсів.

Розділ 1

Ще одним заходом є оптимізація споживання енергії та витрат завдяки впровадженню загальної системи для регулювання споживання енергії. Всі ці заходи обговорюються в цьому документі.

Деякою мірою пряме відновлення (DR) може бути варіантом для зниження викидів CO₂ (див. пункт 10.1).

Водночас, крім економії енергії та підвищення ефективності її використання були розроблені проекти для зниження викидів діоксиду вуглецю з метою уловлювання та зберігання CO₂, що описано в цьому документі (див. пункти 11.1.1 та 11.1.2).

Інші проблеми

Інші важливі проблеми, що обговорюються в цьому документі, пов'язані із запахом і шумовими викидами, які можуть бути досить значними для деяких процесів.

В цьому документі не розглянуті проблеми, пов'язані з місцевим забрудненням ґрунту та ґрунтових вод.

В табл. 1.8 – 1.10 представлено детальний огляд викидів у різних частинах процесів на підприємствах чорної металургії.

Таблиця 1.8: Перша таблиця, що представляє потенційні маршрути викидів передбачених речовин та інших речовин, які можуть заподіяти шкоду довкіллю

ВИКИДИ	ДЖЕРЕЛА														
	Повоження із сировиною	Агломерційна установка: очищення димових газів	Агломерційна установка: вторинні викиди	Установки для отримання окатишів	Пилоприготування	Повітрянагрівачі доменної печі	Підбункерне приміщення	Первинне очищення доменного газу	Ливарний двір	Десульфуріяція	Кисневий конвертер: продувка (первинні викиди)	Кисневий конвертер: завантаження/випуск (вторинні викиди)	Електродугова піч: завантаження	Електродугова піч: плавлення і рафінування	Електродугова піч: випуск сталі та шлаку
Оксиди сірки		A		A		A			A	A	A		A	A	
Оксиди азоту		A		A		A							A	A	
Діоксид вуглецю		A		A		A		A		A	A	A	A	A	
Монооксид вуглецю		A		A		A		A		A	A		A	A	
Хлорид водню		A		A								A	A		
Фторид водню		A		A										A	
Сульфід водню								A							
Аміак								w							
Оксиди заліза	Aw	A	A	A			A	A	A	A	A	A	A	A	A
Лужні метали		A	A	A				A	A	AL	A	A			
Лужноземельні метали		A	A	A				A	A	AL	A	A			
Частинки оксидів металів	Aw	A	A	A			A	A	A	A	A	A			
Неметалеві частинки	Aw	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A			
Металеве залізо												A			
Неорганічні фториди			A	A				A			A	A			
Ціанід водню								w							
Кадмій та оксид кадмію	W	A		A				A			A	A	A	A	
Цинк, свинець та їх оксиди	w	A		A				A			A	A	A	A	
Інші метали та їх оксиди	Aw		A	A									A	A	A
Сполуки фосфору								wl			Awl				

Сірка									l	A				
Вуглець								A			A			
Інші неорганічні хімікати	A W											A	A	
Масла (мазути) і жири	w													
Шлаки								Ll		Ll			Ll	Ll
Шлами								wLl	Ll	wLl				
Відходи вогнеупорів	Aw													
PCDD/F		A		a							A	A	A	
PAH		A											A	
PCB		A											A	
ЛОС		A		a				A			A		A	
<p>Примітка: — Основні забруднюючі речовини: A = викиди в повітря W = скиди у воду L = скиди на землю</p> <p>— Інші речовини: a = викиди в повітря; w = скиди у воду; l = скиди на землю.</p> <p>— Речовини включають їх сполуки, за винятком того, коли дається окреме посилання на сполуки. Викиди у повітря можуть також супроводжуватися скидами у воду і на землю, залежно від використовуваного способу боротьби з викидами, наприклад за допомогою уловлювання пилу, збору шламів або рідин.</p>														

Таблиця 1.9: Друга таблиця, що представляє потенційні маршрути викидів передбачених речовин та інших речовин, які можуть заподіяти шкоду довкіллю

ДЖЕРЕЛА ВИКИДИ	С													
	Електродугова піч: ремонт футеровки печі та ковша	Легування	Обробка в ковші	Переливання з ковша в ківші і повторне коксування	Дегазація	Зневуглицювання	Електрошлаковий переплав	Вакуумно-індукційна плавка	Індукційна плавка	Ферославні порошки	Безперервне лиття	Розливання в злитки	Вогнева зачистка злитків	Переробка шлаку
Оксиди сірки		A	A					A					A	
Оксиди азоту			A					A						
Діоксид вуглецю			A	A		A		A				A		
Монооксид вуглецю			A	A		A		A						
Хлорид водню														
Фторид водню			A				A							
Сульфід водню													A	
Аміак														
Оксиди заліза	Al	A	A	A		A	l	A		Awl	Al	Awl	wl	Al
Лужні метали													wL	AL
Лужноземельні метали													wL	AL
Частинки оксидів металів										Awl	Al	Awl	wl	Al
Неметалеві частинки													wl	
Металеве залізо	Al								A				wl	
Неорганічні фториди	Al	A												
Ціанід водню	Al	A												
Кадмій та оксид кадмію					Wl	A	l							
Цинк, свинець та їх оксиди					wl	A	l			Awl	Al	Awl		Al
Інші метали та їх оксиди			A	A	wLl	A	Ll		A	Awl		Awl		Al
Сполуки фосфору			A											
Сірка														wl
Вуглець														
Інші неорганічні хімікати	Al	Al	A											
Масла (мазути) і жири										w				
Відходи шлаку	Al		Ll	Al	l	Ll		Ll	Ll		Ll	Ll	Ll	Ll
Шлами												wl		
Відходи вогнеупорів	Al				l	Ll	Ll	Ll	Ll		Ll	Ll	Ll	
PCDD/F														
ЛОС														

Примітка: — Основні забруднюючі речовини: A = викиди в повітря
W = скиди у воду
L = скиди на землю
— Інші речовини: a = викиди в повітря;
w = скиди у воду;
l = скиди на землю.
— Речовини включають їх сполуки, за винятком того, коли дається окреме посилання на сполуки. Викиди у повітря можуть також супроводжуватися скидами у воду і на землю, залежно від використовуваного способу боротьби з викидами, наприклад за допомогою уловлювання пилу, збору шламів або рідин.

Таблиця 1.10: Третя таблиця, що представляє потенційні маршрути викидів передбачених речовин та інших речовин, які можуть заподіяти шкоду довкіллю

С ДЖЕРЕЛА ВИКИДИ D	С											
	Викиди при завантаженні	Витік з кришки	Витік із дверей	Викиди при вивантаженні	Димові гази коксової печі (димова труба коксової багарелі)	Аварійна вентиляція	Аварійне спалювання на печі	Відхідні гази для спалювання аміаку	Скидання після очищення стічних вод	Шлам від очищення стічних вод	Видалення сірки і скрубберного розчину та десульфурація	Отвори відстійника та смості для збергання
Тверді частинки	A	A	A	A	A	A	A	A				
Діоксид сірки				A	A		A	A				
Сульфід водню		A	A	A		A						A
Оксиди азоту				A	A		A	A				
ВТХ		A	A	A		A					A	A
РАН	a	a	A	A		A						a
ЛОС	A	A	A	A	a						A	A
Феноли		A	A	A		A					A	A
Метан	A	A	A	A		A						A
Монооксид вуглецю	A	A	A	A	A	A						
Дим смоли		A	A	A		A	A	A				
Ціанід водню		A	A	A		A						A
Зважені тверді частинки									w			
Аміак	A	A	A	A		A			w			
Ціанід									w			
SCN (тіоціанати)									w			
Метали									W	l	l	
Сірка											l	

Примітка: — Основні забруднюючі речовини: A = викиди в повітря
W = скиди у воду
L = скиди на землю
— Інші речовини:
a = викиди в повітря;
w = скиди у воду;
l = скиди на землю.

— Речовини включають їх сполуки, за винятком того, коли дасться окреме посилання на сполуки. Викиди у повітря можуть також супроводжуватися скидами у воду і на землю, залежно від використовуваного способу боротьби з викидами, наприклад за допомогою уловлювання пилу, збору шламів або рідин.

Джерело: [240, УКЕА, 2004] Доповнення: [110, Брухон, 2008] [318, Eurofer 2007]

Таблиця 13.4 в пункті 13.5 Додатку V являє собою приклад зразка для зведення відповідних даних щодо навколишнього середовища у чорній металургії.

2 ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ

В огляді технологічних методів на рис. 1.6 показані різні виробничі агрегати металургійних заводів із повним циклом. Індивідуальні агрегати з'єднані як матеріальними потоками, так і внутрішніми потоками залишків (прокатна окалина, пил з фільтрів, шлами від мокрого газоочищення доменного газу або конвертерного газу тощо), води (звичайне очищення різних потоків стічних вод, послідовне використання охолоджуючої води тощо) та енергії (коксівий, доменний, конвертерний газ, пар від газових утилізаційних безкомпресорних турбін або процесу в кисневому конвертері тощо). Така взаємозалежність мінімізує викиди й оптимізує продуктивність, що сприяє зниженню витрат.

Проблеми, пов'язані з енергією, розглянуті в кожному розділі, присвяченому певному процесу (розділи 3 – 8). Однак цей розділ пояснює наявну взаємозалежність між різними процесами на металургійному заводі з повним циклом.

2.1 Регулювання споживання енергії в чорній металургії

[241, Польща 2007] [277, Вісенбергер 2007] [281, Eurofer 2007] [375, IISI 1998]

Проблеми, пов'язані з енергією, розглянуті в кожному розділі, присвяченому певному процесу (розділи 3 – 8). Однак згаданий розділ пояснює наявну взаємозалежність між різними процесами на металургійному заводі з повним циклом.

2.1.1 Енергопотоки та використання технологічних газів на металургійному заводі з повним циклом

Енергетична взаємозалежність на металургійному заводі з повним циклом може бути складною. Як приклад, на рис. 2.1 показані вхідні та вихідні потоки різних типів енергії та відновлювальних агентів, а також потік внутрішньої енергії заводу з повним циклом.

У потоці матеріалів, що надходять, домінують вугілля і мазут. Ці матеріали використовуються здебільшого для виробництва коксу на коксовому заводі та як відновлювальні агенти в доменній печі. Звичайною практикою є використання альтернативних відновлювальних агентів у доменній печі, таких як вугілля, кам'яновугільна смола або мазут, які вдуваються в доменну піч на рівні повітряних фурм. Для цих цілей застосовуються також масла, жири, різні гази (наприклад, коксовий газ) та інші вуглеводні, такі як відходи пластмас (див. пункт 6.3.12).

Якість (теплотворна здатність і ступінь чистоти) і обсяги потоків різних газів значно різняться, і ці фактори визначають ступінь ефективності використання палив. Для того щоб оптимізувати енергоефективність, необхідно, щоб кожен паливний газ споживався на найбільш відповідній установці.

Основним завданням регулювання споживання енергії в чорній металургії є ефективний розподіл і використання технологічних газів та покупних палив. Належний план розміщення устаткування на заводі може сприяти виконанню цього завдання.

Коксовий газ (COG), доменний газ (газ BF) і конвертерний газ (газ BOF) створюють основу енергетичної системи заводу з повним циклом. Велика частина потреби в енергії забезпечується завдяки цим газам; решта задовольняється за допомогою покупної енергії, зазвичай електроенергії та природного газу. Ці аспекти ілюструються на рис. 2.1 та рис. 2.2.

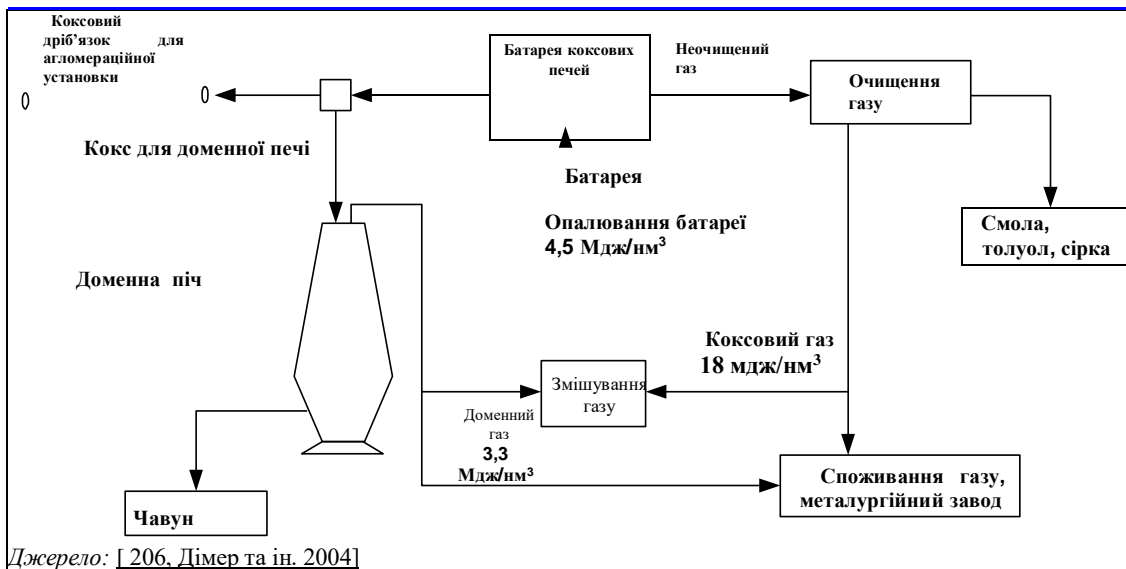


Рис. 2.1. Технологічна схема типового використання газу при комплексному виробництві агломерату, коксу та рідкого металу

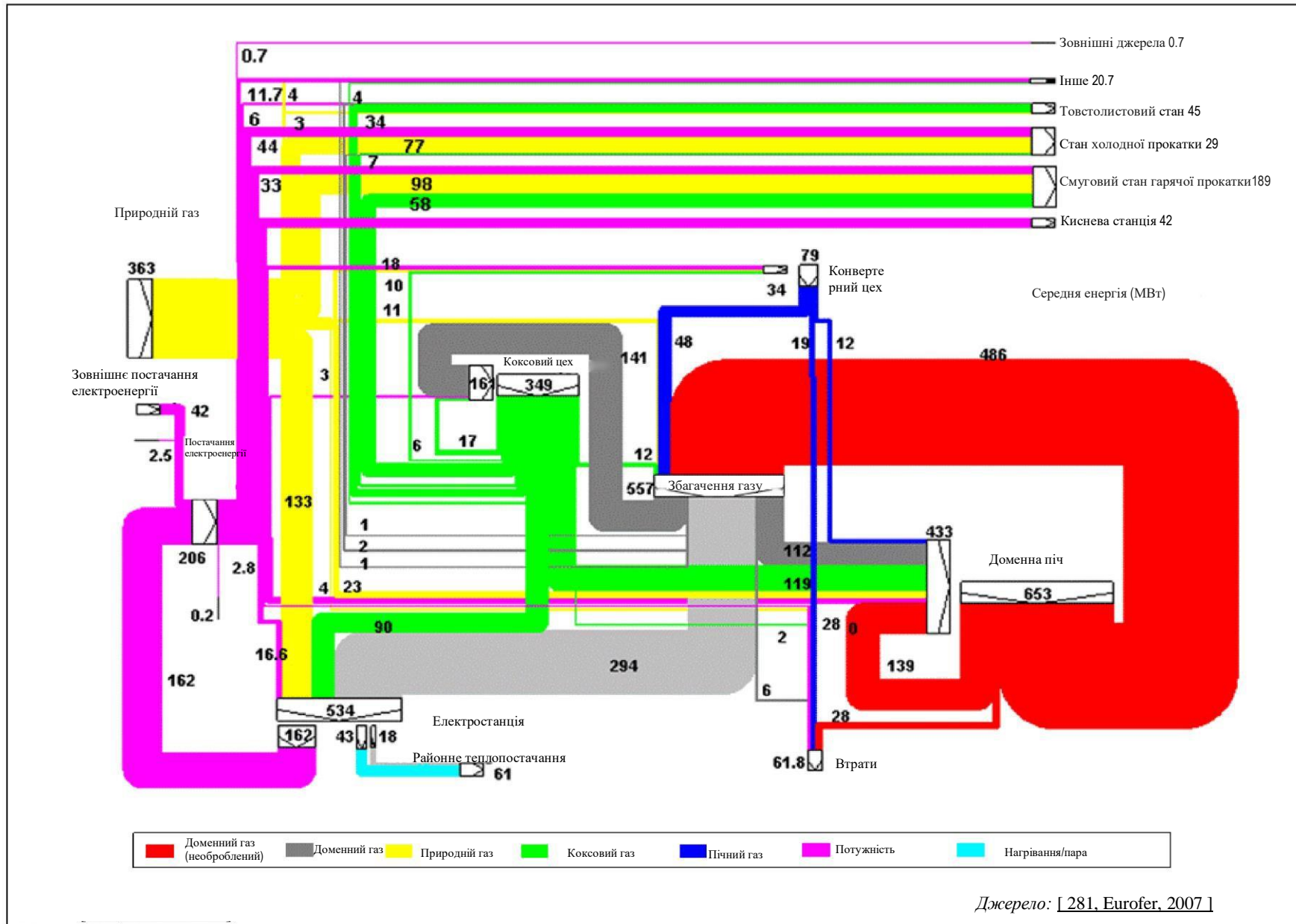


Рис. 2.2. Приклад використання коксового газу на заводі з повним циклом

Палива на заводі з повним циклом

Коксовий газ (COG)

Коксовий газ, що утворюється при науглецюванні (коксуванні), зазвичай очищується перед використанням як газове паливо. Очищення включає в себе видалення нафталіну, смоли, легких масел, сполук, які містять сірку, і видалення або дисоціацію аміаку (для отримання водню). Як показано на рис. 2.3, на заводі з повним циклом є кілька варіантів для використання коксового газу. Так як він має найвищу теплотворну здатність з усіх технологічних газів, він зазвичай застосовується для підвищення теплотворної здатності інших технологічних газів для використання у повітрянагрівачах доменних печей і в нагрівальних печах смугових станів гарячої прокатки, а також в інших високотемпературних процесах або в коксових печах. Надлишок коксового газу може використовуватися в доменній печі як альтернативний відновлювальний агент, а також на електростанціях. Приклади використання COG на заводі з повним циклом показані на рис. 2.3.

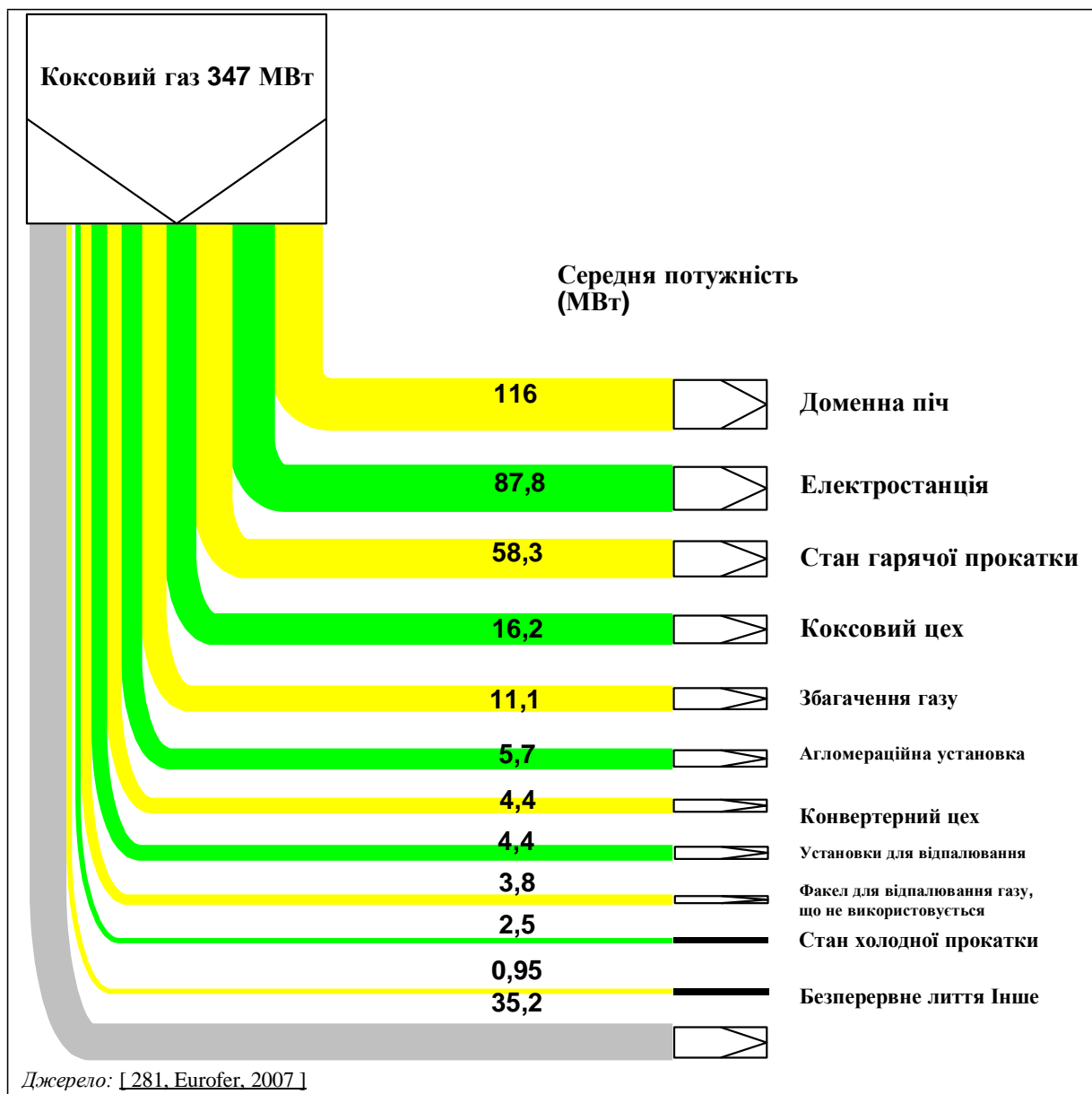


Рис. 2.3. Приклад потоків доменного і конвертерного газу на заводі з повним циклом

Доменний і конвертерний газ (газ BF та газ BOF)

Доменний газ є газом з мінімальною теплотворною здатністю і температурою факела. Внаслідок цього його найбільш доцільно використовувати для низькотемпературних процесів, таких як власне доменна піч (повітрянагрівачі) і батареї коксових печей (коксування). Повітрянагрівачі доменної печі можна нагрівати виключно за допомогою доменного газу. Доменний газ, що залишається, можна подавати на електростанції для виробництва електроенергії та технологічної пари. Конвертерний газ може знайти застосування для збагачення (підвищення теплотворної здатності) доменного газу. Приклад BF та потоку газу BOF на заводі з повним циклом наведено на рис. 2.4.

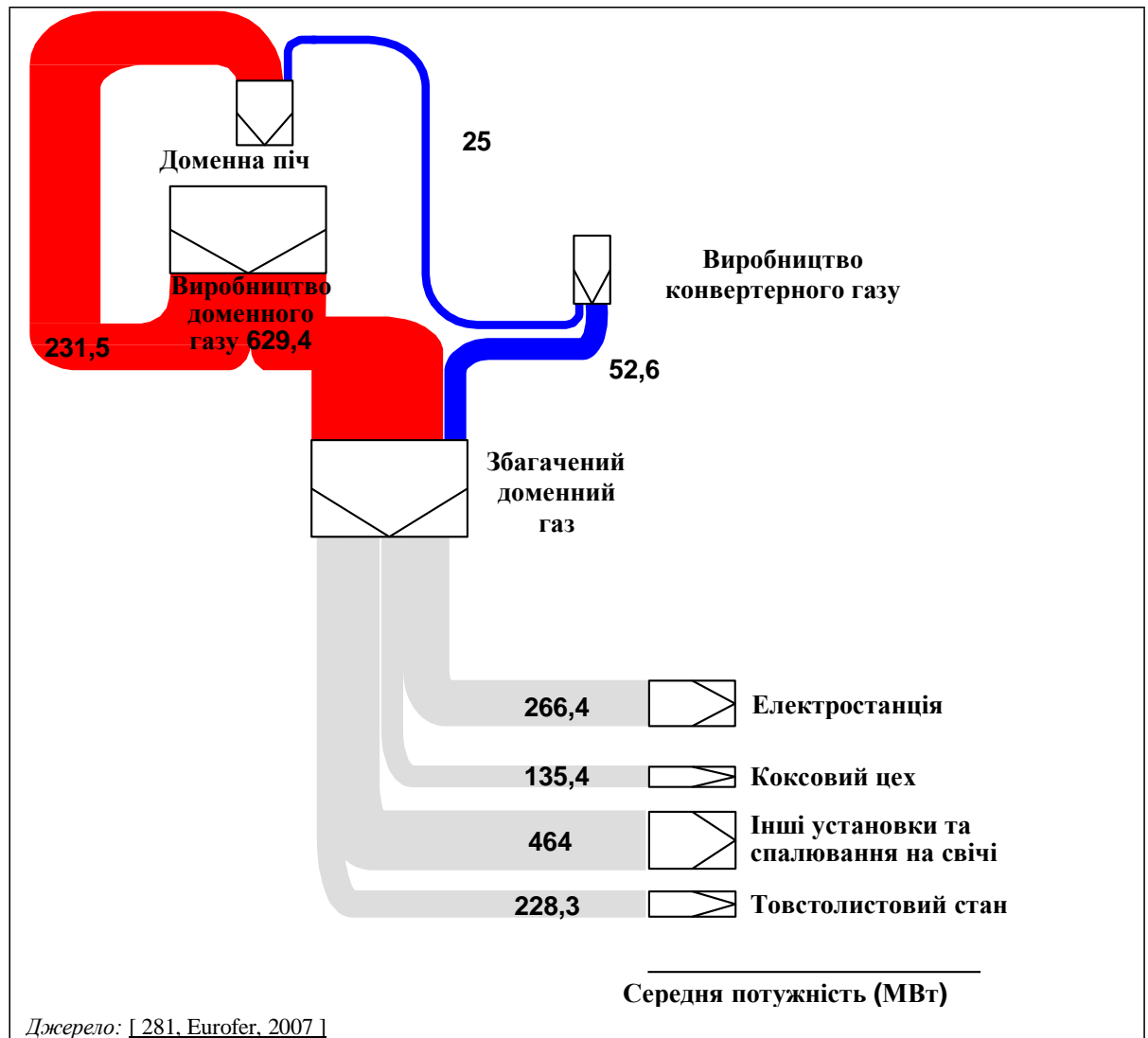


Рис. 2.4. Приклад BF та потоку газу BOF на заводі з повним циклом

Газ, що утворюється в процесі киснево-конвертерного плавлення, складається, здебільшого, з монооксиду вуглецю. Газ очищується або промивається на спеціальному обладнанні. Після очищення він направляється на установку для утилізації конвертерного газу. Установка складається з холодильної станції, урівнюючого бака і газоперекачувальної станції. Після змішування конвертерного газу з доменним газом суміш спалюється в нагрівальних печах прокатного стану або на електростанції з комбінованим виробництвом теплової та електричної енергії (CHP).

2.1.2 Управління потоками пари і тепла на металургійному заводі з повним циклом

На металургійному заводі з повним циклом пара, з одного боку, необхідна для нагріву. А з іншого боку пара також необхідна для деяких процесів. Найбільш важливими споживачами пари є доменна піч, коксовий завод (парова турбіна як привід ексгаустера коксового газу, наприклад) та обладнання для вакуумної обробки на сталеплавильному заводі. Процеси очищення на установках для гальванізації та випалу, що не охоплені в цьому документі, а також попередня обробка виробів на установках для травлення (щавлення) також споживають пару.

У відповідних випадках та за технічної здійсненності має бути можливість отримання більшої кількості пари в зв'язку з утилізацією тепла. Є багато джерел, такі як очищення газу на коксовій печі (наприклад, виробництво сірчаної кислоти на коксохімічному заводі) та системи пригніченого спалювання в поєднанні з котлами-утилізаторами в конвертерному цеху. Інші види виробничої діяльності, такі як гаряча прокатка (наприклад, випарне охолодження глісажних труб в печах з крокуючими балками, котли-утилізатори в штовхальних печах) і робота нагрівальних печей (наприклад, лінія безперервного випалу, безперервної гальванізації) не обговорюються в цьому документі, але вони також можуть використовуватися для отримання пари. В ідеалі, тепло має утилізуватись у вигляді пари при якнайвищій температурі та якнайвищому можливому тиску. Кількість утилізованого вторинного тепла здебільшого залежить від безперервної потреби в парі. У деяких випадках постачання вторинного тепла в мережі районного тепlopостачання може чинити позитивний вплив на кількість утилізованого вторинного тепла.

Для забезпечення необхідного постачання пари в періоди, коли установка не обслуговується, необхідно мати допоміжну систему для його виробництва. Для виконання цього завдання і, водночас, для контролю тиску в паровій системі може використовуватись електростанція.

Якщо передбачається опалення службових приміщень і займаної площі на заводі за допомогою парової системи, то можна відмовитися від необхідності в окремій системі опалення. Приклад виробництва пари і використання промислового тепла, що скидається, представлений на рис. 2.5.

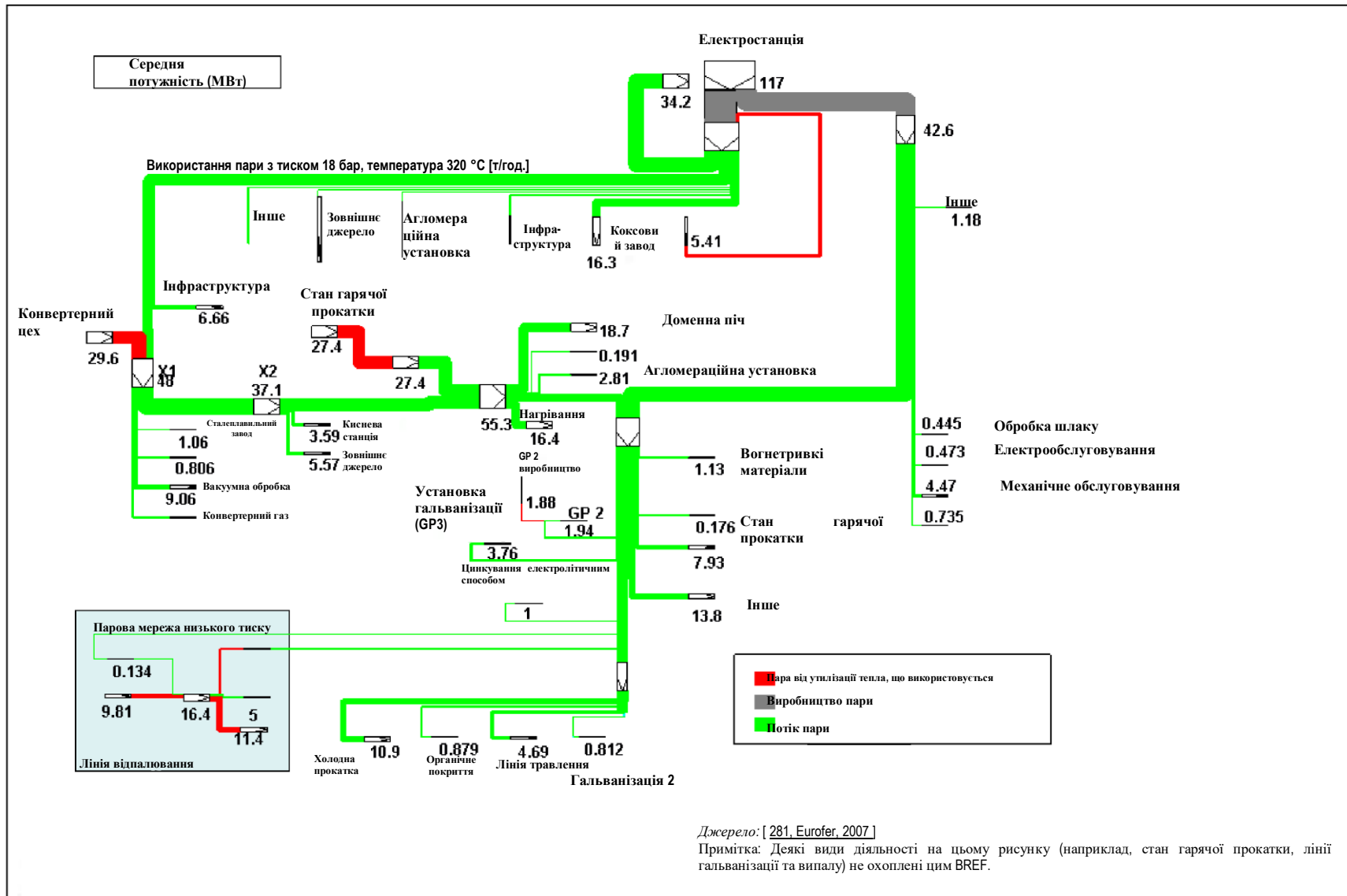


Рис. 2.5. Приклад виробництва пари і використання промислового тепла, що скидається на заводі з повним циклом

2.1.3 Енергопотоки в електродуговій печі (EAF)

У сталеплавильних цехах з електродуговими печами утилізація тепла може використовуватись у спосіб, подібний до систем охолодження. Залежно від придатності наявних систем і потреби, ця енергія може використовуватися або для цілей внутрішнього, або зовнішнього місцевого опалення. Більше інформації можна знайти в BREF для систем промислового охолодження (ICS) [41, Європейська Комісія, 2001].

2.2 Електростанції на заводах чорної металургії

Необхідно дати посилання на BREF для великих спалювальних установок (LCP) [282, ЄК, 2006]. У цьому BREF міститься багато інформації, яка стосується технологій, що використовуються, та заходів зниження забруднень для великих спалювальних установок при використанні комерційних палив, таких як природний газ.

Електростанції (на рис. 2.6 представлена типова електростанція на металургійному заводі з повним циклом) виконують важливу роль на заводах із повним циклом, так як вони споживають надлишкові технологічні гази і забезпечують постачання необхідної пари та електроенергії для всіх ключових процесів. Ці види палива (доменний, коксовий і конвертерний газ), звичайно ж, використовуються й у інших сферах діяльності заводу, але на більшості заводів із повним циклом на електростанції додатково використовуються також покупні види палива (мазут і природний газ, наприклад).

Електростанція може працювати як на низькокалорійних, так і на висококалорійних газах. Залежно від енергетичної ситуації на заводі електростанція може виробляти електричну енергію, пару і (або) тепло для системи районного тепlopостачання. Коли є доцільність і практична можливість, електроенергія може вироблятися на газовій утилізаційній безкомпресорній турбіні, що використовує високий тиск колошникового газу (див. пункт 6.3.13).



Джерело: [281, Eurofer, 2007]

Рис. 2.6. Вид електростанції на заводі з повним циклом

2.2.1.1 Процеси і технології, що застосовуються

У рамках визначених обмежень ефективне використання технологічних газів від виробництва чавуну та сталі на заводах із повним циклом зазвичай реалізується за допомогою котлів на газоподібному паливі або газових турбін (парогазова турбіна).

Котел, що працює на газі

На рис. 2.7 представлена типова схема розміщення котла/генератора з паровою турбіною на металургійному заводі.

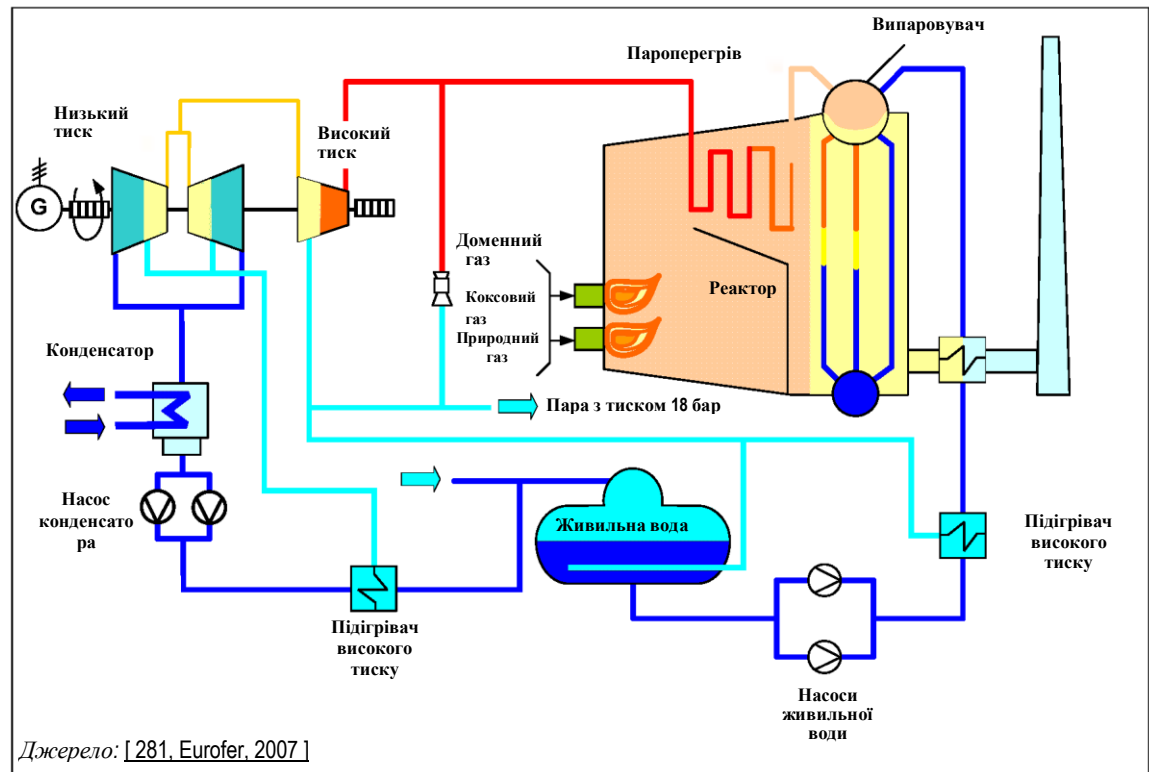


Рис. 2.7. Схема розміщення котла/генератора (40 МВт)

Ця порівняно проста схема допомагає досягти високих результатів, і вона призначена для використання технологічних газів з низькою теплотворною здатністю (CV) (переважно доменного газу). Для одержання аналогічної теплової потужності котла повинен використовуватися більший обсяг газу з низькою CV порівняно, наприклад, із природним газом, а, отже, вище буде і обсяг відхідних газів. Використання коксового газу додатково призводить до вищої температури відхідних газів. Ефективність виробництва енергії при такому поєднанні на 15-20 % нижче порівняно з комерційною електростанцією. У табл. 2.1 та 2.2 наведені приклади ефективності виробництва при використанні газу з низькою CV.

Таблиця 2.1: ККД котлів із газовою топкою під час використання газу з низькою теплотворною здатністю

Тип установки	Електричний ККД, (%)		Використання палива, (%)
	Наявна установка	Нова установка	Нова і наявна установки
Котел, що працює на газі	24 – 41	34 – 44 ⁽¹⁾ 34 – 42 ⁽²⁾	54 – 56 ⁽²⁾

(1) Вищі значення електричного ККД спостерігались у випадку котлів, що працюють переважно на природному газі, а також при виробництві виключно електроенергії.

(2) При додатковому виробництві теплової енергії (40 МВт) верхнє значення для електричного ККД знижується до 42 %. У цьому випадку використання палива становить 54-56 %.

Джерело: [281, Eurofer, 2007].

Велика частина електростанцій, що використовують технологічні гази, працюють у режимі комбінованого виробництва теплової та електричної енергії (СНР), який має також назву «когенерації». Це означає, що тепловий двигун або електростанція одночасно генерують як електричну, так і теплову енергію. Загальна ефективність споживання палива може бути оптимізована за допомогою генерації електроенергії та відмежування теплової енергії для промислових процесів і/або районного теплопостачання. Так як на більшості заводів із повним циклом є надлишок теплової енергії, то часто відсутній внутрішній попит. Якщо немає приватних або комерційних споживачів для використання теплової енергії, що відводиться, електростанції працюють для спалювання надлишку газів із метою максимального виробництва електричної енергії. На рис. 2.8 наведено приклад великого котла/генератора з перегрівом та відмежуванням теплової енергії для районного теплопостачання.

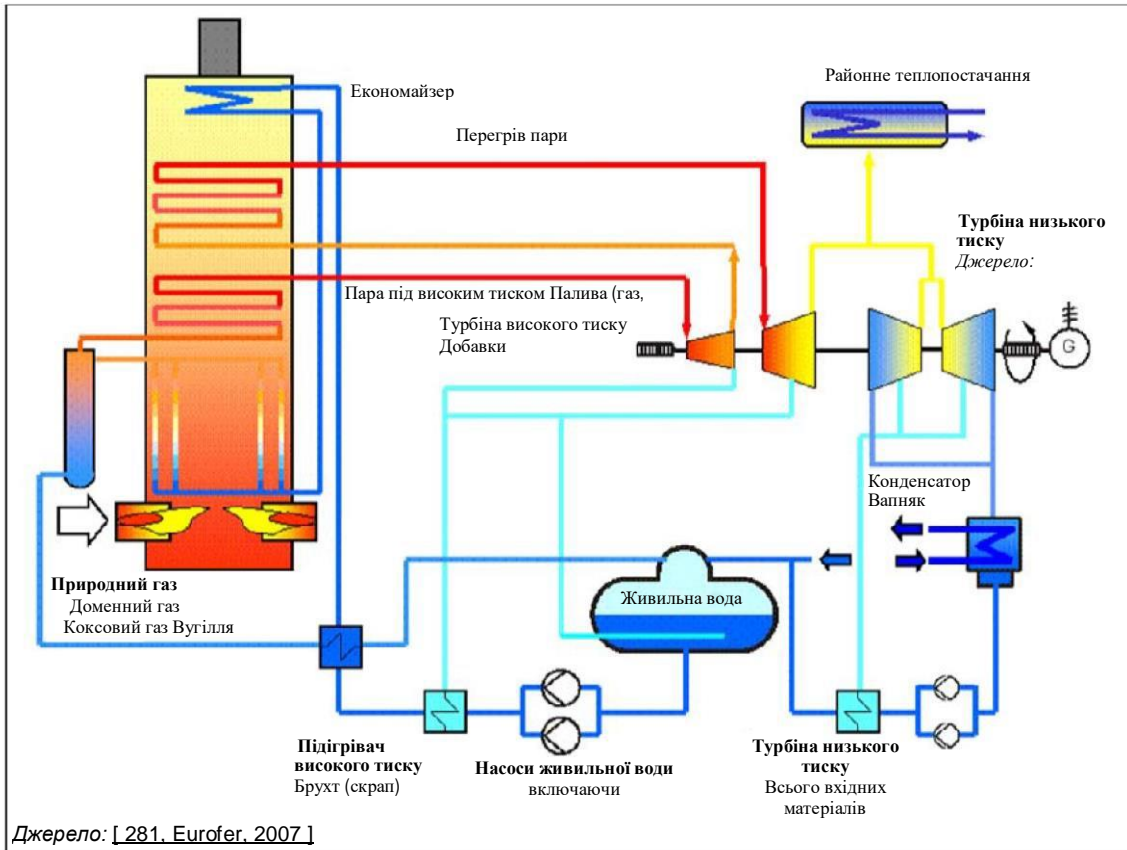


Рис. 2.8. Приклад розміщення котла/генератора з перегрівом пари (85 МВт)

Газові турбіни

Газові турбіни на технологічних газах зазвичай не використовуються в Європі, оскільки у цих газів низька теплотворна здатність. Крім того, є різні проблеми з очищенням і експлуатацією внаслідок використання технологічних газів.

Більше інформації щодо цієї проблеми є в BREF для великих спалювальних установок (LCP) [282, ЄК, 2006].

Технологічні гази зазвичай не застосовуються для одиночних газових турбін. Для них серед палив надається перевага природному газу. З метою підвищення ефективності такі турбіни працюють із котлом-утилізатором і додатковим опаленням на технологічних газах. Тепло використовується для виробництва пари заради генерації додаткової енергії за допомогою парової турбіни. Така схема називається парогазовою електростанцією (CCPP) або газовою турбіною в парогазовому циклі (CCGT). Вони можуть працювати в різноманітних режимах для генерації тільки електроенергії та в режимі СНР (вироблення теплової та електричної енергії). На установці CCPP або CCGT генерується електроенергія, і цей останній крок підвищує ККД генерації електроенергії.

Таблиця 2.2: ККД газової турбіни комбінованого циклу при використанні газу з низькою теплотворною здатністю в парогозовому циклі (CCGT)

Тип установки	Електричний ККД, (%)		Використання палива, (%)
	Наявна установка	Нова установка	Нова і наявна установки
CCGT			
Комбінований цикл тільки для електроенергії	Дані не надано	Дані не надано	Дані не надано
Комбінований цикл в режимі CHP	46 ⁽¹⁾	Дані не надано	45 – 55 60 ⁽²⁾

(1) Якщо електроенергія виробляється в максимальному діапазоні.
(2) Якщо пара виробляється в максимальному діапазоні.
Джерело: [281, Eurofer, 2007].

На рис. 2.9 показана газова турбіна з котлом-утилізатором і додатковим спалюванням, яка працює в режимі CHP в комбінованому циклі. При такій конфігурації може бути досягнутий електричний ККД рівний 46 %

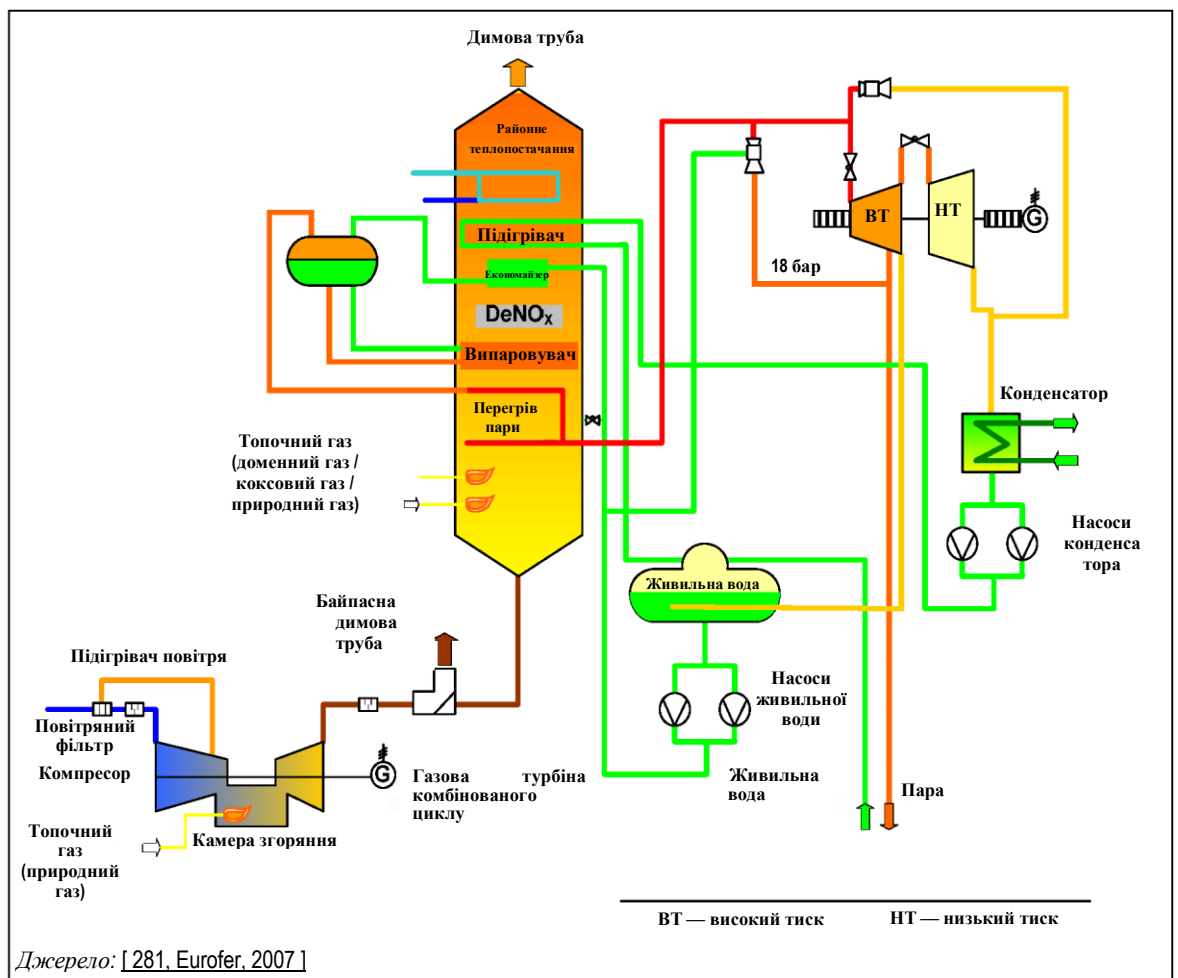


Рис. 2.9. Приклад газової турбіни (38 МВт) і парової турбіни (МВт) в комбінованому циклі виробництва теплової та електричної енергії

2.2.1.2 Поточний рівень викидів і споживання

Загальна ефективність електростанції на металургійному заводі з повним циклом нижче, порівняно з комерційною електростанцією, а характеристики викидів, наприклад щодо SO_x, NO_x і твердих частинок суттєво відрізняються. Робота електростанції на заводі з повним циклом, яка опалюється доменним/конвертерним і (або) коксовим газом, залежить від продуктивності всього заводу. При порівнянні з великими паливоспалювальними установками, які оптимізовані щодо енергії, що виробляється, слід розглянути зміни в кількостях і складі палива, що надходить.

2.2.1.2.1 Викиди в повітря

В табл. 2.3 представлені рівні викидів більш ніж 20 електростанцій, що працюють на європейських металургійних заводах із повним циклом.

Таблиця 2.3: Значення викидів, що досягаються для котлів із газовою топкою і турбін під час використання технологічних газів із металургійних заводів

мг/Нм ³	Середньорічні значення,			
	NO _x	SO ₂	CO	Пил
Середнє	87,9	97,7	7,7	6,4
Максимум	190	305	33	31
Мінімум	14	1,1	0,8	0,8
<i>Джерело: [220, Eurofer, 2008].</i>				

2.2.1.2.1.1 Зниження викидів пилу

Топкові гази, такі як доменний та конвертерний газ, зазвичай піддаються знепилюванню перед їх застосуванням. Коксовий газ очищується в цеху уловлювання хімічних продуктів коксування, і вміст пилу в ньому також знижується. Знижується концентрація попередників пилу, таких як сірка. Залишковий вміст пилу в газах після спалювання порівняно низький. Без додаткових технологій очищення досягаються концентрації пилу в 0,8 – 31 мг/нм³ при вмісті 3 % O₂ для котлів-утилізаторів і 15 % O₂ для турбін. Щорічне середнє значення становить 6,4 мг/нм³ (див. табл. 2.3).

2.2.1.2.1.2 Зниження викидів SO₂

Зазвичай в коксовому газі міститься значна кількість сірки, переважно у вигляді H₂S. Із цієї причини коксовий газ може бути піддано десульфурації перед його використанням у ролі палива. При мокрій окислювальній десульфурації залишковий вміст сірки може бути дуже ефективно знижено. Після спалювання додаткове очищення відхідних газів не проводиться.

Порівняно зі спалюванням природного газу спостерігаються більші значення викидів SO₂. Значення викидів австрійської електростанції, що працює на технологічному газі, перебували в діапазоні 66-84 (піврічне середнє), 120-140 (півгодинні середні, 93 перцентиль) або 120-160 мг/нм³ (півгодинне середнє, 97 перцентиль). Всі дані справедливі при вмісті 3 % O₂ для котлів і 15 % O₂ для турбін. Значення враховують всі умови експлуатації, зокрема пуск та зупинку [77, австрійський член ТРГ, 2008].

Для понад 20 електростанцій/котлів, що працюють на європейських металургійних заводах із повним циклом, середньорічні значення викидів варіюються від 1 до приблизно 300 мг/Нм³ (див. табл. 2.3).

В табл. 2.4 наведені деякі значення викидів SO₂ у газах п'яти австрійських установок, що опалюються газом.

Таблиця 2.4: Середньорічне значення викидів SO₂ для п'яти установок в Австрії, що працюють на технологічних газах

Система	SO ₂ (мг/Нм ³)		
	2005 рік	2006 рік	2007 рік
Генеруючий блок 3 ⁽¹⁾	81	89	103
Генеруючий блок 4 ⁽¹⁾	91	112	114
Генеруючий блок 5 ⁽¹⁾	89	95	98
Генеруючий блок 6 ⁽¹⁾	92	94	78
Струмопідвідна шина ⁽¹⁾	89	77	85
Газова і парова турбіна в парогазовому циклі ⁽²⁾	13	10	21
⁽¹⁾ При вмісті O ₂ 3 %.			
⁽²⁾ При вмісті O ₂ 15 %.			
Примітка: Середньорічні значення.			
Джерело: [32, Компанія "Voestalpine", м. Лінц, 2008].			

2.2.1.2.1.3 Зниження викидів монооксиду вуглецю (CO)

На електростанціях CO згоряє майже повністю і можна досягти дуже низьких значень викидів у газах без будь-яких додаткових заходів (див. табл. 2.3).

2.2.1.2.1.4 Зниження викидів NO_x

Значення викидів можуть бути такими

Значення показника викидів NO_x значною мірою залежить від ефективності станції, вмісту азоту в паливі та відповідного вмісту кисню в газах. У табл. 2.5 наведено типовий склад технологічних газів на металургійних заводах.

Таблиця 2.5: Типовий склад технологічних газів металургійних заводів

Параметр	Одиниці	Доменний газ		Коксовий газ		Конвертерний газ
		Мінімум	Максимум	Мінімум	Максимум	Середнє значення
CO	об.-%	19	27	3,4	5,8	60,9
H ₂	об.-%	1	8	36,1	61,7	4,3
CO ₂	об.-%	16	26	1	5,4	17,2
N ₂	об.-%	44	58	1,5	6	15,5
CH ₄	об.-%			15,7	27	0,1
C ₂ H ₄	об.-%			1,4	2,4	
Нижча теплотворність	кДж/Нм ³	2 600	4 000	9 000	19000	8 184
Вміст пилу	мг/Нм ³	0	10			
Загальна сірка	мг/Нм ³		170	100	800	

Механізм утворення (загальний)

Оксиди азоту (NO_x) утворюються під час процесів високотемпературного спалювання завдяки окисленню азоту, який є компонентом повітря, а також завдяки окисленню азоту в паливних газах. Монооксид азоту (NO) утворюється найчастіше, в той час як діоксид азоту (NO₂) утворюється після спалювання і тільки при достатній кількості кисню в газах і в атмосфері. Оскільки в кінцевому підсумку весь NO буде перетворюватися в NO₂, загальні викиди NO_x вимірюються в NO₂ (мг/Нм³).

В принципі, можна розділити утворення як термічних NO_x, так і пов'язаних із паливом, залежно від температури та концентрації, часу перебування і типу палива. Утворення термічних NO_x починається за температури 1300 °C і швидко зростає із підвищенням температури.

- Доменний газ

Внаслідок порівняно низької температури факела при спалюванні доменного газу зазвичай не відбувається значного утворення термічних NO_x . Кількість паливних NO_x при спалюванні доменного газу залежить від концентрації азотистих сполук. Паливні NO_x призводять до викидів в діапазоні 40-90 мг/Нм³ (за 3 % O_2) як середньодобові значення в димових газах, без будь-яких заходів зниження.

- **Коксовий газ**

Паливні NO_x є результатом окислення аміаку й органічного азоту, які містяться в коксовому газі. Внаслідок значних кількостей аміаку та органічного азоту в коксовому газі утворюються термічні NO_x . При спалюванні коксового газу з вищою теплотворною здатністю (і природного газу) внаслідок більш високих температур утворення термічних NO_x значне.

В табл. 2.6 показано взаємозв'язок між вмістом азоту в коксовому газі та концентрацією NO_x у викидах відхідних газів електростанцій без будь-яких первинних заходів придушення.

Таблиця 2.6: Типові значення NO_x , мг/Нм³, у викидах при спалюванні коксового газу на електростанції

Параметр	Мінімум	Максимум	Одиниці
Загальний вміст N в коксовому газі	200	800	мг/Нм ³
Паливні NO_x	90	320	мг/Нм ³
Термічні NO_x	150	120	мг/Нм ³
Загальні NO_x	240	440	мг/Нм ³
Примітка: Наведено середньодобові значення. Джерело: [140, Eurofer, 2009].			

На металургійних заводах із повним циклом коксовий газ часто змішується з доменним і конвертерним газом, що призводить до нижчих рівнів викидів із вищезазначених причин. Коксовий газ можна використовувати в будь-якому діапазоні від 0 до 100 % при змішуванні з доменним і конвертерним газом.

2.3 Управління матеріалами

[200, Єврокомісія, 2001] [271, Луо, 2007] [241, Польща, 2007] [243, Eurofer, 2007] [260, Німеччина, 2007] [273, Eurofer, 2007] [274, Eurofer та ін., 1999] [363, Eurofer, 2007] [365, Eurofer, 2007]

Металургійні заводи з повним циклом – великі комплекси з великим споживанням матеріалів. На підприємстві з річним виробництвом від 3 до 5 млн т сталі доводиться мати справу з 8 – 12 млн т сировинних матеріалів, таких як руди, окатиші, лом, вугілля, вапно, вапняк (в деяких випадках також мазут і пластик), а також з добавками – допоміжними матеріалами і залишками технологічного процесу, такими як побічні продукти і відходи.

Всі матеріали зазвичай надходять на завод за допомогою транспорту для перевезення безтарних вантажів автомобільними дорогами, залізницею або водним транспортом. Ці матеріали та проміжні продукти, такі як кокс і агломерат, зберігаються на складах або в силосах і транспортуються до індивідуальних технологічних установок, зазвичай із використанням конвеєрної стрічки. На рис. 2.10 показана технологічна схема процесу транспортування матеріалів на металургійному заводі з повним циклом.

Металургійні заводи з повним циклом характеризуються високими рівнями ефективності використання ресурсів, що досягаються завдяки застосуванню ряду передових технологій, добре організованому і продуманому управлінню матеріалами.

З екологічної точки зору, зберігання та поводження з великими кількостями твердих матеріалів може призвести до значного зростання викидів пилу. Частина цих викидів буде у вигляді тонкодисперсного пилу (PM10). Порівняно з викидами з точкових джерел, коли частка PM10 у викидах пилу від зберігання сипучих матеріалів після очищення знаходиться в діапазоні від 90 до 99 %, частка PM10 від зберігання сипучих матеріалів і поводження з ними зазвичай буває набагато нижче [3, Ремус, Р., 1998] [83, Ерліх, К. та ін., 2007].

Є проблеми з досягненням стандартів якості навколишнього повітря в ЄС для PM10 по сусідству з великими металургійними заводами (наприклад, у Німеччині, Нідерландах, Бельгії і Сполученому Королівстві). В огляді джерел щодо PM10 на великих металургійних заводах із повним циклом у Сполученому Королівстві було визначено, що з погляду внесків до рівнів якості місцевого повітря викиди від високих димових труб не є значними. Навпаки, внесок від розсіяних джерел із низьким рівнем поруч із заводами повного циклу у Фландрії та Бельгії був ідентифікований як значний. У дослідженні використаний моніторинг якості повітря кількох ділянок разом із традиційними методами тригонометричної зйомки і рози забруднень [198, Менсінк, К. та ін., 2007] [199, Марк та ін., 2006].

Основна увага цього BREF зосереджена на ключових процесах у чорній металургії. Однак ясно, що допоміжні операції на заводі є екологічно значущими джерелами пилу і PM10, і тому оператори повинні використовувати ВАТ (НДТМ) для мінімізації викидів від цих джерел неорганізованих і розсіяних викидів. BREF для викидів від зберігання [283, ЄК, 2006] охоплює багато таких областей, і ми наполегливо рекомендуємо читачам звернутися до цього документа за подробицями.

В цьому розділі представлено звичайні способи для зниження викидів пилу від зберігання, обігу та транспортування матеріалів. Основні неконтрольовані та розсіяні джерела, які зазвичай характеризуються низьким рівнем викидів пилу і PM10, на металургійному заводі з повним циклом можуть включати:

Для вхідних матеріалів:

-
- розвантаження судна, баржі, поїзда або вантажівки
 - конвеєри
 - відвали
 - змішування і підготовки шихти
 - транспортування
 - дороги й доріжки на ділянках заводу
 - непокритий ґрунт.

Для вихідних матеріалів:

- переробка і транспортування відходів технологічного процесу
- зберігання відходів технологічного процесу
- процедури розвантаження відходів процесу, таких як побічні продукти і відходи.

Інформацію щодо неконтрольованих та розсіяних джерел викидів, окрім викидів від зберігання, поводження з матеріалами та транспортування матеріалів, наприклад обробка залишків на місці, викиди, що виділяються при недостатньому витягненні під час дроблення, відсіву, завантаження, плавлення, відведення, які, як правило, називаються вторинними відходами, можна знайти у спеціальних розділах.

2.3.1 Зберігання та робота з матеріалами на вході

Зважений пил від складів та конвеєрних стрічок, включаючи ділянки завантаження-вивантаження, може бути значним джерелом викидів. Якщо матеріали, наприклад вилугувані сполуки, такі як вуглеводні від прокатної окалини або лом зберігаються на складах без відповідного покриття підлоги, слід також приділяти увагу забрудненню ґрунту та ґрунтових і (або) стічних вод. У деяких країнах матеріали з вилугуваними компонентами повинні зберігатися на майданчику з належним захистом ґрунту. На рис. 2.10 показана технологічна схема процесу транспортування матеріалів на металургійному заводі з повним циклом.

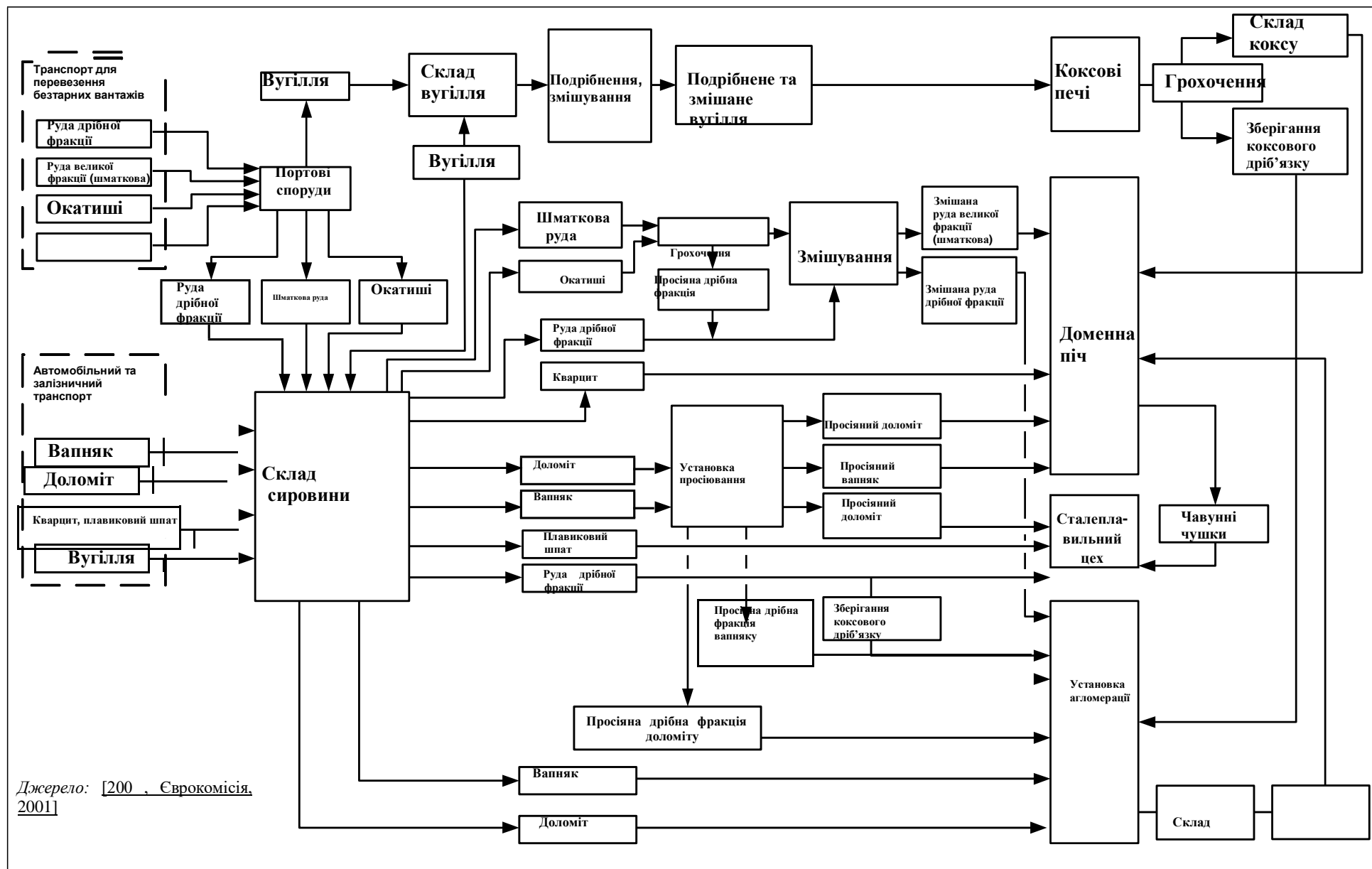


Рис. 2.10. Технологічна схема нормального процесу переміщення матеріалів на заводі з повним циклом

Поводження із залізною рудою

Європейські металургійні заводи з повним циклом зазвичай використовують залізну руду з різних джерел, а значна кількість цих руд імпортується в ЄС транспортом для перевезення безтарних вантажів. Для прибережних металургійних заводів розвантаження може йти безпосередньо на первинний (основний) склад, в той час як для інших металургійних заводів має бути вивантаження на проміжний склад для подальшого транспортування на металургійний завод за допомогою барж, залізничним або автомобільним транспортом. Деякі металургійні заводи отримують руду безпосередньо з рудників, і знову ж таки з використанням барж, залізничного або автомобільного транспорту. Слід приділяти увагу мінімізації вторинного забруднення різних руд на основному складі та уникати ненавмисного змішування руд із флюсами і особливо з вугіллям, коли забруднення оксидів заліза може мати шкідливий вплив на вогнетривкі елементи коксової печі. Слід звертати увагу на запобігання утворенню викидів розсіяного пилу на всіх стадіях поводження із матеріалами шляхом застосування належних способів.

Залізорудний дріб'язок потім або змішується з іншими матеріалами, такими як флюси, коксовий дріб'язок, і з'являється на вторинному складі, або направляється в бункери і на конвеєрну стрічку перед установкою для агломерації або установкою для отримання окатишів. Змішування проводиться для підтримки належної якості вихідної сировини для збагачувальної фабрики і в кінцевому результаті для доменних печей. Утворюються відвали різних партій руди, і вони підлягають подальшій утилізації з використанням спеціально спроектованих установок та конвеєрів.

Імпортовані безпосередні завантаження чорних металів для доменної печі (тобто руда з порожньою породою і окатиші) утилізуються з основних складів і зазвичай піддаються просіванню, коли надRESHITOCNA руда спрямовується в бункери доменної печі, в той час як підRESHITOCNA руда спрямовується на агломераційну установку. [240, UKEA, 2004]

Копровий цех і поводження із брухтом (скрапом)

Технічні вимоги ЄС до сталевого брухту були узгоджені більшістю торгових компаній в країнах ЄС-27, які беруть участь у рециклінгу та переробці брухту чорних металів. У рамках технічних вимог брухт класифікується шістьма категоріями: амортизаційний брухт, новий брухт без покриття з низькою кількістю залишкових домішок, подрібнений брухт, сталевий стружка, брухт із високою кількістю залишкових домішок і подрібнений брухт після сміттєспалювання. У цих технічних вимогах містяться також рекомендації, які стосуються аспектів охорони навколишнього середовища, здоров'я та безпеки, такі як вміст небезпечних, легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин, Cu, Sn, Cr, Ni, Mo, S і P та радіоактивних матеріалів [53, BDSV, 2009]. Визначення позицій у цьому переліку технічних вимог застосовуються тільки до брухту нелегованої вуглецевої сталі як сировини для чорної металургії.

Металевий брухт зазвичай зберігається зовні, непокритий та часто на непокритому брукувкою ґрунті. Брухт чорних металів розвантажуються в кошики з допомогою магнітів або грейферів. При маніпулюванні з брухтом мінімізуються потрапляння в технологічний процес будь-яких сторонніх, немагнітних матеріалів типу каменів, деревини або кольорових металів.

Деякі види брухту можуть призводити до відкладення залишкових матеріалів на ґрунті, а також до забруднення його важкими металами та вуглеводнями протягом зберігання і маніпулювання.

Залежно від типів і кількості брухту, що переробляється, а також операцій маніпулювання з ним (тобто завантаження, вивантаження) можуть також спостерігатися викиди неорганічних (пил) і органічних матеріалів (наприклад, маслянисті уламки) при певних погодних умовах.

Крім того, деякі види робіт із брухтом можуть також викликати шумове забруднення.

Поводження із флюсами

Флюси дробляться, наприклад, за допомогою молоткової дробарки, та їх просівають до фракції 0-4 мм для використання на аглофабриках. Можна одразу купувати бажану фракцію.

Поводження з матеріалами/відходами із зовнішніх джерел на заводах із повним циклом Металургійні заводи з повним циклом можуть отримувати відходи із зовнішніх джерел, наприклад відпрацьовані масла і жири, вапно, водомасляні емульсії, відходи пластмас тощо. Вуглець і залізо із цих матеріалів можна утилізувати при коксуванні в коксових печах або при плавці в доменних печах. Наприклад можна також безпосередньо вдувати відновлювальні агенти на рівні дутцевих фурм доменної печі.

Радіоактивність брухту

[51, UN ECE, 2006] [215, BSS, 2007] [260, Німеччина, 2007] [373, Eurofer, 2007]

Контроль радіоактивності скрапу, що надходить – це важлива проблема, яка детально розглядалася експертною групою Європейської економічної комісії ООН (UNECE). Ця група розробила у 2006 році основи рекомендацій із прикладами добросовісної практики. При цьому в максимально можливій мірі враховувалися наявні національні, регіональні та міжнародні документи і норми, а також національний досвід. Робота експертної групи включає:

- рекомендації щодо моніторингу та процедур реагування на металевий брухт із радіоактивністю
- стратегію міжнародного навчання та нарощування потенціалу щодо моніторингу та процедур реагування (2007)
- звіт про удосконалення поведження з аспектами радіаційного захисту при рециклінгу металевого брухту, ISBN 92-1-116 789-2 (2002). Згадані рекомендації, пов'язані з вирішенням цієї проблеми, корисні не тільки виключно для сталеливарних компаній, але і для інших зацікавлених сторін – від адміністративних відділів до галузей, що займаються утилізацією і рециклінгом у секторі металургії (www.unece.org/trans/radiation/radiation.html).

2.3.2 Управління відходами виробництва

На металургійних заводах із повним циклом виготовляється широкий набір матеріалів, включаючи сталь як основний продукт. Іншими видами матеріалів, які отримують у процесах металургійного виробництва, є доменний шлак та різні сталеплавильні шлаки, сульфат амонію, сірчиста і сірчана кислота з установки для десульфурації коксового газу, коксовий дьоготь, коксовий пек і (неочищений) бензол від коксохімічного цеху та інші продукти, такі як чавунний скрап.

Деякі з цих матеріалів часто використовуються за сировину в інших секторах. За допомогою процесу оптимізації, включаючи максимальну ступінь внутрішньої рециркуляції вуглецю та залізовмісного пилу, утворення відходів на металургійних заводах із повним циклом мінімізується. Були розроблені різні процеси утилізації, в результаті чого частка загальних залишків, які потребують розміщення, стала порівняно невеликою. Додатково до матеріалів, що з'являються в технологічних процесах, заводи з повним циклом отримують інші продукти, включаючи відходи, що утворюються від різних установок і секторів.

На рис. 2.11 наведено типовий приклад управління відходами виробництва, такими як побічні продукти і відходи, на металургійному заводі з повним циклом.

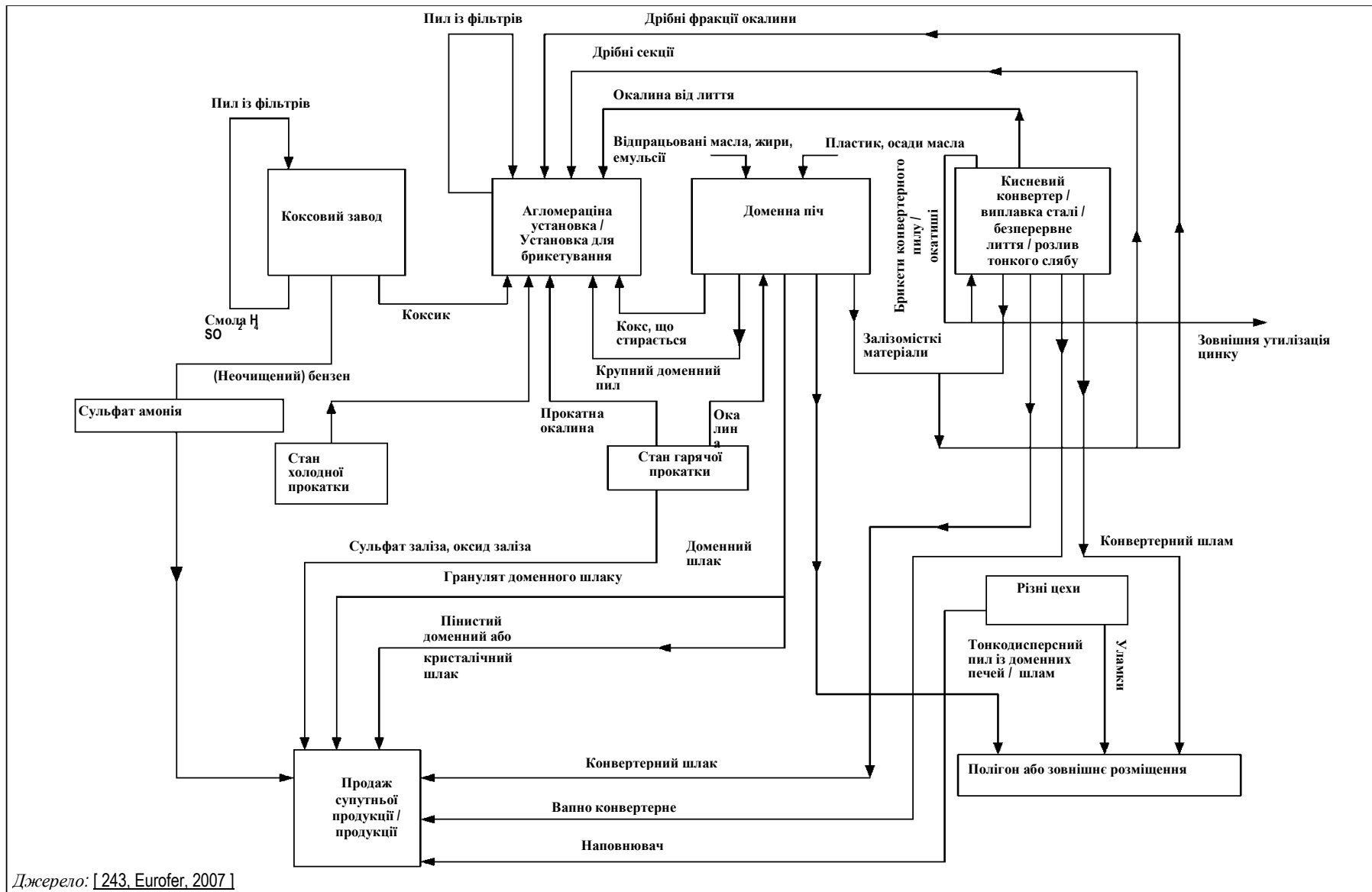


Рис. 2.11. Приклад управління побічними продуктами і відходами на заводі з повним циклом

2.3.2.1 Використання відходів у власному виробництві металургійного заводу з повним циклом

Велика частина відходів виробництва, що утворюються на металургійному заводі з повним циклом, має високий вміст заліза, вуглецю, кальцію та інших корисних компонентів, і вони можуть заміщати первинну сировину, таку як залізна руда, вугілля, шлакоутворювачі, мазут і кокс. Зазвичай поводження з відходами виробництва на заводі з повним циклом характеризується застосуванням передових технологій комплексної переробки, призначених для збереження якомога більшої кількості корисних компонентів, що містяться у відходах металургійного виробництва.

Ідентифікація та роздільний збір за категоріями матеріалів (наприклад, за хімічним складом, розміром частинок або вмістом нафти) є необхідними попередніми умовами для забезпечення належного використання на самому металургійному заводі, без втрат з погляду ефективності виробництва, якості продукції та захисту навколишнього середовища.

Залізвмісну фракцію непереробленого шлаку, залізо та вуглецевмісний пил і шлами від систем очищення газу, відпрацьоване мастило, новий скрап і окалину можна повернути до виробничого циклу за допомогою агломераційних установок, обладнання для отримання окатишів, коксових печей, доменних печей та кисневих конвертерів. Для дрібнозернистих матеріалів характерна тенденція повернення до виробничого циклу за допомогою агломераційної установки, в той час як матеріали з більш грубою фракцією частіше повертаються в доменну піч або кисневий конвертер. Для того, щоб повернути деякі фракції в доменну піч і кисневий конвертер часто використовуються установки для брикетування, де всі види тонкозернистих залишків об'єднуються в цеглу/брикети на цементній зв'язці, з якими легше поводитись, і які можна використовувати у різних процесах. Зокрема пил або шлами від технологічних агрегатів можна брикетувати або перетворювати в окатиші, а потім використовувати в підприємницькому циклі, коли вміст кольорових металів невисокий.

У пункті 2.5.4.4 описані спеціалізовані споруди для переробки відходів із високим вмістом заліза. Деякі з цих засобів роблять можливим безпосереднє відновлення рідкого заліза; інші є своєрідним етапом попередньої обробки для повторного використання залишків у доменній печі або в електродуговій печі. Наявність високих концентрацій небажаних сполук, таких як луки, важкі метали та мінеральне мастило, обмежує переробку залишків із високим вмістом заліза.

В табл. 2.7 наведені приклади використання металовмісних шлаків у Європі.

Таблиця 2.7: Використання металовмісних шлаків у Європі

Використання шлаків ⁽¹⁾	%	Кількість
Виробництво цементу	1	152
Будівництво доріг	45	6 840
Гідротехніка	3	456
Добрива	3	456
Внутрішній рециклінг	14	2 128
Проміжне зберігання	17	2584
Кінцеве розміщення	11	1 672
Інше	6	912
Усього	100	15 200
⁽¹⁾ До «металовмісних шлаків» належать шлаки кисневих конвертерів, позапічної обробки сталі та електродугових печей. Примітка: Дані представлено за 2004 рік і вони стосуються 12 країн-членів ЄС: Австрії, Бельгії, Німеччини, Данії, Іспанії, Франції, Фінляндії, Люксембургу, Нідерландів, Сполученого Королівства, Швеції, Словаччини. Джерело: [174, Euroslag, 2006].		

2.3.2.2 Застосування відходів металургійного заводу з повним циклом як технологічної сировини

Шлами з високим вмістом цинку і пил утворюються в процесі очищення конвертерного і доменного газів. Проте, вміст цинку в шлами недостатньо високий для того, щоб його повторне використання було економічно вигідним. Тільки деякі види таких шлаків і пилу можна ефективно переробляти, і тому майже всі підприємства галузі мають великі склади шлаків та відходів.

Якщо вміст кольорових металів в пилу або шламах заводів із повним циклом досить високий для забезпечення технічної та економічної доцільності їх використання, деякі кольорові метали можна утилізувати на зовнішніх підприємствах із виробництва металу або установках для рециклінгу. Наприклад пил сталеплавильних агрегатів із високими концентраціями цинку можна використовувати за сировину в секторі виробництва цинку замість цинкових руд.

2.3.2.3 Управління відходами металургійного заводу з повним циклом

Невелика частина від загальної кількості відходів металургійних заводів із повним циклом не має економічного використання (як на самих заводах, на технологічних агрегатах, так і за їх межами). Але склад деяких відходів вимагає їх захоронення. Матеріали, які зазвичай вимагають складування, включають:

- тонкодисперсний пил/шлами від очищення доменного газу
- шматки футеровки жолоба доменної печі
- тонкодисперсний пил від мокрого очищення конвертерного газу (якщо використовується процес мокрого очищення)
- в деяких випадках і пил, в якому містяться великі кількості хлоридів лужних металів та хлоридів важких металів на виході електрофільтрів, рукавних фільтрів або скрубєрів, що використовуються для очищення відхідних газів від агломераційних стрічок.

Багато металургійних заводів із повним циклом мають свої власні, сертифіковані полігони захоронення, в той час як інші компанії використовують зовнішні полігони. У всіх випадках полігони повинні отримувати дозвіл на прийом конкретних відходів.

2.4 Управління водокористуванням та водовідведенням

[200, Єврокомісія, 2001] [279, IISI, 2002] [316, Eurofer, 2009]

На металургійних заводах із повним циклом вода використовується, наприклад, для прямого і непрямого охолодження, очищення газу, ломки окалини й операцій промивання, включно з очищенням відхідних газів із використанням скрубєрів.

Можуть експлуатуватися різні системи водопостачання: повністю замкнені системи, напівзамкнені контури або розімкнуті контури. Є лише кілька повністю замкнених систем. Замкнені контури можна використовувати, наприклад, для охолодження з демінералізованою або пом'якшеною водою на певних установках, тобто на кристалізаторі машини безперервного лиття або на котлах електростанцій. Тут використовується другий контур як напівзамкнений контур із градирнею.

Нижче наведено три приклади використання напівзамкнених систем:

- у градирнях для зниження температури води. Є необхідність у випуску потоку невеликої витрати для обмеження концентрації солі у воді з метою запобігання відкладення цієї солі, а, отже, корозії та можливих додаткових витоків води
- для рециклінгу стічних вод після очищення для подальшого використання не потрібна така висока якість води, як для першого використання. Адже можуть утворюватися деякі заборонені для скидання речовини, невелика кількість води має випускатись і поступати в оборот на установку для очищення стічних вод перед остаточним скидом. Відсутня кількість має поповнюватися свіжою водою.
- для технічної води, яка може бути в замкненому циклі. Так як можуть утворюватися деякі неприпустимі для прямого скидання речовини, невелика кількість води має випускатись і поступати на установку для додаткового очищення стічних вод перед остаточним скидом. Ця кількість повинна компенсуватися свіжою водою.

Управління водою на металургійних заводах із повним циклом переважно залежить від місцевих умов, перш за все, від наявності та якості прісної води та від законодавчих вимог.

На рис. 2.12 наведено приклад управління водою із зазначенням очищення води на заводах із повним циклом, майже з необмеженою наявністю прісної води; отже, пояснюється наявність прямоочних систем охолодження, в результаті чого питомий забір води складе понад 100 – 200 м³/т сталі. Це відповідає усім заводам, які розміщені неподалік від великих водойм, наприклад великих річок.

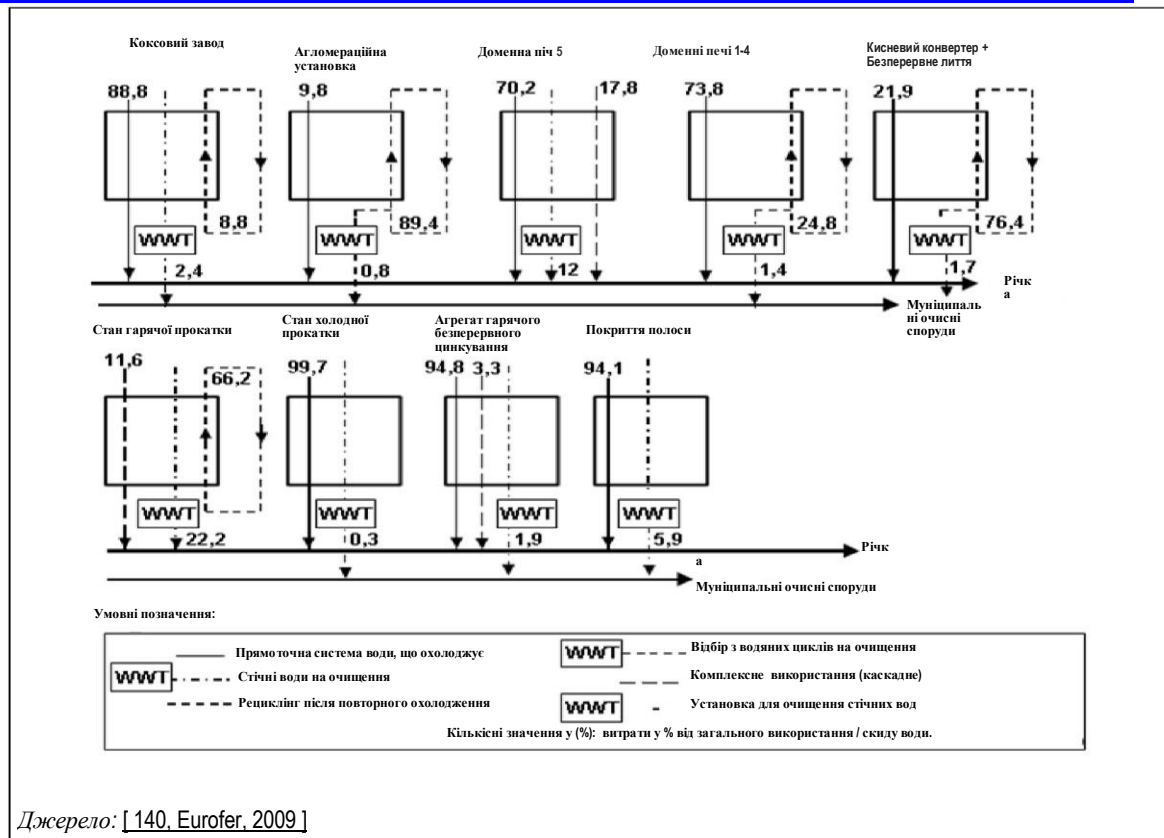


Рис. 2.12. Приклад управління водними ресурсами на заводі з повним циклом в місцевості з високим надлишком прісної води

Важливим фактором для безперервного удосконалення споживання і скидання води є витрати. Витрати на обробку січних вод та їх скидання, в основі яких податок на скидання води в муніципальну систему, можуть бути значними. Ще одним фактором, пов'язаним із витратами, є те, що часто вода, яка відбирається з вищезазначених об'єктів, повинна піддаватися стадії кондиціонування перед її використанням. Крім того, відкачування таких великих обсягів води вимагає значного споживання електроенергії.

Із цих причин, починаючи з 1980 року, споживання води постійно знижувалося.

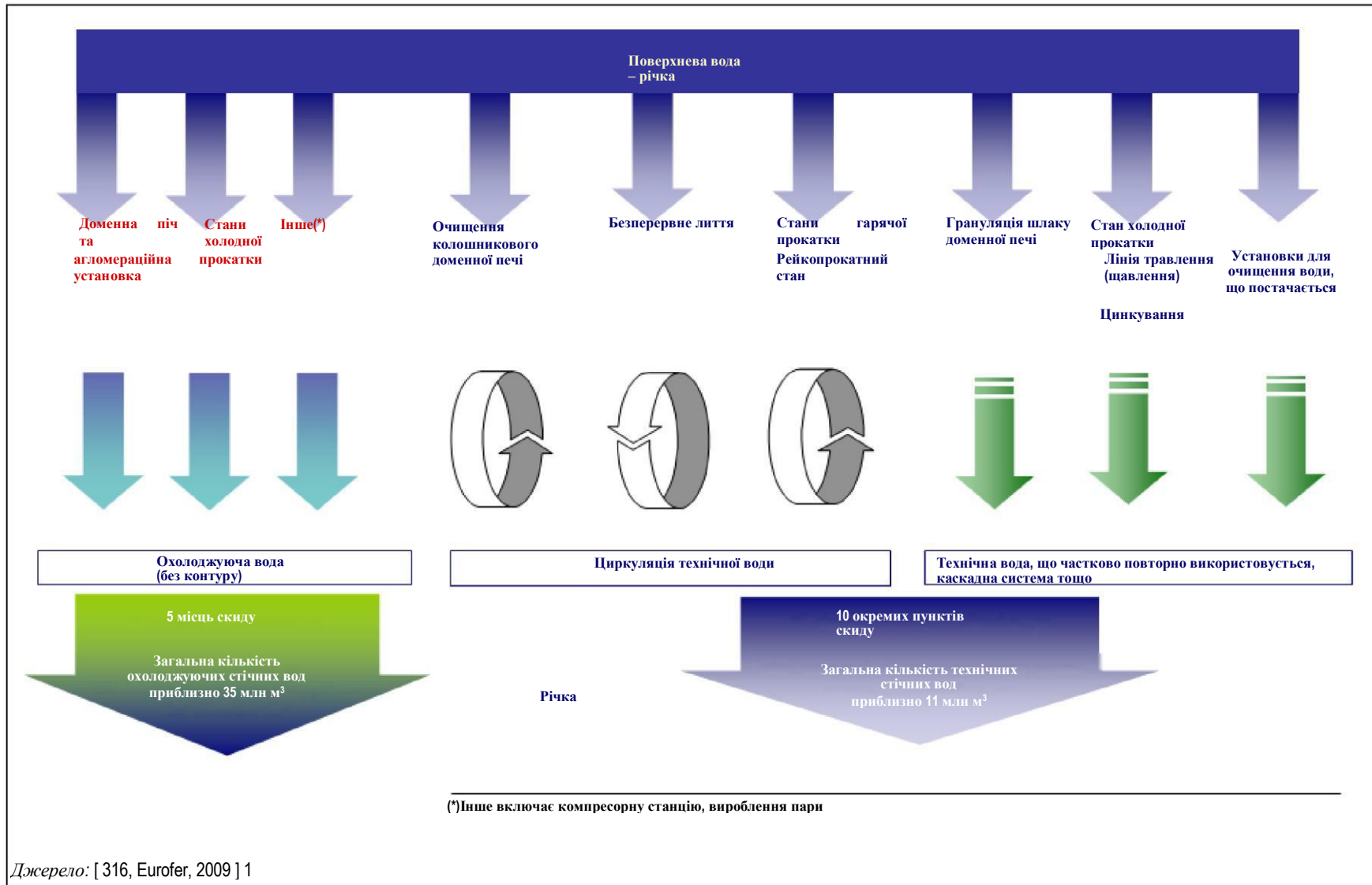
Зокрема, в місцях із дуже високим рівнем споживання прісної води, де дефіцит води повинен покриватися ґрунтовою або джерельною водою, може виникати необхідність в інтенсивному зниженні споживання води. У таких випадках питоме споживання води може бути нижче, ніж $5 \text{ м}^3/\text{т}$ сталі, а взаємозалежності можуть бути значно сильніше виражені.

В табл. 2.8 наведено порівняння потреби в заборі води для прямоточної системи і для системи, пов'язаної з інтенсивною рециркуляцією на типовому заводі з повним циклом. Інтенсивна рециркуляція в системах непрямого і прямого охолодження знижує загальний забір води до 2,4 % від потреби прямоточної системи.

Таблиця 2.8: Споживання води, необхідне для заводів із повним циклом із прямою системою водопостачання порівняно із системою з інтенсивної рециркуляції

Споживання води	Якість	Забір води			
		Прямочна система		Інтенсивна рециркуляція	
		(м ³ /хв.)	(% від загального)	(м ³ /хв.)	(% від загального)
Непряме охолодження	Звичайна	675	70,7	7,4	32
Пряме охолодження	Звичайна	265	27,8	6,2	26,8
Технічна вода	Низька	7,7	0,8	5,1	22,1
Питна вода	Висока	1,5	0,2	1,5	6,5
Втрати на випаровування		4,8	0,5	2,9	12,6
Усього		954	100	23,1	100
Примітка: Невідомо, чи включена в ці дані вода, яка використовується в подальших операціях (в цьому документі, наприклад, не включена прокатка). Джерело: [279, PSI, 2002].					

На наступних рисунках представлені інші приклади двох різних комплексних систем двох заводів із повним циклом з окремими контурами (рис. 2.13) та з протиточною каскадною системою зі стадіями виробництва сталі (від стану холодної прокатки до доменної печі) (рис. 2.14).



Джерело: [316, Eurofer, 2009] 1

Рис. 2.13. Приклад управління водними ресурсами на заводі з повним циклом із окремими контурами

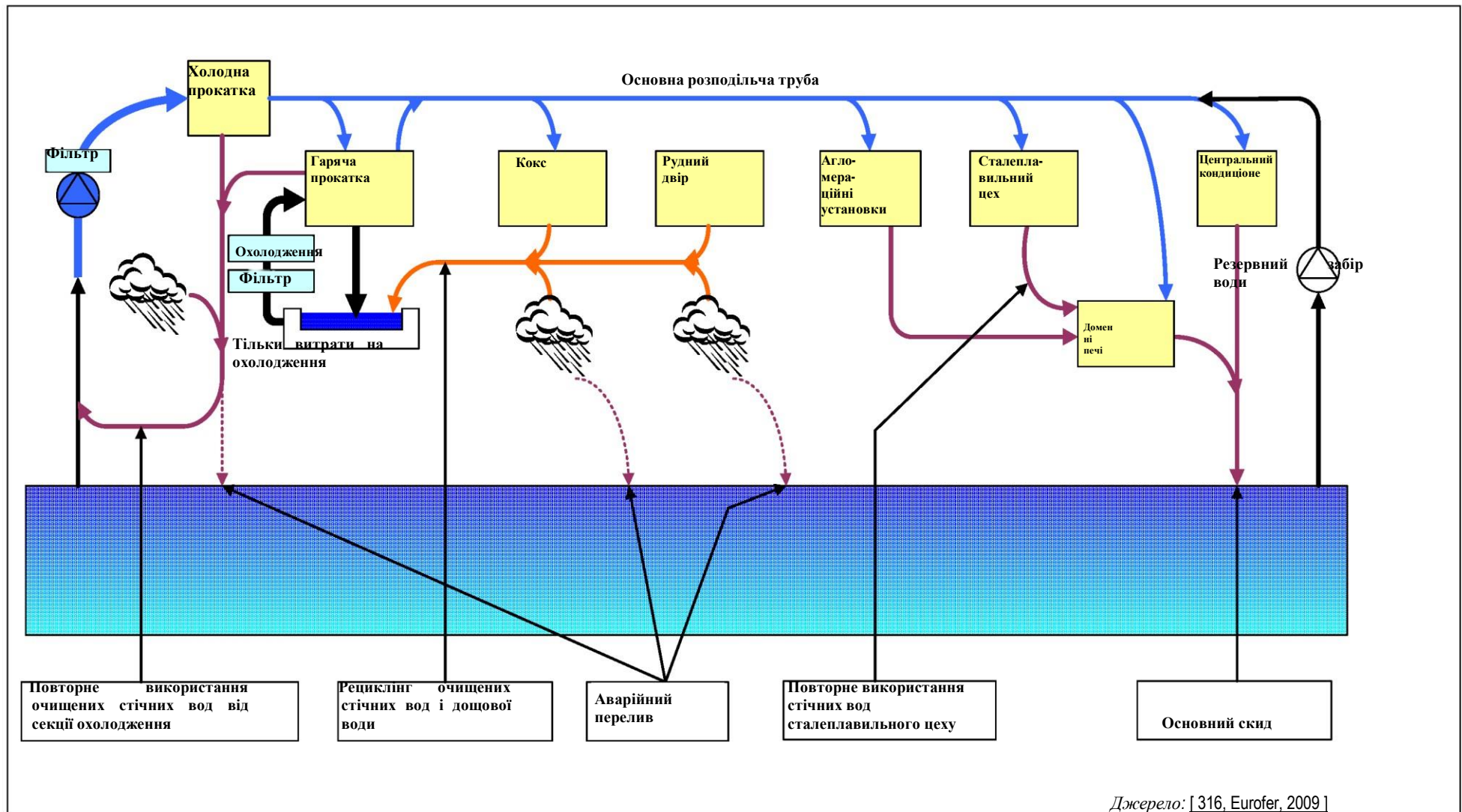


Рис. 2.14. Приклад управління водними ресурсами на заводі з повним циклом із використанням каскадної системи

На заводі (див. рис. 2.13) загальна кількість споживання води в 2005 році склала майже 1,2 млрд. м³/рік. Ступінь рециркуляції води в цьому випадку 97,2 %, і тільки 2,5 % потрібно було поповнити свіжою водою. Скидання стічних вод склало лише 1,2 %, а решта втрат – 1,6 %.

Внаслідок цього забір води склав близько 3,16 м³/т нерафінованої сталі.

Технології, які привели до зниженого забору води та мінімізації скидання стічних вод у вищезгаданому випадку включали:

- запобігання використанню питної води для технологічної лінії;
- зростання кількості та/або продуктивності систем циркуляції води при будівництві нових цехів або модернізації/переобладнанні наявних цехів;
- централізацію розподілу вихідної прісної води;
- використання в установках каскадного типу доти, поки окремі параметри не відповідатимуть встановленим законам нормам або технічним регламентам;
- використання води в інших цехах за умови подальшого використання без порушення одиничних параметрів;
- роздільний розподіл очищених і неочищених стічних вод. За допомогою цього заходу досягається можливість розміщення стічних вод за розумних витрат;
- використання дощової води завжди, коли це можливо.

2.5 Основні технології, що розглядаються при визначенні НДТМ

У цьому розділі описані технології (або їх поєднання) і пов'язаний із ними моніторинг, які спрямовані на досягнення високого рівня захисту навколишнього середовища в економічній діяльності у контексті тематики даного документа.

Обговорюються системи управління станом навколишнього середовища, технології, інтегровані в процес, і заходи очищення в кінці виробничого циклу. Розглянуто також заходи запобігання утворенню відходів і управління ними, включаючи мінімізацію відходів та процедури рециклінгу. Крім того, включені технології для зменшення споживання сировини, води та енергії.

У Додатку III до Директиви перерахований ряд критеріїв для визначення ВАТ (НДТМ), власне, інформація в цьому розділі стосується саме цих міркувань. Наскільки можливо, використана стандартна структура, наведена в табл. 2.9, для загального уявлення про інформацію, зібрану щодо кожної технології, з метою порівняння технологій та їх оцінки на основі визначення НДТМ згідно з Директивою.

Цей розділ необов'язково дає вичерпний перелік технологій, які можна застосовувати в секторі. Можуть існувати інші технології для конкретної установки, які можна було б розглянути для визначення НДТМ.

Таблиця 2.9: Вихідна інформація для кожної технології, що описана в цьому розділі

Тип розглянутої інформації	Основний зміст інформації
Опис	Короткий технічний опис із використанням за необхідності малюнків, діаграм і технологічних схем
Екологічні переваги, яких можна досягнути	Основні потенційні екологічні вигоди, що досягаються за допомогою реалізації технології (включаючи економію енергії, води, сировини, а також зростання виходу продукції, ефективності використання енергії тощо)
Міжсередовищні наслідки/ефекти, тобто вплив на навколишнє середовище (вода, повітря, ґрунтовий покрив)	<p>Вплив на навколишнє середовище та інші середовища внаслідок реалізації технології, включаючи детальні дані щодо впливу на навколишнє середовище технології порівняно з іншими (переваги та недоліки, що підтримуються даними, якщо вони є) для оцінки впливу технології на навколишнє середовище в цілому. Це може включати такі питання, як:</p> <ul style="list-style-type: none"> • споживання сировини і води; • споживання енергії та внесок у зміну клімату; • потенціал руйнування озонового шару; • фотохімічний потенціал утворення озону; • підкислення в результаті викидів у повітря; • тверді частинки в навколишньому повітрі (включаючи мікрочастинки та метали); • евтрофікація ґрунтів і водойм (в результаті викидів у повітря або скидів у воду); • потенціал виснаження кисню у воді; • стійкі/токсичні/біоаккумулятивні компоненти у воді або ґрунті (включаючи метали); • утворення або зниження (відходів) відходів; • можливість повторного використання або рециклінгу (відходів) залишків; • шум та/або запах; • ризик аварій.
Експлуатаційні дані	Реальні технічні дані (включаючи порівняльні умови, періоди моніторингу та методи моніторингу) про рівні викидів, споживання ресурсів (сировини, води, енергії) і кількості відходів, що утворюються. Будь-яка інша корисна інформація про те, як працює, обслуговується або контролюється технологія.
Можливість застосування	Вказівка щодо типу установок або процесів, в яких технологія може або не може застосовуватися, а також обмеження для реалізації в певних випадках, з урахуванням, наприклад, віку установки (нова або наявна), факторів, пов'язаних із модернізацією (наприклад, наявність місця), розміру установки (велика або невелика), вже впроваджених технологій і типу або якості продукції.
Економічні дані	Витрати (капітальні експлуатаційні) і будь-яка можлива економія (наприклад, зниження споживання сировини або енергії, платежів за розміщення відходів) або доходи, зокрема детальний опис того, як вони були розраховані/оцінені. Економічна інформація, важлива для нового будівництва та модернізації наявних установок. Все це допомагає ідентифікувати, там, де це можливо, спільний економічний вплив технології.
Стимули для впровадження	Особливі місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи безпеки) або не екологічні механізми (наприклад, зростання продуктивності, підвищення якості продукції), які регулюють або стимулюють реалізацію технології до теперішнього часу.
Приклади установок	Посилання на установку (установки), для яких була впроваджена технологія, і по якій була зібрана інформація та використана при написанні розділу. Вказівка щодо ступеня використання технології в Європі чи у світі.
Довідкова література	Література або інший довідковий матеріал (наприклад, книги, звіти, дослідження, вебсайти), які були використані при написанні розділу і в яких міститься більш докладна інформація щодо технологій.

2.5.1 Системи управління охороною навколишнього середовища

Опис

Директива визначає «технологію» (в рамках визначення «найкращих доступних технологій») як «технічні прийоми, що використовуються, а також спосіб, за допомогою якого виробнича установка проектується, будується, обслуговується, експлуатується та виводиться з експлуатації».

В контексті даного визначення система управління навколишнім середовищем (EMS) представляє собою технічні прийоми, які дають можливість операторам виробничих установок звертатися до вирішення екологічних проблем систематичним і наочним способом. Такі системи управління найбільш ефективні та дієві, коли вони становлять невід'ємну частину загального управління й експлуатації виробничої установки.

EMS концентрує увагу оператора на екологічних показниках виробничої установки, зокрема за допомогою застосування чітких технологічних процесів як для нормальних, так і для інших умов експлуатації, та за допомогою встановлення відповідних сфер відповідальності.

Всі ефективні EMS вводять концепцію безперервних удосконалень, яка означає, що управління навколишнім середовищем є постійним процесом, а не операцією, яка в кінцевому підсумку завершується. Є різні технологічні рішення, але більшість EMS ґрунтується на схемі: планування, виконання, перевірка, прийняття необхідних заходів (яка широко використовується в компаніях у контексті управління). Ця схема (цикл) є повторюваною динамічною моделлю, коли завершення одного циклу переходить у початок наступного циклу (рис. 2.15).



Рис. 2.15. Безперервне вдосконалення моделі Системи управління навколишнім середовищем (EMS)

EMS можуть приймати форму стандартизованої або не стандартизованої («виготовленої на замовлення») системи. Реалізація та суворе дотримання визнаної на міжнародному рівні стандартизованої системи, такої як EN ISO 14001: 2004 можуть надати вищий рівень довіри EMS, особливо, коли вона піддається зовнішній перевірці.

Система екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) надає додаткову надійність внаслідок взаємодії з громадськістю за допомогою екологічної експертизи і механізму

забезпечення відповідності із застосуванням природоохоронного законодавства. Однак і не стандартизовані системи можуть, в принципі, бути так само ефективними за умови, що належно плануються і реалізуються.

Зазвичай як стандартизовані (EN ISO 14001:2004 або EMAS), так і не стандартизовані системи застосовуються, в принципі, до **організацій**. Але в цьому документі приймається більш вузький підхід, що не включає всі види діяльності організації, наприклад, щодо продукції та послуг, так як Директива регулює лише виробничі **установки/підприємства**.

EMS може містити такі компоненти:

1. зобов'язання з управління, включаючи зобов'язання вищого керівництва;
2. визначення природоохоронної політики, яка включає безперервне вдосконалення виробничої установки за допомогою управління;
3. планування та встановлення необхідних процедур, цілей і показників, в поєднанні із фінансовим плануванням та інвестиціями;
4. виконання процедур, що вимагають особливої уваги:
 - (a) структура відповідальності;
 - (b) навчання, інформованість і компетенції;
 - (c) надання інформації;
 - (d) участь співробітників;
 - (e) ведення документації;
 - (f) ефективний контроль процесу;
 - (g) програми обслуговування;
 - (h) готовність до аварійних ситуацій та реагування;
 - (i) забезпечення відповідності до природоохоронного законодавства;
5. перевірка (аудит) і коригувальні дії, приділяючи особливу увагу нижченаведеним аспектам:
 - (a) моніторинг і вимірювання (див. також Довідковий документ щодо загальних принципів моніторингу) [42, ЄК, 2003]
 - (b) коригувальні та запобіжні дії;
 - (c) ведення обліку;
 - (d) незалежний (коли це практично можливо) внутрішній і зовнішній аудит, для того щоб визначити, чи буде EMS відповідати запланованим заходам, і чи буде вона в належний спосіб реалізовуватись і обслуговуватись;
6. перевірка EMS та її безперервної придатності, адекватності та ефективності вищого керівництва;
7. підготовки регулярної екологічної експертизи;
8. підтвердження органом сертифікації або зовнішнім контролером EMS;
9. подальше розроблення чистих технологій;
10. міркування щодо впливів на навколишнє середовище після завершення експлуатації виробничої установки, на стадії планування нового підприємства та його строку експлуатації;
11. застосування порівняльного аналізу на регулярній основі.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

EMS сприяє і підтримує безперервні поліпшення екологічних показників виробничих установок. Якщо виробнича установка вже має загальні позитивні екологічні показники, EMS надає допомогу оператору в підтримці високого рівня показників.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не було надано. Систематичний аналіз початкових впливів на навколишнє середовище і область дій для поліпшень у контексті EMS встановлюють основу для оцінки найкращих рішень для всіх компонентів навколишнього середовища.

Експлуатаційні дані

Всі значні види споживання (включаючи енергію) і викиди управляються скоординованим способом оператором у короткостроковому, середньостроковому та довготривалому режимі, в поєднанні із фінансовим плануванням та інвестиційними циклами. Це означає, що, наприклад, адаптація короткочасних рішень з очищення від викидів у кінці виробничого циклу може зв'язати оператора більшим споживанням енергії в довгостроковій перспективі, та відкладе інвестиції в реалізацію потенційно більш сприятливих з екологічного погляду рішень. Це вимагає певного обліку впливів між середовищами. Рекомендації щодо них, витрат і проблем рентабельності наведені в Довідковому документі з економіки і впливів між середовищами (ECM) [185, Європейська Комісія, 2006] та в Довідковому документі з енергоефективності (ENE) [48, ЄК, 2008].

Можливість застосування

Компоненти EMS, описані вище, зазвичай можуть застосовуватися до всіх виробничих установок в рамках дії даного документа. Область дії (наприклад, рівень подробиць) і характер EMS (наприклад, стандартизована або не стандартизована) повинні стосуватися природи, масштабу та складності виробничої установки, і це повинно бути пов'язане із впливом на навколишнє середовище.

Економічні дані

Важко визначити точно витрати та економічні вигоди від впровадження й обслуговування якісної EMS. Є також економічні вигоди, які є результатом використання EMS, і вони різняться від галузі до галузі.

Зовнішні витрати, пов'язані з підтвердженням системи, можна оцінити за допомогою рекомендацій, виданих Міжнародним форумом з акредитації [Автор: вебсайт вже розміщено в BATIS з ідентифікаційним номером 10152; будь ласка, поєднайте його з BREF, а потім вставте сюди посилання].

Зовнішні витрати, пов'язані з підтвердженням системи, можна оцінити за допомогою рекомендацій, виданих Міжнародним форумом з акредитації (<http://www.iaf.nu>).

Стимули для впровадження

Стимулами або мотивацією для впровадження EMS слугують:

- поліпшення екологічних показників;
- поліпшення уявлення про екологічні аспекти компанії, які можна використовувати для виконання природоохоронних вимог споживачів, регулюючих органів, банків, страхових компаній або інших зацікавлених сторін (наприклад, людей, які проживають або працюють поблизу виробничої установки);
- поліпшення бази для прийняття рішень;
- поліпшена мотивація персоналу (наприклад, менеджери можуть бути переконані, що дії на навколишнє середовище контролюються, і працівники можуть відчувати, що вони працюють в екологічно відповідальній компанії);
- додаткові можливості для зниження експлуатаційних витрат і підвищення якості продукції;
- поліпшена репутація компанії;
- зменшення витрат на виконання фінансової відповідальності, страхування і штрафи за невиконання зобов'язань.

Приклади установок

EMS застосовується на ряді виробничих установок в країнах ЄС.

Більшість європейських підприємств у секторі чорної металургії мають сертифіковані EMS, в той час як ISO 14001 застосовується частіше, ніж EMAS. Деякі приклади включають:

- Buderus Edelstahl GmbH, м. Ветцлар, Німеччина;
- Uddeholm Tooling AB, м. Гагфорс, Швеція;
- Villares Metals SA, м. Сан-Паулу, Бразилія;
- Bohler Edelstahl GmbH, м. Капфенберг, Австрія;
- Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц, Австрія;
- Voestalpine Stahl GmbH, район Донавіц міста Леобен, Австрія;
- Rivagroup Taranto, Італія;
- ArcelorMittal Dunkirk, Florange, муніципалітет Фос-сюр-Мер, Франція.

Довідкова література

Рекомендації EMAS (TC) № 1221/2009 [396, Рек. 1221/2009]

Генеральний директорат з питань довкілля, вебсайт EMAS [397, ГД Довкілля, 2010]

EN ISO 14001: 2004

вебсайт сімейства стандартів ISO 14000. [398, ISO 2004] Технічний комітет ISO 14000 [398, ISO 2004]

2.5.2 Регулювання споживання енергії

2.5.2.1 Технології для підвищення ефективності використання енергії

Опис

Є кілька спеціальних і важливих тем, про які слід згадати щодо металургійних заводів із повним циклом, для того щоб підвищити загальну ефективність використання енергії, включаючи:

- оптимізацію споживання енергії. Зазвичай зміни в постачанні енергії для одного процесу на металургійному заводі впливають на кілька інших процесів (наприклад, використання коксового газу в доменній печі може привести до підвищення теплотворної здатності колошникового газу). Оптимізація засобів, які враховують весь комплекс, може виявитися кращою, ніж облік кожного процесу як автономної одиниці;
- моніторинг у реальному часі. Він часто використовується на заводі для найважливіших потоків енергії та процесів спалювання. Дані зберігаються тривалий час, і тому можна проаналізувати типові ситуації. Моніторинг у реальному часі дуже важливий для всіх випадків спалювання надлишків газу. Це основний спосіб, який використовується для запобігання втрат енергії на свічках і в процесах спалювання. Системи безперервного моніторингу всіх параметрів процесів, присвячених використанню енергії, можна використовувати для оптимізації контролю процесу. З'являється можливість невідкладного обслуговування, завдяки чому досягається виробництво без порушень технологічного режиму;

- засоби звітності та аналізу. Вони часто використовуються для перевірки середнього споживання енергії в кожному процесі. У поєднанні з контролем витрат облік енергії є основою для оптимізації її споживання та економії. Системи контролю енергії дають можливість аналізу поточних і минулих даних (наприклад, у вигляді таблиць);
- рівні питомого споживання енергії. Їх можна визначити для кожного процесу. Зазвичай використовують звітні рівні енергії, хоча ці значення необхідно ретельно перевіряти. Значення порівнюються на довготривалій основі;
- енергетичний аудит. Такий аудит визначено в Енергетичній ефективності BREF як найважливіший інструмент у регулюванні споживання енергії. За допомогою такого аудиту можна також ідентифікувати ефективні можливості економії енергії.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Мета регулювання споживання – максимально продуктивне використання газів, що утворюються в технологічних процесах. Завдяки регулюванню мінімізується необхідність в імпорті додаткових джерел енергії в систему й оптимізується питоме споживання енергії в рамках специфічних обмежень системи. Для досягнення поставленої мети повинна існувати адекватна система, що стосується технічних можливостей і витрат, з одного боку, та організації з іншого боку. Існує багато спроб пояснення управління енергоресурсами (наприклад, BREF з енергоефективності), тому в цьому документі не обговорюються загальні деталі.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Жодних даних не надано.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Жодних даних не надано.

Довідкова література

[281, Eurofer, 2007]

2.5.2.2 Технології для оптимізації використання технологічних газів

Опис

Деякі потенційні технології інтегровані в технологічний процес для підвищення ефективності споживання енергії на металургійних заводах із повним циклом за допомогою оптимізації використання технологічних газів. Технології передбачають:

- використання газгольдерів для всіх побічних газів або інших адекватних систем короткочасного зберігання і зберігання під тиском із метою максимальної утилізації технологічних газів;
- підвищення тиску в газорозподільній мережі, якщо є втрати енергії при спалюванні на свічках, з метою використання великих обсягів технологічних газів, результатом чого буде зростання рівня утилізації;
- збагачення газу технологічними газами з різною теплотворною здатністю для різних споживачів і процесів з метою досягнення прийняттого рівня паливної ефективності. Чим вище необхідна температура технологічного процесу, тим вище необхідна теплотворна здатність газів;
- опалювання технологічними газами нагрівальних печей з метою максимального використання технологічних газів і зниження потреби в покупці природного газу або електричної енергії;
- використання системи з комп'ютерним управлінням для регулювання теплотворної здатності;
- реєстрація витрати коксу і температури відхідних газів;
- адекватний розподіл потужностей установок для утилізації енергії технологічних газів.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

За допомогою застосування вищезазначених технологій можна знизити питоме споживання енергії для виробництва сталі на металургійному заводі з повним циклом.

Ефективність використання енергії можна підвищити за допомогою відповідного контролю горіння і в кінцевому підсумку знизити викиди в повітря.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Питоме споживання енергії залежить від масштабу процесу, якості продукції та типу виробничих установок (наприклад, вакуумна обробка в кисневому конвертері, температура випалу, вид продукції тощо). Кожен завод із повним циклом і його сектор має продукцію різного спектру, конфігурації процесу, стратегію використання сировини тощо, і тому характеризується своїм індивідуальним питомим споживанням енергії. Необхідно також враховувати кліматичні особливості при розгляді питомого споживання енергії.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок Жодних даних не надано.

Довідкова література

[242, Кофлін, 2007] [281, Eurofer, 2007].

2.5.2.3 Технології для підвищення ефективності утилізації тепла

Опис

Деякі потенційні, вбудовані в процес заходи, що використовуються для підвищення ефективності енергії у виробництві сталі за допомогою утилізації тепла, передбачають:

- утилізацію тепла відхідних газів за допомогою теплообмінників та його розподіл або до інших агрегатів металургійного заводу, або в систему районного тепlopостачання (якщо на ділянці є споживачі);
- установку парових котлів або адекватних систем у великих нагрівальних печах (печі можуть покривати частину потреби в парі);
- підігрів повітря для спалювання в печах та інших системах спалювання для економії палива, з урахуванням негативних впливів, тобто підвищення рівня викидів NO_x в газах;
- встановлення паропроводів і трубопроводів гарячої води;
- утилізацію тепла від продуктів, наприклад агломерату;
- за необхідності охолодження сталі використання як теплових насосів, так і сонячних;
- використання котлів-утилізаторів у печах із високою температурою;
- випаровування рідкого кисню й охолодження компресора з метою обміну енергією для стандартних теплообмінників;
- використання газових утилізаційних безкомпресорних турбін для перетворення кінетичної енергії газу, що утворюється в доменній печі, в електроенергію.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Районне тепlopостачання – це безпечний, економічно доцільний спосіб нагрівання, який від споживача не вимагає значного обслуговування.

За допомогою застосування вищезазначених технологій можна знизити питоме споживання енергії для виробництва сталі на заводах із повним циклом. Можна уникнути викидів CO₂ та інших забруднюючих речовин шляхом заміни викопних палив виробництвом енергії для системи районного тепlopостачання.

Важливою перевагою системи районного тепlopостачання є чистота та висока різниця температур циркулюючої води. У такий спосіб можна поєднати виробництво тепла та конкретні технологічні рішення з охолодження.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

В системі муніципального тепlopостачання тепла енергія постачається за допомогою замкненого трубопроводу для опалення будівель і виробництва підігрітої води для технічних потреб. Споживач завжди отримує тепло за допомогою теплообмінників. У кожній будівлі подібна мережа з'єднань, наприклад електричної мережі, газової мережі, системи чистої води та мереж стічних вод.

Системи районного теплопостачання використовуються зазвичай в міських районах країн Північної Європи, Росії та все більше в країнах Центральної Європи. Теплова енергія виробляється в більших містах на великих електростанціях із комбінованим виробленням електричної та теплової енергії (СНР). У деяких населених пунктах тепла енергія виробляється на окремих котельних установках, на яких спалюють певні види палива, мазут, природний газ або біомасу.

Температура води в системі районного теплопостачання регулюється в діапазоні від 75 до 120 °С. Температура зворотної води в мережі знаходиться в діапазоні від 40 до 45 °С.

Специфічними особливостями промислових систем районного теплопостачання є оптимізація та контроль. Коли близько 90 % щорічної потреби в тепловій енергії забезпечується за допомогою вторинного тепла різних процесів, досить складно безперервно розподіляти оптимальні теплові навантаження та контролювати температуру і тиск в інших місцях виробничого підприємства. У разі постачання основної частини теплової енергії в систему районного теплопостачання може виникнути необхідність у резервній системі.

Можливість застосування

Здебільшого метод використовується на всіх металургійних заводах, на яких застосовується подібний спосіб охолодження.

Комбіноване виробництво теплової та електричної енергії можна застосовувати для всіх металургійних заводів, що знаходяться поблизу міських територій із відповідною тепловою потребою. Те ж саме стосується багатьох інших безперервних виробництв.

Питоме споживання енергії залежить від масштабу виробництва, виду товарної продукції, типу виробничої установки і технологічних параметрів процесу (вакуумна обробка в кисневому конверторі, температура випалу, розміри та вага заготовок і виробів тощо). Кожен завод із повним циклом і його сектор має продукцію різного спектру, конфігурації процесу, стратегію використання сировини тощо, і тому характеризується своїм індивідуальним питомим споживанням енергії. Необхідно також враховувати особливості кліматичних умов у районі кожного з розглянутих заводів.

Економічні дані

Найважливішим параметром економії є продаж вторинного тепла на зовнішньому ринку.

Організація системи районного теплопостачання є прикладом вигідного використання вторинного тепла. З цієї причини система виявилася надзвичайно вигідною технологією для заводу з повним циклом Raabe Steel Works в місті Рааге, на березі Ботнічної затоки, Фінляндія. Крім того, вона надала надзвичайно велику перевагу для всієї системи районного теплопостачання, знизивши тариф в місті Рааге для кінцевих споживачів. У цьому районі, в якому використовується система районного теплопостачання, з'явилася нова галузь, що розподіляє вторинне тепло.

Стимули для впровадження

Стимулами для впровадження системи районного теплопостачання є економія природних палив, зниження викидів CO₂ та інших впливів на навколишнє середовище. Стимулами для впровадження комбінованого виробництва теплової та електричної енергії є переваги для навколишнього середовища, поліпшення роботи доменних печей і запобігання високих капіталовкладень.

Приклади установок

На вищезгаданому заводі Marienhutte в м. Грац, Австрія, утилізується за рік близько 40 ГВт-год теплової енергії з електродугової печі (ємністю 35 т), яка подається в систему районного тепlopостачання (яка існує з 2005 року). Районне тепlopостачання використовується також на заводі Ovako Hofors, SSAB, в м. Лулео, Швеція і на агломераційній фабриці компанії Ruukki у Фінляндії.

На металургійному заводі з повним циклом компанії SSAB Lulekraft в м. Лулео, Швеція є установка для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії. З часу пуску протягом 2003 року в місцеву систему районного тепlopостачання було поставлено 12995 ГВт/год гарячої води. Приблизно 4,5 млн т CO₂ мало утворитись, якби та ж сама кількість тепла була вироблена при спалюванні мазуту (з урахуванням утилізації 90 % і питомих викидах 0,0879 т CO₂/ГДж). При тих самих умовах вдалося уникнути викидів 1800 і 600 т NO_x і SO_x, відповідно. Електроенергія, що генерується, забезпечує потреби у виробництві листової сталі компанії SSAB Tunnplåt AB, і при цьому залишається надлишок електроенергії, який можна використовувати в іншому місці. Виробленої теплової енергії вистачає для забезпечення потреб системи районного тепlopостачання в м. Лулео (в якому є 22 000 будинків). Крім того, надлишкова енергія з системи використовується для місцевої установки з переробки біомаси.

Загальні постачання енергії з системи за 2004 рік наведені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10: Приклад установки СНР, на якій виробляють теплову та електричну енергію для населення

Подача палива, ГВт-год		Енергія, що виробляється, ГВт-год	
Газ	2 075	Загальний експорт енергії	1 472
Мазут	82	Гаряча вода в районне тепlopостачання	751
		Експорт електроенергії	613
		Експорт пари	27
		Експорт сухого газу	81
<i>Джерело: [208, Ліндфорс та ін., 2006].</i>			

Компанія Hofors Energy AB у Швеції постачає в цілому 130 ГВт-год енергії для компанії Ovako Hofors і для населення м. Хофорс. Третина цієї енергії постачається у вигляді пари, у той час як інша частина – у вигляді гарячої води. Використання вторинного тепла забезпечує додаткову економію мазуту в розмірі 4 000 м³ на рік, що еквівалентно зниженню для компанії Ovako Hofors умовних викидів CO₂ на 23 000 т на рік.

В результаті співробітництва між компаніями Ovako Hofors та Hofors Energi AB населення м. Хофорс забезпечено системою гарячого водопостачання, що допомогло знизити споживання мазуту в будівлях додатково на 4000 м³ мазуту на рік. Це означає зниження умовних викидів CO₂ приблизно на 11 000 т/рік.

Постачання теплової енергії в систему районного тепlopостачання від компанії Raahen Energia у Фінляндії складає 160 000 МВт-год на рік, що еквівалентно щорічному заміщенню 18 000 т мазуту. Подібна кількість енергії заміщається за допомогою власних видів палива, пари та електроенергії компанії Raahen Steel Works, яку можна використати для виробництва тепла без системи районного тепlopостачання та без утилізації відпрацьованого тепла. Крім того, знижується споживання енергії на металургійних заводах, і з'явилася можливість продавати вторинне тепло енергокомпанії Raahen Energia.

Ще одним прикладом системи районного тепlopостачання є завод компанії Voestalpine Stahl GmbH в австрійському м. Лінц, який постачає 139 ГВт-год на рік.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006] [277, Вісенбергер, 2007] [281, Eurofer, 2007].

2.5.2.4 Насоси і вентилятори із частотно-регульованим приводом

Опис

Аналіз насосів, які використовуються для систем районного теплопостачання в промисловій зоні, показує, що часто насоси працюють безперервно за високої потужності, хоча найчастіше потрібна дуже низька потужність накачування.

Більшість сучасних насосів і вентиляторів можна використовувати із частотно-регульованим приводом, і, тому, вони можуть працювати із заданою швидкістю обертання (числом обертів за хв) для отримання бажаного значення для забезпечення необхідної витрати. Використання насосів і вентиляторів із частотно-регульованим приводом і змінною швидкістю обертання дозволяє краще та швидше коригувати витрати води і відхідних газів відповідно до потреб умов різних процесів. Заходи оптимізації додаткових систем включають:

- повне відділення насосів від живлення мережі, коли вони відключаються;
- заміну наявних насосів насосами меншої потужності з високим ККД;
- установку двигунів із високою ефективністю.

Максимальна економія енергії досягається при оптимізації споживання енергії в цілому, а не з окремим обліком індивідуальних компонентів системи. Тому необхідний системний аналіз, включаючи компоненти в насосній системі, наприклад, привід із регульованою частотою обертання, електродвигун, коробку швидкостей, насос і трубопроводи, а також інструменти і регулююче устаткування. Повинні бути розроблені заходи для оптимізації споживання енергії індивідуально, для кожної насосної системи, і вони повинні оцінюватися з економічної точки зору. Важливо зробити аналіз необхідних параметрів (тиску, витрати, температури, рівня тощо), і компонентів кожної окремої системи. Точне налаштування всіх компонентів та їх взаємодії також входить до плану оптимізації. Результатом цих змін є значна економія електроенергії, а також менші витрати на обслуговування та менші порушення виробничого циклу.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Ці зміни приводять до значної економії електричної енергії, а також до менших витрат на обслуговування та менших порушень виробничого процесу.

Заходи ефективності також відіграють значну роль у послабленні змін клімату. У шведській компанії SSAB Oxelösund AB (виробник високоміцної та зносостійкої сталі) економія електроенергії на річній основі становить 3,2 ГВт-год. З погляду зниження викидів CO₂ це еквівалентно 250 т/рік.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія може бути застосована до води для очищення відхідних газів, охолоджуючої води котла-утилізатора і фурми кисневого конвертера, витяжного вентилятору димових газів та аналогічного обладнання, наприклад, у киснево-конвертерному процесі з продувкою зверху. У разі, коли надійність насосів особливо важлива для безпеки процесу, не можна використовувати насоси з частотно-регульованим приводом.

Оскільки технологія насосної системи – це міждисциплінарна технологія, яка широко використовується у промисловості та виробництві, багато різних компаній можуть отримати користь від цього досвіду.

Економічні дані

Заходи оптимізації часто можуть знизити споживання енергії в системах, що використовують електродвигуни, на 30 % і більше. Зниження витрат на споживання електроенергії зазвичай означає, що інвестиції окупаються протягом 2-3 років, з ефективністю інвестицій від 30 до 59 %.

Збільшується також строк експлуатації насосної системи з оптимізацією споживання енергії, і зростає коефіцієнт використання обладнання. Зниження механічного навантаження також знижує витрати на обслуговування.

Економія енергії та ефективність параметрів для системи районного тепlopостачання компанії Ulm GmbH, Німеччина, включає:

- економію електроенергії: 64 %, або 325 000 кВт-год на рік;
- зниження витрат: 32 500 євро на рік;
- інвестиції: 67 000 євро;
- період окупності: 2,1 роки;
- прибутковість інвестицій (ROI): 48 %.

Для компанії SSAB Oxelösund, Швеція, загальна потенційна економія перевищує 55 000 євро на рік тільки завдяки скороченню споживання енергії (при ціні 0,033 євро за кВт-годину). У цьому випадку економія може бути досягнута без інвестицій. Можна отримати більшу економію енергії, але в цьому випадку лише після інвестицій.

Стимули для впровадження

Стимулами є переважно економічні міркування.

Приклади установок

Технологія застосовується компанією SSAB Oxelösund AB, Швеція.

Система районного тепlopостачання з використанням котлів-утилізаторів вторинного тепла компанії Ulm GmbH в м. Ульм, Німеччина, допомагає забезпечити пікові навантаження в долині Дунаю поблизу підприємства та постачає теплову енергію в житловий квартал Вібінген м. Ульм.

Довідкова література

[34, dena 2007] [208, Ліндфорс та ін., 2006]

2.5.3 Зниження викидів NO_x на електростанціях, що опалюються технологічними газами

В принципі, для зниження викидів NO_x можна використовувати як первинні, так і вторинні заходи. Вторинні заходи впливають як на термічні, так і на паливні NO_x.

2.5.3.1 Зниження викидів NO_x за допомогою основних заходів

Опис

Основні (первинні) заходи можуть допомогти знизити викиди тільки термічних NO_x. Наступні первинні заходи можна застосовувати окремо або в поєднанні:

- використання пальників із низькими викидами NO_x;
- рециркуляцію димових газів;
- вдування повітря у верхній повітряний простір для залишкових продуктів спалювання з використанням субстехіометричних пальників (зі збідненням повітря в суміші з паливом);
- вдування відновлювального палива;
- ступінчасту подачу повітря;
- ступеневе спалювання палива.

Всі ці заходи знижують температуру спалювання і парціальний тиск кисню. Результатом є значне зниження викидів NO_x. Температура спалювання залежить від теплотворної здатності газу, що подається. Шляхом змішування більшої кількості димових газів (без горючих компонентів) із технологічним газом температура знижується.

Встановлення пальників із низькими викидами NO_x і рециркуляцією димових газів

Це – один з найефективніших заходів зниження викидів, які повинні також використовуватися при ретельно узгоджених способах спалювання.

Використання пальників із низькими викидами NO_x і додатковою зовнішньою рециркуляцією димових газів допомагає досягти середньодобового значення викидів 80-90 мг/нм³ термічних NO_x. При спалюванні коксового газу разом із природним газом (без доменного газу) середньодобове значення досягає 90 мг/м³.

При встановленні пальників із низькими викидами NO_x і додатковою зовнішньою рециркуляцією димових газів можливе зниження викидів на 40 %, хоча тільки за умови використання пальників із низькими викидами NO_x можна досягти їх зниження на 30 %, а за умови використання тільки рециркуляції димових газів зниження викидів NO_x сягає 15 %.

Внаслідок додавання термічних і паливних NO_x середньодобове значення загальних викидів NO_x сягатиме 210 мг/нм³ за умови використання цих первинних заходів і при звичайному складі коксового газу.

На викиди NO_x впливають також інші параметри процесу типу:

- навантаження на площу перетину печі (часткове навантаження/повне навантаження);
- додаткове спалювання доменного газу в той самий час (знижена температура горіння);
- вдування повітря у верхній повітряний простір.

Вдування повітря у верхній повітряний простір як додатковий захід

Вдування повітря у верхній повітряний простір використовується додатково при спалюванні залишкового палива до встановлених пальників із низькими викидами NO_x та рециркуляцією димових газів, але на наявних об'єктах це менш ефективно.

Вдування повітря у верхній повітряний простір як альтернативний захід

Ще одним варіантом може бути поєднання пальника з низькими викидами NO_x та рециркуляції димових газів. Інший варіант спалювання залишкових димових газів – використання одного субстехіометричного пальника і подача повітря, необхідного для подальшого спалювання. Порівняно з першим варіантом NO_x у викидах знижується тільки на третину. Крім того, можуть виникнути технічні проблеми, коли в піч стійко вдуває повітря для повного доспалення димових газів зі зростанням концентрації CO поблизу стінок, що призводить до корозії.

Вдування відновлювального палива

Ще однією можливістю зниження викидів NOx є вдування відновлювального палива, наприклад суміші відхідних газів, що рециркулюють, і природного газу, між рівнем останнього пальника і верхнім повітряним простором. Але це не ефективно за умови використання пальників із низькими викидами NOx.

Ступінчаста подача повітря

Навколо факела утворюються кілька зон спалювання з різною кількістю кисню. Внаслідок цього зона спалювання стає більше і час перебування у факелі зростає. Ступінчаста подача повітря може проводитися безпосередньо в пальник або в пічний простір.

Ступеневе спалювання палива

Подібно до ступінчастої подачі повітря, паливо вводиться в пічний простір зазвичай у два етапи. Результати щодо зниження викидів NOx є схожими.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

За результатами застосування цих заходів можна досягти ефективності зниження викидів NOx, яка вказана в табл. 2.11.

Таблиця 2.11: Ефективність зниження викидів NOx від первинних заходів

Первинні заходи, що застосовуються	Ефективність зниження викидів NOx, %
Пальники з низьким рівнем викидів NOx	28
Рециркуляція димових газів	13
Вдування повітря у верхній повітряний простір для залишкового спалювання із субстехіометричними пальниками	23
Вдування відновлювального палива	13
Пальники з низьким рівнем викидів NOx і рециркуляція димових газів	38

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Первинні заходи або ті, що інтегровані в технологічний процес, зокрема установка пальників із низькими викидами NOx, можуть застосовуватись у нових або повністю модернізованих великих спалювальних установках у чорній металургії.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Електростанції, про які йшлося: Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц Австрія. TKS, Хукінген-Дуйсбург, Німеччина.

Довідкова література

[140, Eurofer, 2009] [281, Eurofer, 2007] Більше інформації про зниження викидів NOx за допомогою первинних заходів можна знайти в BREF для великих спалювальних установок (LCP) [282, ЄК, 2006].

2.5.3.2 Зниження викидів NOx за допомогою допоміжних заходів

2.5.3.2.1 Зниження викидів NOx за допомогою селективного каталітичного відновлення (SCR)

Опис

Аміак вдувається в димові гази і перетворює NOx на молекулярний азот (N₂) та воду (H₂O). Необхідна температура вище 320 °C для запобігання появи амонійних солей, які блокуються каталітичним перетворювачем. На рис. 2.16 наведена типова конфігурація каталітичного перетворювача NOx в потоці.

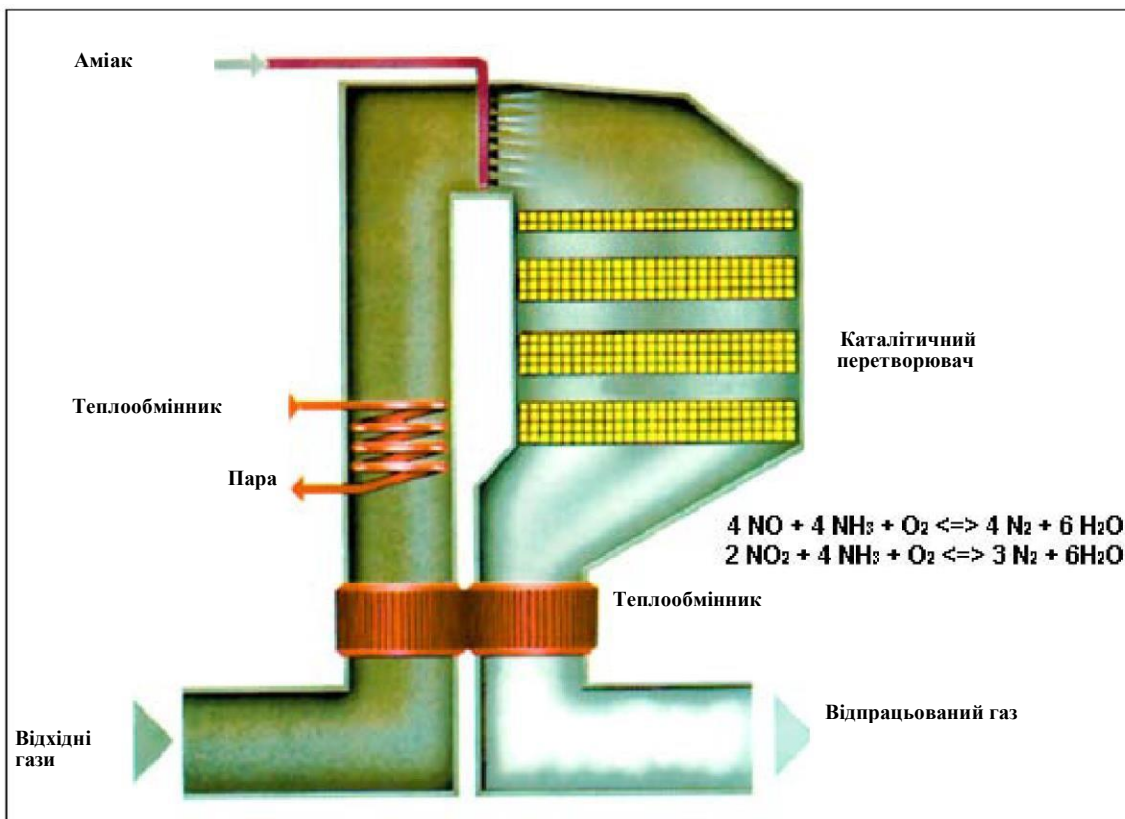


Рис. 2.16. Каталітичний перетворювач NOx

Залежно від умов експлуатації є три варіанти розміщення каталітичного перетворювача в установці для:

- високого вмісту пилу;
- низького вмісту пилу;
- з розміщенням у хвостовій частині.

У випадку варіанту з високим вмістом пилу каталітичний перетворювач встановлюється між економайзером та повітрянагрівачем. Необхідна температура каталітичної реакції знаходиться в діапазоні від 320 до 400 °C.

Внаслідок широкого діапазону умов експлуатації та параметрів газу досягнення стабільної температури на установках металургійних заводів із повним циклом не представляється можливим.

Усі гази повинні бути очищені приблизно за 350 °С. Для цього варіанту потрібно багато місця внаслідок того, що гази проходять через каталітичний перетворювач за межами пічного простору і повинні повернутися назад. Зазвичай концентрація NO_x (близько 100 мг/Нм³) низька, і тому важко змішувати NH₃ з газами без стаціонарного змішувача. Крім того, в холодних частинах повітрянагрівача конденсуюча сірка буде перетворюватися на триоксид сірки (SO₃), який може блокувати вихід підігрівача. Ще одним недоліком є високий вміст пилу.

У варіанті з низьким вмістом пилу, а також у варіанті з розміщенням у хвостовій частині гази залишають технологічний процес після пиловловлювача (наприклад, електрофільтру) тільки за температури 50-130 °С. Відхідні гази майже очищені від пилу, але їх потрібно підігріти перед тим, як вони надійдуть до каталітичного перетворювача. Це можна зробити за допомогою систем нагріву, додаткових пальників або пари, а результатом є зниження економічної ефективності.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Як показано у табл. 2.12, за допомогою способу SCR викиди NO_x у відхідних газах можна знизити до концентрацій нижче 80 мг/нм³ як середньорічного показника.

Таблиця 2.12: Експлуатаційні параметри для п'яти процесів на установках, що працюють на газі з використанням технології SCR

Виробничі об'єкти	NO _x (мг/нм ³)		
	2005	2006	2007
Енергоблок 3	28	21	18
Енергоблок 4	36	24	25
Енергоблок 5	29	17	23
Енергоблок 6	71	76	66
Шини електростанції	69	66	46
Газова і парова турбіна (¹)	15	16	17
⁽¹⁾ Базовий вміст O ₂ 15 %. Примітка: — Середньорічні значення. — При вмісті O ₂ : 3 %. <i>Джерело:</i> [32, Компанія "Voestalpine", м. Лінц, 2008].			

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

SCR можна застосовувати на нових і старих підприємствах. Для того, щоб не було міжсередовищних ефектів (споживання енергії та хімічних речовин, додаткові інвестиційні витрати), технологія SCR повинна поєднуватися з первинними заходами.

Вторинні заходи щодо зменшення NO_x можуть виявитися складними в контексті переобладнання наявних установок. Зокрема, реалізація для об'єкта SCR вимагає достатнього простору.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц Австрія.

TKS, Хукінген-Дуйсбург, Німеччина.

Довідкова література

[32, Компанія "Voestalpine", м. Лінц, 2008] [140, Eurofer, 2009] [277, Вісенбергер, 2007]

1

Більше інформації про SCR можна знайти в BREF для великих спалювальних установок (LCP) [282, ЄК, 2006], BREF для спалювання відходів (WI) [285, ЄК, 2006], і в BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію (CLM) [212, EC CLM BREF, 2009]

2.5.3.2.2 Зниження викидів NO_x за допомогою неселективного каталітичного відновлення (SNCR)

Опис

Іншим способом для зниження викидів NO_x є неселективне каталітичне відновлення (SNCR). Для нього не потрібен каталізатор, але необхідний вищий рівень температури, від 900 до 1 000 °C. Інвестиційні потреби для SNCR зазвичай нижче, ніж для SCR (особливо, коли температура відхідних газів досить висока), але споживання відновлювальних агентів (наприклад, NH₃ у воді) вище внаслідок утворення термічних NO_x в цьому температурному діапазоні. Впорскування відновлювальних агентів повинне проводитися на різних стадіях, а саме при досягненні діапазону оптимальних температур. Це ускладнює регулювання і вимагає ретельного управління процесом. Цей процес може бути складно проконтролювати і до нього слід підходити ретельно.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Жодних даних не надано.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Жодної інформації про застосування SNCR на електростанціях, що опалюються газом, надано не було.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Жодних даних не надано.

Довідкова література

[140, Eurofer, 2009]. Більше інформації про SNCR можна знайти в BREF для великих спалювальних установок (LCP) [282, ЄК, 2006], BREF для спалювання відходів (WI) [285, ЄК, 2006], і в BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію (CLM) [212, EC CLM BREF, 2009]

2.5.4 Управління матеріалами

2.5.4.1 Технології для поліпшення використання скрапу (брухту)

Опис

Для електродугового і киснево-конвертерного процесів потрібні різні види брухту чорних металів у відповідності з різними рецептурами та якістю сталі. З цієї причини покупний брухт або той, що створили на підприємстві та який піддається рециклінгу, повинні зберігатися окремо. Брухт кваліфікується на основі його ваги, розміру і даних хімічного аналізу. На терміналі металобрухту повинні бути окремі бункери для кожного виду брухту.

Є кілька технологій, які можуть допомогти операторам відбракувати брухт, який не придатний для переробки внаслідок вмісту в ньому важких металів або інших небажаних або небезпечних речовин. Деякі з цих технологій можуть допомогти операторам у визначенні характеристик брухту, який використовується. Жорсткість визначення цих характеристик важлива для подальших операцій (наприклад, плавлення в електродуговій печі, кисневому конвертері). Нездатність провести адекватну перевірку і відповідні процедури може стати причиною несподіваних параметрів викидів.

Деякі технології для поліпшення використання брухту передбачають:

- визначення критеріїв прийому, придатних для виробничої спеціалізації в замовленнях на закупівлі брухту;
- наявність належної інформації про склад брухту за допомогою ретельного моніторингу походження брухту: в особливих випадках у визначенні складу брухту може допомогти тестування плавлення;
- наявність адекватних об'єктів для прийому і перевірки поставок;
- наявність процедур для виключення брухту, який не придатний для використання на виробничій установці;
- зберігання брухту відповідно до різних критеріїв (наприклад, розмір, легуючі елементи, ступінь чистоти); зберігання брухту з потенційними викидами забруднюючих речовин у ґрунт на непроникній поверхні з системою дренажу та збору; застосування покриття, яке може знизити необхідність в такій системі;
- розміщення разом партій брухту для різних плавок з урахуванням інформації про склад, для того, щоб використовувати найбільш придатний брухт для сорту стали, яка буде виплавлятися (це важливо в деяких випадках для запобігання появи небажаних елементів, а в інших випадках завдяки цьому можна скористатися перевагами легуючих елементів, які знаходяться в брухті та необхідних для виплавлення сталі необхідного сорту);
- негайне повернення всього брухту, що утворюється усередині підприємства, на склад для рециклінгу;
- наявність оперативного плану управління;
- сортування брухту для мінімізації ризику потрапляння небезпечних або неметалевих забруднюючих речовин, особливо РСВ, масел і жирів. Це зазвичай робить постачальник брухту, але оператор повинен перевіряти всі партії брухту. Тому, наскільки це досяжно, матеріал слід перевіряти на предмет забруднюючих речовин. Може знадобитись оцінка невеликих кількостей пластмас (наприклад, у компонентах із пластиковим покриттям);
- контроль радіоактивності (див. п. 2.3.1));
- видалення компонентів, в яких міститься ртуть, є вимогою Директиви про транспортні засоби, що вийшли з експлуатації (2000/53/ЄК), та Директиви про відходи електротехнічного та електронного обладнання (WEEE) (2002/96/ЄК). Це обов'язок компаній із переробки брухту. Наступні два заходи можуть сприяти виконанню Директиви:
 - документальне підтвердження відсутності ртуті в контрактах на закупівлю брухту;
 - відмова від брухту, в якому містяться явні електронні компоненти і блоки.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Наявність інформації про якість скрапу (брухту) підвищує можливість прогнозування очікуваних викидів. Виключення ртуті повинно знизити викиди ртуті.

За умови використання деяких із перерахованих способів максимальна кількість брухту, що використовується в кисневих конвертерах, зросла з 200 до 250 кг/т сталі. Вищий ступінь використання брухту в кисневих конвертерах веде до загального зниження забруднення навколишнього середовища та підвищення енергоефективності.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано

Можливість застосування

Така практика, в принципі, може бути застосована до всіх кисневих конвертерів та електродугових печей, які повинні класифікувати якість брухту на основі ваги і хімічного аналізу.

Економічні дані

Повний рециклінг всього брухту, що утворюється на підприємстві, а також підвищення загального надходження брухту приводить до економії витрат. Зростання кількості виробленої сталі означає зниження кількості слябів, які купуються, і підвищує рентабельність.

Стимули для впровадження

Деякі згадані тут методи можуть допомогти збільшити виробництво сталі, заощадити витрати і зменшити вплив на навколишнє середовище, що власне і є стимулами для впровадження.

Приклади установок

Ruukki Production, завод в м. Рааге, Фінляндія.

Велика частина описаних способів стосується звичайної практики в європейських країнах для киснево-конвертерного та електродугового виробництва сталі.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006] [240, УКЕА, 2004] [278, Ж-П. Біра та ін., 2002] [260, Німеччина, 2007] [273, Eurofer, 2007] [280, Агуадо-Монсоне, 2007] [394, Колетта та ін., 2002]

2.5.4.2 Технології для зниження розсіяних викидів від зберігання матеріалів, поводження з ними, транспортування та їхнього обігу**Опис**

BREF для викидів від зберігання (EFS) [283, ЄК, 2006] охоплює багато таких областей, і ми наполегливо рекомендуємо читачам звернутися до цього документа за подробицями.

На заводах із повним циклом та в електросталеплавильних цехах розсіяні викиди можуть з'явитися в системах розвантаження, зберігання, обігу і транспортування.

Вторинні викиди пилу з'являються від переміщення пилових матеріалів із місць зберігання або в місцях розміщення, зваженого пилу від шосе, що утворюється внаслідок руху транспорту і забруднень від коліс транспортних засобів та шасі.

Розсіяні викиди можуть бути наслідком самих технологічних процесів. Джерела розсіяних викидів із низьким рівнем, окрім викидів від зберігання, поводження з матеріалами та транспортування матеріалів, можна виявити в різних секторах. Наприклад на ділянці переробки відходів викиди утворюються внаслідок недостатньої екстракції протягом дроблення, просіювання, завантаження, плавлення, розливання. Ці розсіяні викиди зазвичай називають вторинними відхідними газами.

Ключові технології для мінімізації розсіяних викидів пилу на підприємствах чорної металургії, що виникають від джерел, перерахованих вище, наведені нижче.

Звичайні технології повинні передбачати:

- роботу металургійного підприємства в умовах системи управління охороною навколишнього середовища (EMS). В EMS металургійного заводу повинен бути розроблений відповідний план дій щодо розсіяного пилу;
- пропозиції про тимчасове припинення деяких робіт, коли вони ідентифіковані як джерела викидів PM_{10} , що стають причиною високих концентрацій у навколишньому середовищі. Необхідно мати достатню кількість коштів для контролю PM_{10} , з відповідними даними про напрямок та швидкість вітру, для можливості проведення триангуляційної зйомки та ідентифікації ключових джерел тонкодисперсного пилу.

Заходи для запобігання викидів пилу протягом поводження з безтарними сировинними матеріалами та їх транспортування:

- орієнтація довгих складів у напрямку переважаючого вітру;
- установка вітрозахисних бар'єрів або використання природних рельєфів для забезпечення укриття;
- контроль вмісту вологості матеріалів, що постачаються;
- зосередження особливої уваги на процедурах для запобігання небажаному поводженню з матеріалами і довгим відкритим спускам;
- адекватна герметизація конвеєрів і бункерів тощо;
- використання розпилення води для зменшення пилу, з такими добавками як латекс (за необхідності);
- жорсткі стандарти обслуговування обладнання;
- високі стандарти підтримки порядку, зокрема очищення доріг та режим гальмування на дорогах;
- використання мобільного та стаціонарного обладнання для вакуумного очищення;
- зменшення або видалення пилу і використання для очищення рукавних фільтрів для придушення значних джерел утворення пилу;
- застосування машин для прибирання вулиць зі знизеними викидами для проведення звичайного очищення доріг із твердим покриттям.

Технології для діяльності, пов'язаної з постачанням, зберіганням і утилізацією матеріалів, передбачають:

- загальне огороження розвантажувальних бункерів у будівлях, оснащених витяжкою повітря з фільтрами для пильних матеріалів, крім того бункери повинні бути оснащені пилозатримуючими перегородками і розвантажувальними решітками в поєднанні із системою видалення й очищення від пилу;

- обмеження висоти спусків, якщо можливо, максимум до 0,5 м;
- використання розпилення води (переважно із застосуванням рециркульованої води) для зменшення (придушення) пилу;
- за необхідності, оснащення проміжних бункерів фільтрувальними установками для контролю вмісту пилу;
- використання повністю закритих пристроїв для утилізації матеріалів з бункерів;
- за необхідності, зберігання брухту в місцях із твердим покриттям для зниження ризику забруднення ґрунту (з використанням своєчасного постачання для мінімізації розміру складу а, отже, й викидів);
- мінімізація порушень на рудних складах;
- обмеження висоти і контроль загальної форми рудних складів;
- використання зберігання всередині будівлі або всередині корпусу, а не на зовнішніх складах, якщо це можливо;
- створення захисту від вітру за допомогою природного рельєфу, земляних валів або висаджування високої трави та вічнозелених дерев у відкритих місцях. Це приводить не тільки до естетичних переваг, але також і до того, що рослинність може вловлювати і поглинати пил без заподіяння довготермінової шкоди;
- гідропосів трави на відвалах шлаку та відвальних купах;
- озеленення ділянок на невикористаних територіях із верхнім шаром ґрунту і посадкою трави, чагарнику та іншої ґрунтової рослинності, яка повинна мінімізувати підняття пилу із землі із цих територій;
- зволоження поверхні з використанням міцних пилозв'язуючих речовин;
- покриття поверхонь брезентом або покриття (наприклад, латексом) складів для мінімізації підняття пилу;
- використання майданчика з підпірними стінками для зменшення площі відкритої поверхні;
- за необхідності, заходи можуть включати використання непроникних поверхонь із бетоном і дренажем.

За умов поставки палива і сировини морем, коли викиди пилу можуть бути значними, деякі технології передбачають:

- використання операторами суден автоматичного розвантаження або закритих розвантажувачів безперервної дії. Пил, що утворюється за умови використання розвантажувачів грейферного типу, слід мінімізувати за допомогою поєднання прийомів, що забезпечують адекватний вміст вологи у матеріалах, що постачаються, шляхом мінімізації висоти схилів і за допомогою використання водяного розпилення або водного туману в гирлі воронки розвантажувального пристрою;
- запобігання використанню морської води під час розпилювання руд або флюсів, так як це призводить до засмічення електрофільтру агломераційної установки хлоридом натрію. Додаткове надходження хлору в сировинні матеріали може також призвести до підвищення викидів (наприклад, PCDD/F) і буде заважати рециркуляції пилу від фільтрів;
- зберігання порошкоподібного вугілля, вапна і карбїду кальцію в герметичних контейнерах. Їх пневмотранспортування або передача повинні здійснюватися в заварених мішках та їх необхідно тримати сухими.

Методи розвантаження потягів та вантажівок включають:

- за необхідності (у разі викидів пилу) використання спеціалізованого розвантажувального обладнання закритої конструкції.

Для матеріалів, чутливих до віднесення вітром, які можуть стати причиною значних викидів пилу, деякі методи включають:

- використання перевантажувальних пунктів, вібраційних сит, дробарок, воронки тощо, які можуть бути повністю закриті. Викиди повинні відводитися на установку з рукавним фільтром;
- використання централізованих або місцевих систем вакуумного очищення. Не рекомендується для видалення змивати розсіпані матеріали. Це спрощує рециклінг сипучих матеріалів.

Технології для поводження зі шлаком і його переробки передбачають:

- утримання відвалів гранульованого шлаку вологими, адже сухий шлак доменної печі та шлаки сталеплавильних агрегатів можуть стати причиною зростання утворення пилу;
- використання закритого обладнання для дроблення шлаку, оснащеного ефективними засобами видалення пилу та рукавними фільтрами.

Технології для поводження із бруктом передбачають:

- забезпечення умов для зберігання брухту на ділянці покритим і/або на бетонній підлозі для мінімізації підйому пилу, що викликається рухом транспортних засобів.

Технології, що враховуються при транспортуванні матеріалів, передбачають:

- мінімізацію точок доступу від шосе загального користування;
- використання обладнання для очищення коліс для запобігання переносу бруду і пилу на дороги загального користування;
- застосування твердих поверхонь для автомобільних доріг із використанням бетону або асфальту для мінімізації утворення пилових хмар під час транспортування матеріалів та очищення доріг;
- обмеження руху транспортних засобів для певних маршрутів за допомогою огорож, канав або валів із повторно переробленого шлаку;
- зволоження запорошених маршрутів водними струменями, наприклад при операціях із поводження зі шлаком;
- забезпечення того, щоб транспортні засоби не були переповнені з метою запобігання будь-яким витокам;
- забезпечення того, щоб транспортні засоби були покриті чохлами для укріття матеріалу, що перевозиться;
- мінімізацію кількості перевезень;
- використання закритих або накритих конвеєрів;
- використання трубчастих конвеєрів, коли це можливо, для мінімізації втрат матеріалу при розвантаженні його з однієї стрічки на іншу;
- технології належної практики для транспортування гарячого металу і маніпулювання ковшами;
- знепилювання пунктів перевалки конвеєрів.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Екологічні переваги визначаються рівнем зниження викидів пилу на етапах зберігання, використання, транспортування і змішування матеріалів, пов'язані із запобіганням викидів пилу.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Жодних даних не надано.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Всі металургійні підприємства Сполученого Королівства

Довідкова література

[31, Кофлін, Р., 2009] [165, VDI/DIN, 1999] [240, UKEA, 2004] [283, ЄК, 2006]

2.5.4.3 Технології для регулювання скидів у водні об'єкти від зберігання, обігу та змішування матеріалів**Опис**

Дощовий стік із відкритих територій, але особливо з місць складання руди, вугілля і сировинних матеріалів містить зважені тверді частинки. Цей стік дощової води необхідно перехоплювати і видаляти зважені тверді частинки за допомогою осадження або інших способів. Повинні бути прийняті рішення щодо моніторингу якості скидів у водні об'єкти від території зберігання і змішування, де такі скиди можуть відбуватися поблизу потенційно незахищених ділянок.

Території для переміщення і зберігання покупного брухту є потенційними джерелами забруднених стоків внаслідок вилуговування нафтопродуктів і хімічних речовин дощовою водою. Брухт повинен зберігатися на твердій непроникній поверхні, і має бути належна дренажна система, включаючи уловлювач для перехоплення перед скиданням, якщо тільки не буде доведено, що ризик для навколишнього середовища буде дуже малий (наприклад, зберігання чистого брухту).

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Зниження скидів у водні об'єкти є екологічною перевагою для таких технологій.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Жодних даних не надано.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Всі металургійні підприємства Сполученого Королівства.

Довідкова література

[240, UKEA, 2004]

2.5.4.4 Спеціалізовані установки для переробки відходів (рециклінгу) з високим вмістом заліза

2.5.4.4.1 Піч шахтного типу OxyCup®

Опис

Блокова установка OxyCup® складається з трьох модульних робочих елементів: установки для виробництва цегли, установки для складання шихти, а також печі шахтного типу OxyCup®. Процес починається з виготовлення цегли і закінчується постачанням рідкого металу на сталеплавильний завод. Для виробництва цегли шлак і пил з установок для знепилювання, які містять вуглець, залізо й оксид заліза, повинні брикетуватися разом з іншими грудкуватими залізовмісними матеріалами і коксом. Брикетування – це холодний процес, при якому сполучна речовина і вода, а також коксовий дріб'язок додаються до дрібних фракцій, пресуються до утворення брикетів, сушаться і тверднуть. Цеглини, одержані без випалу та з властивостями самовідновлення, завантажуються у верхню частину шахтної печі, відновлюються та розплавляються до рідкого чавуну. Рідкий метал і шлак розливаються з печі у вигляді кінцевої продукції.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Зовнішня переробка або полігонне депонування в більшості випадків замінюються комплексним рециклінгом у печі шахтного типу OxyCup®. Ще однією перевагою цього методу є його схожість із об'єктами вихідного виробництва, що дає можливість включати технологічні гази та шлак до інфраструктури блокової установки.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Піч шахтного типу ОхуСур® в районі Хамборн м. Дуйсбург, Німеччина, виробляє 170 000 т гарячого металу на рік.

Можливість застосування

Піч шахтного типу ОхуСур® особливо підходить для металургійних заводів із повним циклом. Цей новий процес можна застосовувати як для переробки всіх матеріалів, типу шматків шлаку, так і для тонкодисперсного пилу та шлаку з достатнім потенціалом для рециклінгу з погляду вмісту в них вуглецю і заліза.

Економічні дані

Установка ОхуСур® оптимально об'єднує захист навколишнього середовища з економічною ефективністю та робить важливий внесок до сталого розвитку, щоб покращити ефективність використання ресурсів.

Стимули для впровадження

Стимулами для впровадження є підвищена екологічна й економічна ефективність внаслідок різкого зростання цін на сировинні матеріали, зовнішню переробку, а також розміщення відходів.

Приклади установок

Компанія Thyssen Krupp Stahl, район Хамборн, м. Дуйсбург, Німеччина.

Довідкова література

[6, Фолькхаузен, В., 2008] [10, Кесслер, К., 2005] [12, VDEh 2006]

2.5.4.4.2 ДК процес

Опис

Процес ДК включає в себе агломераційну установку і доменну піч. Він відрізняється від звичайного процесу виробництва чавуну якістю сировинних матеріалів, що використовуються, тобто для них потрібна інша попередня обробка. Більше 80 % сировинних матеріалів для процесу ДК складаються з пилу та шлаків від доменних печей і кисневих конвертерів, а також прокатної окалини. Крім того, можна використовувати багато інших відходів з високим вмістом заліза.

Першим кроком у підготовці сировинних матеріалів є їх спікання. У цьому процесі пил, шлами та прокатна окалина брикетуються для підготовки як шихта для доменної печі. При цьому брикетуванні тонкодисперсний матеріал змішується з вапном та коксовим дріб'язком і шарами викладається на обертову агломераційну стрічку. Газовий пальник в горні підпалює коксовий дріб'язок у верхньому шарі. Після підпалу фронт горіння (з температурою вище 1300 °C) рухається вниз через шар шихти завдяки створенню тиску. Процес спікання завершується, коли фронт горіння досягає дна шару наприкінці агломераційної стрічки. Потім агломерат видаляється і направляється до охолоджувача.

Після цього агломерат разом із коксом як відновник у доменній печі переробляється на спеціальний ливарний чавун. Рідкий чавун розливається у вигляді чушок і продається ливарним цехам по всьому світу. Внаслідок високого вмісту цинку в сировинних матеріалах, що використовуються в процесі ДК (в середньому 2-3 %), шлами, що очищуються з доменного газу, після мокрого газоочищення утилізуються у вигляді концентрату чистого цинку, який використовується в цинковій промисловості.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Процес ДК використовується з початку 1980-х років, коли з'явилися установки, адаптовані до переробки відходів металургійних заводів.

З того часу більше 5 млн т матеріалів відходів було перероблено, що зробило значний внесок у захист навколишнього середовища та ефективне використання ресурсів. Доказом високої цінності процесу є той факт, що менше ніж 4 % матеріалів утилізованих відходів необхідно депонувати на полігоні.

Міжсередовищні наслідки

На стадії агломерації відбуваються викиди PCDD/F у газах. У зв'язку із цим вони проходять кілька стадій очищення.

Цинк, луги і свинець негативно впливають на роботу доменної печі, а тому їм слід приділяти особливу увагу. Вони зумовлюють підвищене споживання коксу, утворення настилу та підвищують знос вогнетривів.

Експлуатаційні дані

- переробка відходів: 500 000 т/рік;
- виробництво чавуну: 300 000 т/рік;
- виробництво доменного шлаку: 120 000 т/рік;
- виробництво концентрату цинку: 20 000 т/рік.

Можливість застосування

Процес ДК можна використовувати для переробки пилу та шлаків від кисневих компресорів і доменних печей. Крім того, можна утилізувати прокатну окалину та інші залізозмісні відходи. Вміст цинку може доходити до 10 % (в середньому 2-3 %).

Економічні дані

Використання чавуну в ливарній промисловості, а також цинкового концентрату в цинковій промисловості гарантує високу додану вартість і довгострокове використання продукції, що створюється. Полігонне депонування замінюється рециклінгом у процесі ДК.

Стимули для впровадження

Запобігання депонування та сприяння рециклінгу відходів заліза та цинку є стимулами для впровадження.

Приклади установок

DK Recycling und Roheisen GmbH, м. Дуйсбург, Німеччина.

Довідкова література

[8, Ендеманн, Г. 2008] [12, VDEh 2006] [17, Хілшман, К. Та Сассен, К.-Дж. 2006]

2.5.4.4.3 Процес рідкофазного відновлення

Опис

Пірометалургійне рідкофазне відновлення металів із оксидних опадів вимагає відновлення відповідних оксидів (зазвичай із використанням вуглецю як відновника) з подальшим плавленням для відділення металу від інших шлакоутворюючих компонентів.

Є два різних процеси (технологія Primus® і процес Redsmelt®), які описані нижче.

Технологія Primus® використовує двостадійний процес, який складається з комбінації багатоподової печі (MHF) (установка для попереднього відновлення Primus®), призначеної для сушіння, нагрівання і початкового відновлення з наступною передачею до електродугової печі (EAF) (плавильний блок Primus®). Це дає змогу провести повне відновлення заліза й отримати рідкий метал із утворенням шлаку і заключним видаленням цинку.

Така технологія дає можливість переробляти всі звичайні відходи від плавлення чавуну та сталі, які зазвичай не можна піддавати рециклінгу в наявних установках, такі як пил від електродугової печі (EAF), шлами від доменної печі, сталеплавильні шлами і маслянисті шлами з прокатною окалиною.

У багатоподовій печі (MNF) суміш відходів (попередньо гранульованих, якщо вони дуже дрібнозернисті) і вугілля завантажується зверху. Обертові штанги перемішують і транспортують завантаження, яке падає на під, де воно сушиться, підігрівається і піддається попередньому відновленню за подачі зустрічного потоку газу.

Вуглець для відновлення та енергія для процесу повністю забезпечуються завдяки вугіллю з високою летючістю.

У наступний плавильний блок (спеціально спроектована EAF) надходить по жолобу гаряча шихта в міжелектродний простір. В електричному плавильному агрегаті відбувається повне відновлення, плавляться чавун та шлак, і досягається повне видалення цинку. Цинк і свинець переходять у гази та утилізуються як концентрат оксиду цинку, який легко реалізується. Залізо, що міститься в шихті, відновлюється до рідкого чавуну або розливається у форму. Добутий шлак, подібний до доменного шлаку, можна використовувати для дорожнього будівництва.

У процесі Redsmelt® залишки гранулюють разом із вуглецевим відновлювачем (антрацит або вугілля з низьким вмістом летких речовин), піддають попередньому відновленню в карусельній печі (RHF), а потім гаряча шихта прямує до електродугової печі для плавлення.

Гранули однорідно розподіляються на обертовому поді в тонкому шарі та переробляються протягом одного обороту печі, за умови використання газових пальників для подачі енергії. Після цієї печі попереднього відновлення також знаходиться електрична плавильна установка.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

За допомогою процесу досягається повне відновлення заліза, цинку та свинцю з отриманням шлаку, який можна використовувати для дорожнього будівництва, що допомагає уникнути полігонного депонування цих залишків.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Два типи печей для попереднього відновлення (MHF і RHF) мають різні можливості.

MHF можуть приймати вологі та маслянисті матеріали, а також матеріали з високим вмістом цинку. Вони передбачають простішу підготовку матеріалів і споживають менше палива. Під час просування через цю піч відбувається інтенсивне перемішування матеріалу, який надходить, що сприяє його швидкому нагріванню, а, отже, забезпечується максимальна продуктивність процесу. Оксиди металу піддаються передньому відновленню за допомогою CO і H₂. Енергія, необхідна для процесу попереднього відновлення, надходить при спалюванні вугілля з високим вмістом летких сполук, і протягом попереднього відновлення відбувається доспалення CO. У табл. 2.13 наведені деякі експлуатаційні дані для установки Primus® в комуні Діфферданж, Люксембург.

Таблиця 2.13: Експлуатаційні характеристики установки Primus® в комуні Діфферданж (Люксембург) із номінальною продуктивністю 10 т/год.

Дані	Одиниці вимірювання	
Багатоподова піч (установка для попереднього відновлення)		
Внутрішній діаметр горну,	7,7	м
Кількість подів	8	–
Робоча температура,	800 – 1000	°C
Споживання вугілля,	300	кг/т
Електродугова піч (установка для плавлення)		
Внутрішній діаметр печі,	3,5	м
Споживана потужність,	10	МВт _{ел}
Робоча температура,	1500	°C
Споживання електроенергії,	800 – 900	кВт-год/т
<i>Джерело: [140, Eurofer, 2009].</i>		

Установка Primus® компанії Primores S.A. в комуні Діфферданж, Люксембург, складається з багатоподової печі MHF та плавильної електродугової печі, оснащеної повною системою очищення відхідних газів із утилізацією цинку. Відхідні гази від MHF і EAF змішуються та піддаються знепилюванню за допомогою рукавного фільтра. Летючі метали екстрагуються протягом плавлення та піддаються попередньому відновленню й очищенню в рукавному фільтрі. Після впорскування вапна і активованого вугілля відбувається друга стадія очищення перед тим, як викиди потрапляють у димову трубу. У табл. 2.14 наведені досягнуті концентрації очищеного газу для основного потоку відхідних газів.

Таблиця 2.14: Досягнуті концентрації очищеного газу для процесу Primus® (МНФ та ЕАФ)

Параметр	Одиниці вимірювання ⁽¹⁾	Середня концентрація у викидах ⁽²⁾
Витрата відхідних газів	м ³ /год	113 000
HCl	мг/м ³	1,30
HF	мг/м ³	0,09
CO	мг/м ³	295
NO _x як NO ₂	мг/м ³	85
SO ₂	мг/м ³	10
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	мг/м ³	6
Пил	мг/м ³	0,3
As	мг/м ³	<0,0027
Pb	мг/м ³	<0,0064
Cd	мг/м ³	<0,0008
Cr	мг/м ³	<0,0047
Co	мг/м ³	<0,0017
Cu	мг/м ³	<0,0108
Mn	мг/м ³	<0,0035
Ni	мг/м ³	<0,0019
Hg	мг/м ³	0,0621
V	мг/м ³	<0,0021
Zn	мг/м ³	<0,0567
Сума важких металів	мг/м ³	0,1534
PCDD/F (I-TEQ)	нг/м ³	0,0001
PAH (ЕРА)	мкг/м ³	0,829
Сума PCB (3)	мкг/м ³	0,07

(1) стосується об'єму відхідних газів за нормальних умов (273 Кб, 1013 мбар).

(2) Середнє значення з трьох півгодинних значень.

(3) Сума PCB28, PCB52, ЗСВ101, PCB118, PCB153, PCB138, PCB180.

Примітка: Вимірювання проводилися з листопада 2007 року.

Джерело: [139, GfA Münster-Roxel (в м. Мюнстер, район Роксель), 2008]

У табл. 2.15 приведені досягнуті концентрації викидів очищених відхідних газів для МНФ і ЕАФ після очищення в рукавному фільтрі. Очищені гази викидаються з димової труби разом з очищеними основними газами.

Таблиця 2.15: Досягнуті концентрації очищеного газу для процесу Primus® з пилешумозахисного кожуха електродугового печі (МНР та ЕАФ)

Параметр	Одиниці вимірювання ⁽¹⁾	Середня концентрація у викидах ⁽²⁾
Витрата відхідних газів	М ³ /год	50 000
HCl	мг/м ³	1,06
HF	мг/м ³	0,02
CO	мг/м ³	37
NO _x як NO ₂	мг/м ³	<4
SO ₂	мг/м ³	9
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	мг/м ³	6
Пил	мг/м ³	<0,1
As	мг/м ³	<0,0060
Pb	мг/м ³	<0,0074
Cd	мг/м ³	<0,0007
Cr	мг/м ³	<0,0040
Co	мг/м ³	<0,0018
Cu	мг/м ³	<0,0111
Mn	мг/м ³	<0,24
Ni	мг/м ³	<0,0028
Hg	мг/м ³	0,0005
V	мг/м ³	<0,0028
Zn	мг/м ³	<0,044
Сума важких металів	мг/м ³	0,32
PCDD/F (I-TEQ)	нг/м ³	<0,00013
РАН (ЕРА)	мкг/м ³	43,8
Сума РСВ ⁽³⁾	мкг/м ³	<0,07

(1) стосується об'єму відхідних газів за нормальних умов (273 Кб, 1013 мбар).
(2) Середнє значення з трьох півгодинних значень.
(3) Сума РСВ28, РСВ52, ЗСВ101, РСВ118, РСВ153, РСВ138, РСВ180.
Примітка: Вимірювання проводилися з листопада 2007 року.
Джерело: [139, GfA Münster-Roxel (в м. Мюнстер, район Роксель), 2008]

RHF може працювати за підвищеної температури (так як немає проблем з неперемішаними матеріалами), завдяки чому з цією технологією можна досягнути вищого ступеня металізації. Крім того, такі печі характеризуються високою одиничною продуктивністю завдяки великому діаметру печі.

Можливість застосування

Процес Primus® допомагає переробляти всі типові відходи металургійного виробництва. Його можна застосовувати операторам мінізаводів та заводів із повним циклом, які хочуть знизити витрати на видалення відходів та ефективно їх утилізувати.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Запобігання депонуванню та сприяння рециклінгу відходів заліза і цинку є стимулами для впровадження цієї технології.

Приклади установок

- На установці Primus® компанії Primorec SA в комуні Діфферданж, Люксембург, переробляється 60 000 т пилу після ЕАФ і 15 000 т шламів прокатних станів на рік.

- Компанія Dragon Steel Corporation, Тайвань, впровадила установки Primus® продуктивністю 100 000 т/рік з метою переробки пилу EAF, шламів доменних печей, а також прокатних станів. Установка почала експлуатуватись у квітні 2009 року.
- Кілька установок RHF експлуатується в Японії.
- Перша європейська установка почала експлуатуватись на металургійному заводі Lucchini в муніципалітеті Пьомбіно, Італія. З її допомогою переробляється 60 000 т/рік шламів металургійного заводу з повним циклом. Установка була введена в експлуатацію влітку 2009 року. У цьому випадку стадія плавлення повинна виконуватись в доменній печі заводу Lucchini.

[139, GfA Münster-Roxel (в м. Мюнстер, район Роксель), 2008] [140, Eurofer, 2009]

Довідкова література

[12, VDEh, 2006] [15, Бот, І. та ін., 2008] [139, GfA Münster-Roxel (в м. Мюнстер, район Роксель), 2008] [140, Eurofer, 2009]

2.5.4.4 Безвипалювальні окатиші/брикети

Опис

На деяких європейських металургійних заводах із повним циклом шихта доменних печей складається переважно з окатишів, що постачаються із зовнішніх підприємств, і не використовується агломерат. В таких умовах утворюється рудний дріб'язок від операцій грохочення, який після брикетування можна повернути до процесу виробництва чавуну. Це означає повернення цієї рудної дрібниці до виробництві чавуну разом з іншими матеріалами, в яких міститься залізо та (або) вуглець і які можна брикетувати з використанням безвипалювальних технологій.

Зазвичай установка для гранулювання холодним способом / брикетування складається з таких елементів:

- силоси і бункери для прийому вступників матеріалів та запобіжні сітки;
- попередня сушка відфільтрованого осаду;
- змішування і дозування сполучних речовин;
- прес або машина для формування блоків для грудкування / брикетування;
- просіювання дріб'язку;
- зона різання і зберігання брикетів для внутрішнього використання.

Різні відходи, що приймаються від металургійних заводів, повинні зберігатись окремо, для того, щоб контролювати суміш для брикетів.

Залежно від типів брикетів, отриманих холодним способом, використовуються різні відходи. В одному випадку окатиші без випалу виготовляються з матеріалів, в яких міститься вуглець, таких як пил з відхідних газів доменних печей і коксовий дріб'язок. Інші типи брикетів виготовляють із матеріалів, у яких міститься здебільшого залізо, таких як дріб'язок від брикетів, дрібний скрап, прокатна окалина та інші відходи, такі як шлам кисневих конвертерів, пил конвертерів/доменних печей та шлаковий дріб'язок.

Відходи змішуються, можуть бути додані легуючі елементи та цемент, як сполучні речовини використовуються гашене вапно і меляса. Гомогенизована суміш подається у прес для брикетування або машину для формування блоків, а одержувані брикети просіюються з використанням вібраційних сит. Потім брикети передаються до камери для витримки.

Після 24 годин витримки завершується затвердіння брикетів. Брикети повинні зберігатися протягом трьох тижнів в захищеному місці під покриттям (для досягнення високої міцності).

Виробництво і використання брикетів на цементній зв'язці почалося з 1975 року, а з 1993 року такі брикети стали важливими складовими шихти доменної печі (близько 40-50 кг/т рідкого металу в Швеції у 2004 році). Кількість брикетів, що використовуються, здебільшого залежить від доступності матеріалів на місцях, але є випадки, коли ця кількість перевищує 100 кг/т рідкого металу в шихті. Технологія машин для формування блоків почала використовуватися в 1993 році компанією SSAB Tunplåt, а в 1996 році – компанією SSAB Oxelösund [208, Ліндфорс та ін., 2006].

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Залізовмісні матеріали піддаються рециклінгу. В такий спосіб знижується кількість матеріалів, які направляються на полігон, що економить первинну сировину та зменшує витрати на депонування або переробку відходів. Брикети на цементній зв'язці не можуть повністю замінити агломерат або окатиші.

Ця технологія не пов'язана з викидами SO_x або NO_x.

Міжсередовищні наслідки

Повернення дріб'язку на ділянку знижує потенційні вимоги до полігонного депонування і використання вихідної сировини. Пил, що відділяється під час брикетування, піддається рециклінгу для подачі на установку для брикетування.

Експлуатаційні дані

У випадку металургійних заводів ILVA, Rivagroup, м. Таранто, Італія, викиди від брикетування знепилюються рукавним фільтром. Після очищення можна досягнути концентрації пилу в газах близько 10-20 мг/м³.

Можливість застосування

Окатиші/брикети без випалу можуть використовуватись як на нових, так і на наявних установках. Ці технології можна застосовувати на будь-якому металургійному заводі з повним циклом, але найбільшою мірою вони застосовуються для заводів без агломераційних установок. Виробництво брикетів є звичайною технологією, а їх використання в шихті доменних печей або в кисневих конвертерах – надійна і загальноприйнята практика.

Економічні дані

Утилізація цінних відходів, що містять залізо, допомагає уникнути витрат, пов'язаних із їх видаленням.

Загальні інвестиції для установки подібного типу в компанії ILVA Steelworks, Rivagroup в м. Таранто, Італія, для використання брикетів в кисневому конвертері з продуктивністю 150 000 т/рік становлять близько 7-8 млн євро.

Стимули для впровадження

Стимулами для впровадження є екологічні вигоди та економія місця і витрат на депонування, а також витрат на установку для агломерації.

Приклади установок

Нині є три компанії, на підприємствах яких використовуються схеми з отриманням безвипалювальних окатишів/брикетів для повернення матеріалів у доменну піч або в разі ILVA Steelworks, Rivagroup в м. Таранто, Італія, для кисневих конвертерів:

- SSAB Tunplåt AB, м. Лулео, Швеція;
- SSAB Oxelösund AB, Швеція;
- ILVA Steelworks, Rivagroup, м. Таранто, Італія.

Довідкова література

[29, EC Sinter/BF 1995] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [276, Італія, 2007] [319, Eurofer, 2007] [363, Eurofer, 2007]

2.5.5 Моніторинг на підприємствах чорної металургії

[277, Вісенбергер, 2007]

2.5.5.1 Безперервний моніторинг параметрів і викидів у повітря

Опис

На сучасних металургійних заводах більшість процесів піддається моніторингу та контролюється за допомогою систем із комп'ютерним управлінням. Для оптимізації процесів та підвищення енергоефективності, а також досягнення максимальної продуктивності повинні бути визначені відповідні параметри, які повинні безперервно коригуватися в режимі реального часу.

Додатковий безперервний моніторинг викидів із важливих джерел дає змогу точно визначати кількість викидів, а в разі поганих показників систем очищення негайно вживати відповідних дій.

Основними параметрами, які повинні вимірюватися безперервно для важливих джерел викидів процесів металургійного виробництва, є:

- тиск;
- температура;
- вміст O₂;
- вміст CO;
- витрата матеріалів на вході;
- витрата матеріалів на виході.

Додаткову інформацію з описом систем безперервного моніторингу можна знайти в Порівняльному документі щодо загальних принципів моніторингу (MON) [42, ЄК, 2003].

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У випадку поганих показників систем контролю викидів необхідно невідкладно діяти. Загальні викиди можна зменшити. Безперервні вимірювання дають можливість отримувати точну кількісну інформацію щодо викидів із важливих джерел.

Міжсередовищні наслідки

Безперервні вимірювання допомагають оптимізувати виробничі процеси, мінімізувати потребу в енергії та довести продуктивність до максимуму.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Для нормованих джерел викидів на металургійних підприємствах основні забруднюючі речовини зазвичай піддаються безперервному моніторингу. Для визначення нормованих джерел викидів у Додатку IV в п. 13.4. наведено приклад граничних значень викидів.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Результати безперервного вимірювання викидів у повітря для компанії Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц, Австрія, представлені в табл. 2.16. У цьому випадку дані передаються в режимі реального часу місцевим органам [26, Уряд федеральної землі Верхня Австрія (Oberösterreichische Landesregierung), 2004]. Крім того, в Німеччині на металургійних заводах всі нормовані параметри викидів піддаються безперервному моніторингу, і зазвичай результати вимірювань (щоденні або півгодинні середні, як і вимагається у дозволі) передаються в режимі онлайн місцевим компетентним органам [175, Eurofer, 2009].

Таблиця 2.16: Результати безперервного вимірювання викидів у повітря на заводі компанії Voestalpine Stahl, м. Лінц, Австрія

Установка	Потенційне джерело викидів	Нормовані забруднюючі речовини						Порівняльна концентрація кисню, %
		Пил	NO _x	SO ₂	CO	H ₂ S	HF	
Коксова піч	H ₂ S в коксовому газі					X ⁽¹⁾		
	Установка для отримання сірчаної кислоти			X				
Агломераційна установка ⁽²⁾	Агломераційна стрічка	X	X	X			X	
	Знепилювання будівель	X						
Доменні печі	Знепилювання на ливарному дворі доменної печі BF 5 та 6	X						
	Знепилювання на ливарному дворі доменної печі BF A	X						
Кисневі конвертери	Блок знепилювання 1	X		X ⁽³⁾				
	Вторинне знепилювання 2.1	X						
	Вторинне пиловловлювання 2.2	X						
Електростанція	Блок 3		X	X	X		3 %	
	Блок 4		X	X	X		3 %	
	Блок 5		X	X	X		3 %	
	Газова і парова турбіна		X	X	X		15 %	
	Блок 6		X	X			3 %	

(1) Середньогодинне значення. (2) Відповідно до дозволу, на заводі, що наданий як приклад, повинен проводитись обов'язковий моніторинг ртуті через місцеві причини (високий вміст Hg в руді). Випробування досі тривають. (3) У 2006 році теперішні граничні значення викидів було піддано ревізії. Для SO₂ повинні проводитися безперервні вимірювання. Примітка: — Дані подано станом на червень 2007 року. Викиди, що вимірюються періодично, не включені в таблицю. Умови дозволів можуть змінюватися протягом реальної оцінки впливу на навколишнє середовище «Voestalpine L6». — Встановлені граничні значення позначені символом X (на основі півгодинних середніх значень).

У Сполученому Королівстві викиди пилу з доменних печей піддаються безперервному моніторингу за допомогою вимірювачів поглинання світла, в агломераційних установках викиди пилу також вимірюються безперервно. В доменних печах важливий моніторинг витрат охолоджуючої води. Для викидів повітрянагрівачів проводять моніторинг SO_x, NO_x, пилу та CO. Проводиться моніторинг викидів пилу з ливарних дворів.

Довідкова література

[26, Уряд федеральної землі Верхня Австрія (Oberösterreichische Landesregierung), 2004]
[242, Кофлін, 2007] [277, Вісенбергер, 2007]

2.5.5.2 Приклади безперервного моніторингу викидів після систем знепилювання

2.5.5.2.1 Безперервний моніторинг викидів у повітря із систем вторинного знепилювання в основних кисневих конвертерах

Опис

Система моніторингу компанії SSAB Oxelösund AB, Швеція, дає можливість безперервного контролю показників роботи рукавного фільтра. Результати вимірювань повідомляються щодня, щотижня і щомісяця. Робота кисневого конвертера (завантаження, продування, випуск) піддається особливо ретельному контролю.

Система безперервного вимірювання пилу встановлена в системі відхідних газів після фільтра вторинного знепилювання. Є два методи проведення вимірювань в каналах після фільтра вторинного знепилювання, а ще два – в отворах зводу конвертерів. Принцип вимірювання – гравіметричний (мг/нм³). Устаткування калібрується раз на рік зовнішньою компанією. Зібрані дані зберігаються у власній базі даних SSAB. Контроль роботи рукавного фільтра виконується власними операторами SSAB. Ревізію проводять раз на рік. Для визначення витоків використовується флуоресцентний метод.

Викиди пилу з кисневого конвертера (за винятком первинних відхідних газів) також піддаються ретельному моніторингу. Викиди контролюються протягом трьох окремих стадій процесу: завантаження, продувки та на стадії плавлення.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У випадку незадовільної роботи системи вторинного знепилювання необхідно вживати негайних дій. Загальні викиди можна зменшити. На рис. 2.17 показані щотижневі середні значення, які були визначені з використанням вищезгаданої системи моніторингу протягом одного року.

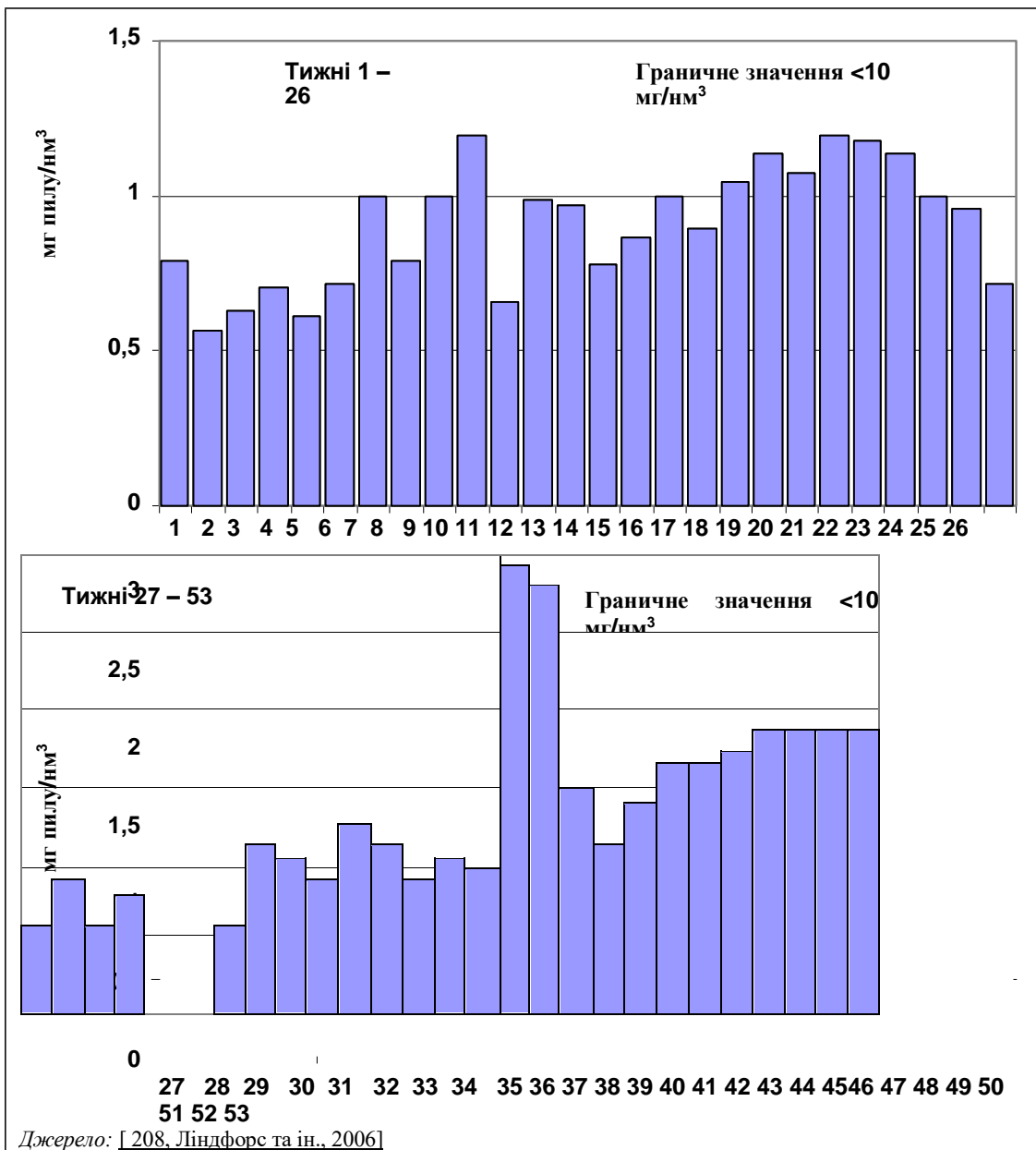


Рис. 2.17. Кількості пилу від систем вторинного пиловловлення, представлені як середні значення за тиждень

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Калібрування системи відповідно до вимірних значень проводиться раз на рік. Процес калібрування займає два дні.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних металургійних заводів.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

SSAB Oxelösund AB, Швеція.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006]

2.5.5.2 Безперервний моніторинг викидів після кінцевого рукавного фільтра в електродуговій печі

[208, Ліндфорс та ін., 2006]

Опис

Електросталеплавильний цех компанії Ovaко Imatra, Фінляндія, оснащений системою витяжки з будівлі та окремою системою відсмоктування пилу із самої фільтрувальної установки EAF. Фільтрувальна установка оснащена ефективними іскровловлювачами та циклонами, з яких пил (>5 мкм, 30 % від загальної кількості) повертається в EAF разом із брухтом. Головні вентилятори (середня продуктивність 620 000 м³/год) оснащені системою регулювання швидкості обертання. Пиловловлюючі камери з рукавними фільтрами мають великий розмір (9 400 м²), а рукавні фільтри оснащені звичайною армованою повстю з покриттям із поліетилентерефталату. Рукавні фільтри очищаються за допомогою пульсуючого струменя.

Безперервний моніторинг і ретельне обслуговування пиловловлювальної камери з рукавними фільтрами працює в такий спосіб:

- проводить моніторинг викидів пилу, без будь-якого калібрування. Важливо визначати будь-яку зміну рівня викидів (витік в одному рукавному фільтрі визначається негайно);
- проводить безперервний моніторинг за допомогою двох окремих систем вимірювання:
 - система вимірювання з використанням трибометра SINTROL®;
 - оптична система вимірювання SICK® [360, Сік-Майхак, 2006];
- візуальний контроль всіх рукавних фільтрів на предмет свічкових отворів проводиться щотижня, один робітник протягом трьох годин. Чиста сторона фільтрів завжди повинна знаходитися в повній чистоті. Отвори діаметром 1 мм можна визначити без праці, в зв'язку з чим відсутня необхідність використання флуоресцентного методу.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У разі незадовільної роботи системи рукавних фільтрів слід вживати негайних дій. Загальні викиди можна зменшити.

Міжсередовищні наслідки

Цей спосіб забезпечує створення чистого середовища в межах і за межами металургійного заводу.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Система моніторингу добре підходить як для нових, так і для наявних заводів, і повинна застосовуватися до великих електросталеплавильних цехів. Визначення «великого

електросталеплавильного цеху» як важливого джерела викидів і приклади граничних значень витрат наведені в Додатку IV.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Стимулами для впровадження є екологічні вигоди, пов'язані із цією технологією.

Приклади установок

Ovako Imatra, Фінляндія.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006] [242, Кофлін, 2007]

2.5.5.3 Моніторинг технологічних газів

Опис

В компанії Voestalpine Stahl GmbH в м. Лінц, Австрія, моніторинг технологічних газів ведеться відповідно до умов дозволу під час оцінки впливу на навколишнє середовище. У табл. 2.17 представлені умови дозволу. Дані регулярно передаються місцевим органам.

Таблиця 2.17: Умови, передбачені в дозволі для моніторингу технологічних газів компанії Voestalpine Stahl, Австрія

Вимірювання	Доменний газ ⁽¹⁾		Коксовий газ ⁽¹⁾		Конвертерний газ ⁽¹⁾	
	Безперервний ⁽²⁾	Дискретний	Безперервний ⁽²⁾	Дискретний	Безперервний ⁽²⁾	Дискретний
H ₂	x		x		x	
CO	x		x		x	
CO ₂	x		x		x	
Вуглеводні			x ⁽³⁾			
N (хімічно зв'язаний)			x ⁽³⁾			
Cl (загальний)	x ⁽³⁾					
S (загальна)	x ⁽³⁾		x ⁽³⁾		x ⁽³⁾	
Hg		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾		
Pb		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾
Cr		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾
Cd		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾
Ni		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾
F (загальний)		x ⁽⁴⁾				
Пил (загальний)		x ^{(1) (5)}		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾

(1) Граничні значення не встановлено (станом на червень 2007 року).

(2) Безперервні вимірювання повинні проводитися за умови, що на ринку є схвалений засіб контролю (станом на червень 2007 року) [26, Уряд федеральної землі Верхня Австрія (Oberösterreichische Landesregierung), 2004].

(3) Станом на червень 2007 року не було інструментальних засобів контролю для безперервного вимірювання загального хлору і хімічно зв'язаного азоту. Що стосується вуглеводнів, CH₄ та вищих вуглеводнів, то вони вимірюються дискретно. Методи безперервного вимірювання загальної сірки все ще оцінюються. Для дискретних вимірювань, інтервали встановлюються залежно від параметра, зазвичай щомісяця [26, Уряд федеральної землі Верхня Австрія (Oberösterreichische Landesregierung), 2004].

(4) Вміст важких металів (Hg, Pb, Cr, Cd, Ni) і фторидів має вимірюватися дискретно, зазвичай чотири рази на рік (станом на червень 2007 року) .

(5) В разі вдування пластику, яке проводиться в доменній печі, вимірювання пилу повинні проводитися безперервно. Випробування досі тривають.

Джерело: [26, Уряд федеральної землі Верхня Австрія (Oberösterreichische Landesregierung), 2004] [277, Вісенбергер, 2007].

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Моніторинг технологічних газів дає інформацію про склад технологічних газів та про непрямі викиди від спалювання цих газів, такі як викиди пилу, важких металів і SO₂.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Якість (теплотворна здатність і ступінь чистоти) і обсяги потоків різних технологічних газів значно різняться, і ці фактори визначають ступінь ефективності використання палив. Для того, щоб оптимізувати енергоефективність, необхідно, щоб кожен тип паливного газу споживався на найбільш відповідній установці. З цієї причини газу повинні безперервно аналізуватися.

Можливість застосування

Вважається, що зазначена технологія може застосовуватися скрізь.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц, Австрія;.

Довідкова література

[277, Вісенбергер, 2007]

2.5.5.4 Періодичний моніторинг викидів після систем знепилювання

Опис

Регулярні, періодичні дискретні вимірювання у важливих спрямованих джерелах викидів проводяться для таких забруднюючих речовин (для деяких із них загалом та відповідних станів хімічного окислення):

- Пил
- SO₂
- NO_x
- CO
- Важкі метали, такі як Hg, Tl, Cd, As, Co, Ni, Se, Te, Pb, Cr, Cu, Mn, V, Sn
- Загальний органічний вуглець (ЗОВ)
- ЛОС (VOC)
- NMVOC (леткі не метанові органічні сполуки)
- ВТХ (бензол, толуол, ксилен, який також називають ксилол)
- H₂S
- HCl
- HF
- CN
- NH₃
- PCDD/F
- PAH (наприклад EPA 16, Borneff 6)

- PCB (наприклад Ballschmüter PCB, WHO-TEF (показники еквівалентної токсичності BOO3), загальні PCB).

Однак можливо також вимірювати і проводити моніторинг ЗОВ, NH₃, HCl та HF у безперервному режимі та відбирати проби PCDD/F і PCB безперервно для аналізу протягом від 1 до 30 днів.

Частота вимірювання сильно різниться в різних країнах-членах ЄС. Одержані значення викидів слід розглядати як середні за тривалістю відбору проб, яка зазвичай становить, принаймні, півгодини. Для PCDD/F тривалість відбору проб зазвичай становить від 6 до 8 год.

В табл. 2.18 наведені деякі приклади важливих методів вимірювання для періодичного моніторингу викидів.

Таблиця 2.18: Методи вимірювання для періодичного моніторингу викидів

Компоненти відхідних газів	Метод вимірювання
Пил	EN 13284-1 (<50 мг/м ³) або ISO 9096 (>20 мг/м ³) VDI 2066 частина 1 для низьких і високих концентрацій Ö-NORM M 5861 NF X 44-052
SO ₂	EN 14791 ідентичний до VDI 2462 частина 3 VDI 2462 частина 1
NO _x як NO ₂	EN 14972 VDI 2456, ручний метод
CO	EN 15058 VDI 2459, ручний метод
Метали (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn)	EN 14385 ідентичний до VDI 3868 частина 1
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	EN 12619 для низьких концентрацій, EN 13526 для високих концентрацій VDI 3481 частина 1, ручний метод
Hg	EN 13211
H ₂ S	VDI 3486 Управління з охорони довкілля США (US EPA) (метод 11)
HCl	EN 1911
HF	VDI 2470 частина 1 ISO 15713
NH ₃	VDI 3496, на основі EN 14791
PCDD/F та PCB	EN 1948 VDI 3499, додатково для низьких концентрацій
PAH	VDI 3873 частина 1 ISO 11338
<i>Джерело: [200, Європейська Комісія, 2001] [277, Вісенбергер, 2007].</i>	

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Жодних даних не надано.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Дискретні вимірювання та відповідні методи вимірювання вважаються загальноприйнятними для будь-якого застосування.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Застосовується для багатьох підприємств, наприклад на Voestalpine Stahl GmbH, Австрія, а також на металургійних заводах Німеччини.

У Сполученому Королівстві на агломераційних фабриках моніторинг NO_x і SO_x здійснюється щоквартально. Моніторинг діоксинів проводиться 2-4 рази на рік.

Довідкова література

[242, Кофлін, 2007] [277, Вісенбергер, 2007].

2.5.5.5 Моніторинг PCDD/F**Опис**

[209, ЄК, 2005]

Для визначення навантаження щодо діоксинів або діоксиноподібних РСВ у відхідних газах існують різні методи. Умови відбору проб і метод аналізу, що використовується, залежать від наявного процесу та параметрів відхідних газів. Важливими параметрами є:

- діапазон концентрацій діоксину;
- концентрація пилу в газах;
- температурний діапазон;
- кількість вуглецевих частинок у газах;
- змінні умови процесу, наприклад безперервний або періодичний процес, нестійка робота;
- можливість ефектів пам'яті.

Для ручного відбору проб є керівні настанови Європейського стандарту EN 1948. В ньому описано визначення масової концентрації діоксинів і діоксиноподібних РСВ від викидів зі стаціонарних джерел. Ці керівні настанови було розроблено та підтверджено перевіркою на сміттєспалювальних заводах на предмет відповідності граничним значенням викидів у кількості 0,1 нг I-TEQ/нм³. У багатьох європейських країнах EN 1948 є основою для посібників національного стандарту під час визначення викидів діоксинів (наприклад, CSN EN 1948 – стандарт Чеської Республіки; DIN EN 1948 та VDI 3499 тощо). VDI 3399 частини 1-3 – це керівні настанови для стандарту Німеччини щодо визначення викидів діоксинів зі стаціонарних джерел. У керівних настановах описані дві процедури вимірювання:

- Частина А – це метод вимірювання по DIN EN 1948 для викидів PCDD/F при рівнях близько 0,1 нг I-TEQ/нм³;

- Частина В – це метод вимірювання для концентрацій PCDD/F вище 0,1 нг I-TEQ/нм³. Підтверджується лише визначення PCDD/F у газах. Визначення інших органічних забруднюючих речовин (наприклад, PCB) також можливе, але ще не підтверджене.

Крім EN 1948 є інші стандартизовані методи відбору проб, які використовуються в ЄС. Наприклад керівні настанови EPA 23, які стосуються методів ручного відбору проб, підтверджених у США, розроблених для визначення викидів діоксинів від стаціонарних джерел сміттєспалювальних заводів.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У разі збільшення викидів або навіть перевищення зазначеного рівня ELV, можна негайно вжити заходів для ідентифікації причин та забезпечити зниження рівня викидів.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Для PCDD/F тривалість відбору проб зазвичай становить від 6 до 8 год.

Можливість застосування

На практиці використовуються ручний (періодичний) стандартизований і підтверджений методи вимірювання (наприклад, EN 1948). Ці методи вимірювань, розроблені для сміттєспалювальних заводів, можна використовувати для металургійної промисловості, навіть більше, це вже відбувається.

Застосовуються регулярні, періодичні вимірювання для важливих джерел викидів.

Економічні дані

У табл. 2.19 наведені витрати для відбору проб та аналізу PCDD/F і діоксиноподібних PCB.

Таблиця 2.19: Загальні витрати на вимір PCDD/F відповідно до EN 1948

Метод	Діапазон витрат, євро
Ручний відбір проб відповідно до EN 1948 – одна проба (один день), виключно аналіз PCDD/F без витрат на транспортування проби	1800 – 3500
Ручний відбір проб відповідно до EN 1948 – три проби (три дні), виключно аналіз PCDD/F без витрат на транспортування проби	4000 – 6500
Аналіз PCDD/F (EN 1948)	450 – 800
Діоксиноподібні PCB – WHO PCB (EN 1948)	110 – 600

Стимули для впровадження

Стимулами для впровадження є зниження невизначеності щодо нинішніх даних про викиди діоксинів у чорній металургії та забезпечення належної поінформованості про такі викиди компетентних органів на національному, регіональному та місцевому рівнях.

Приклади установок

У табл. 2.20 представлені вимоги для моніторингу діоксинів у різних країнах-членах ЄС [209, ЄК, 2005].

Таблиця 2.20: Частота моніторингу PCDD/F у металургійній промисловості в різних країнах-членах ЄС

Країна-член ЄС	Частота моніторингу
Австрія	Раз на три роки для металургійних заводів, для нових аглофабрик – раз на три роки (раз на шість років у разі дуже низьких викидів); на наявних аглофабриках залежно від конкретної ситуації
Бельгія	Три рази на рік згідно із законодавством, раз на місяць для аглофабрик, шість разів на рік для електродугових печей
Франція	Раз на рік, як мінімум
Німеччина	Від одного разу на рік до одного разу на три роки
Люксембург	Один-два рази на рік та одне-два додаткові вимірювання
Нідерланди	Інформація відсутня; критерій: у неочищеному газі > 2 г I-TEQ/рік
Словенія	Раз на рік
Сполучене Королівство	Моніторинг діоксинів проводиться два-чотири рази на рік
<i>Джерело: [209, ЄК, 2005] [242, Кофлін, 2007] [277, Вісенбергер, 2007].</i>	

Довідкова література

[209, ЄК, 2005] [242, Кофлін, 2007] [277, Вісенбергер, 2007].

2.5.5.6 Моніторинг розсіяних і неорганізованих (неконтрольованих) викидів

[252, Франція, 2007]

Розсіяні викиди можна оцінити відповідно до [56, д-р. Гертнер, А., 2004], у такий спосіб:

- методами безпосереднього вимірювання, коли викиди вимірюються у самому джерелі. В цьому випадку можна визначати концентрацію та масову витрату;
- непрямыми методами вимірювання, коли визначення викидів відбувається на певній відстані від джерела. Безпосереднє вимірювання масової витрати і концентрації неможливе;
- розрахунком за допомогою коефіцієнтів викидів.

2.5.5.6.1 Безпосередні (прямі) або квазібезперервні вимірювання

Безпосередні вимірювання проводяться в аеродинамічній трубці, з парасольками або іншими методами типу квазібезперервних вимірювань, тобто на зводу промислової установки. В цьому випадку вимірюють швидкість вітру та площу отвору в контурі зводу і розраховують витрату газу. Поперечний зріз площі отвору в контурі зводу ділиться на сектори з однаковою площею поверхні (система профілів). Обладнання, що використовується для відбору проб повинно бути призначене для плавно змінюваного регулятора всмоктування. За допомогою вибору різних діаметрів пробовідбірника витрату в пробі можна адаптувати до переважної швидкості відхідних газів. Збирається пил в газовому потоці на фільтруюче середовище, і проводиться визначення гравітаційним методом. Разом з оцінкою відхідного газу можна визначити значення концентрації пилу та його масову витрату [56, д-р. Гертнер, А., 2004]. Якщо використовується каскадний імпактор, то можна визначити фракції різного розміру. За можливості, перевагу слід надавати безпосереднім вимірюванням.

Застосовується чотири спеціальних методи для вимірювання розсіяних викидів як паралельно рукавному фільтру, так і з приміщення, де знаходиться електродугова піч, і це:

- каскадний імпактор DEKATT® , що працює на принципі послідовного інерційного осадження;
- спектрометр DSI® , що працює на принципі розсіювального та інерційного осадження;
- лазерний дефрактометр, заснований на принципі визначення розмірів частинок за розмірами;
- ELPI® (електричний імпактор низького тиску), заснований на принципі визначення фрактальної розмірності.

Будь-який із цих методів дає розподіл часток за розмірами і концентрацію пилу (PM_{0.1}, PM₁, PM_{2.5} та PM₁₀), він також вказує їх значення для якості повітря. Використання будь-якого із цих методів побічно допомагає краще контролювати розсіяні викиди [252, Франція, 2007].

В роботі [56, д-р. Гертнер, А., 2004] вимірювання проводилися на сталеплавильному агрегаті для виробництва нержавіючої сталі до і після системи контролю викидів у конвертері, яка:

- наново спроектована;
- оптимізована за допомогою збільшення розмірів димовивідного каміну конвертера та зростаючого обсягу відхідних газів;
- мала рукавний фільтр замість скрубера Вентурі.

Вимірювання пилу проводилися відповідно до VDI 2463 Частина 1 «Вимірювання твердих часток – гравіметричне визначення масової концентрації зважених твердих частинок у навколишньому повітрі – загальні принципи». Результати показали, що розсіяні викиди пилу знизилися на 50 %. Частка частинок PM₁₀ в загальному обсязі пилу склала приблизно 70 %. Відповідно знизилися концентрації Cr та Ni. Пари металів збиралися набагато краще, ніж раніше.

2.5.5.6.2 Непрямі вимірювання

Приклади непрямого вимірювання включають використання газів-свідків, методи зворотного моделювання дисперсії (RDM) і метод масового балансу.

Методи з використанням газів-свідків включають:

- викид певної кількості газу, який не викидається з досліджуваного джерела;
- вимірювання концентрації у напрямку газового потоку;
- належне представлення геометрії джерела.

Методи зворотного моделювання дисперсії (RDM) включають:

- вимірювання інтегральної або селективної концентрації;
- проведення розрахунку поширення фіктивної концентрації джерела;
- вимірювання метеорологічних параметрів, необхідних на момент проведення вимірювання;
- проведення зворотного розрахунку;
- підтвердження RDM за допомогою тестів на викиди газу.

Як для методу з використанням газів-свідків, так і для методу PDM в ролі газу-свідка використовується SF₆. Вимірювання концентрації може проводитися, наприклад, за допомогою дистанційного контролю стану атмосфери поблизу поверхні землі з використанням ІК-Фур'є спектрометрії (FTIR).

У роботі [56, д-р. Гертнер, А., 2004] наведено два приклади використання методу RDM для оцінки викидів бензопірену (BaP) з аглофабрики. В одному випадку оцінка заснована на вимірах концентрації BaP на відстані 750 м. RDM заснований на моделі Гаусса-Лагранжа (моделі розсіювання забруднюючих речовин) без розгляду впливу будівель і геометрії заводу на моделювання дисперсії. В іншому випадку оцінка заснована на вимірюваннях концентрації BaP на відстані 200 м. RDM заснований на моделі Ейлера з урахуванням впливу будівель і геометрії заводу на моделювання дисперсії. В обох випадках середньодобове значення для рівня викидів оцінювалося в діапазоні 5-35 мг BaP/т коксу. За умови використання стандартних коефіцієнтів викидів інтенсивність викидів може бути розрахована в діапазоні 10-25 мг BaP/т коксу (див. п. 5.2.2.1).

Метод масового балансу включає:

- визначення контрольної ділянки та області вимірювань на навітряній та підвітряній стороні цеху;
- вимірювання концентрацій в декількох шарах у цих областях;
- розрахунок та/або вимірювання швидкостей вітру і напрямку вітру в місцях вимірювання;
- розрахунок місцевих масових витрат за допомогою множення значень концентрації та швидкості перпендикулярно площинам вимірювання;
- інтеграція масових витрат на контрольній ділянці та області вимірювань;
- розрахунок інтенсивності викидів за допомогою розрахунку різниці інтегрованих масових витрат.

Пристрій для визначення напрямку та відстані за допомогою променя світла (LIDAR) є технологією оптичного дистанційного зондування, за допомогою якої визначаються властивості розсіяного світла для знаходження відстані та/або іншої інформації про дальню ціль.

Короткі лазерні імпульси направляються до атмосфери, потім відбите випромінювання реєструється та оцінюється. Вимірювання в горизонтальному і вертикальному напрямках дають змогу визначити як розширення хмари забруднення, так і розподіл концентрації речовини у хмарі. Дистанційне вимірювання за допомогою LIDAR часто використовується для вимірювань концентрацій викидів у різних шарах (див. другий маркер).

Інтенсивність джерела газоподібних викидів від розподіленого джерела і від невеликих тривимірних джерел можна визначити за допомогою оптичного дистанційного вимірювання з похибкою приблизно 30 %. Метод газу-свідка та зворотного моделювання дисперсії показують сумісні, тобто співставні результати. Розсіяні викиди від великих тривимірних джерел можна кількісно визначити за допомогою дистанційного вимірювання з LIDAR і методу масового балансу.

Довідкова література

[20, VDI/DIN, 1999] [25, VDI/DIN, 2005] [56, д-р. Гертнер, А., 2004] [96, VDI/DIN, 2000]

2.5.5.6.3 Розрахунок викидів за допомогою коефіцієнтів викидів

Методи оцінки для розсіяних викидів від зберігання, обігу та перевалки об'ємних матеріалів

У VDI Частина 1 описані «Викиди газів, запахів і пилу від розсіяних джерел – основні принципи». Цей стандарт заснований на розрахунках із використанням коефіцієнтів викидів. Він включає визначення характеристик джерел розсіяних викидів, утворення розсіяних викидів, визначення інтенсивності джерела і звичайних коефіцієнтів викидів, технічні виміри розсіяних викидів пилу від зберігання і перевалки об'ємних матеріалів [18, VDI/DIN, 2005].

VDI 3790 Частина 3 Метеорологія навколишнього середовища – «Викиди газів, запахів та пилу від розсіяних джерел – зберігання, перевалка і транспортування об'ємних матеріалів» [165, VDI/DIN, 1999] включає визначення характеристик розсіяних джерел і показників типу інтенсивності викидів та коефіцієнтів викидів. Основна частина цих керівних настанов описує як коефіцієнти викидів можна оцінити для зберігання і поводження з об'ємними матеріалами і для зваженого пилу від проїжджої частини внаслідок руху транспорту з урахуванням характеристик цієї ділянки, типу механізмів для завантаження і розвантаження, швидкості вітру, чутливості до унесення від поводження з матеріалами тощо. У посібнику також наведені загальні коефіцієнти викидів для зберігання і поводження з матеріалами.

Ще одним методом, що використовується для металургійних заводів із повним циклом, є метод, запропонований ЕРА США [176, ЕРА, 2009]. Цей метод заснований на коефіцієнтах викидів і дає можливість належно враховувати вплив вітру за допомогою використання поверхневої швидкості, уявлення про динамічну швидкість вітру. Метод був адаптований у Франції, він дав можливість належного кількісного визначення викидів розсіяного пилу від джерел на відкритому повітрі. Він окремо враховує вплив погоди, вологості та вітру на відвали [175, Eurofer, 2009] [393, Турпін та ін., 2009] [395, Бадр та ін., 2007].

Додаткову інформацію можна знайти в BREF щодо викидів від зберігання (EFS) [283, ЄК, 2006], і ми наполегливо рекомендуємо читачеві ознайомитись із цим документом.

Метод оцінки розсіяних викидів від коксових печей

Джерелами неорганізованих викидів є підйомні труби та ущільнення завантажувальних вікон, дверцят печі та ущільнення рам у процесі коксування. Використовуються різні методи для оцінки цих неорганізованих викидів від коксових печей, і всі ці методи мають одне спільне: досвідчені або сертифіковані спостерігачі візуально визначають викиди.

Досягнуті рівні викидів виражаються у вигляді частоти витоків у відсотках від загальної кількості підйомних труб і завантажувальних отворів, що демонструє видимі витоків або масу/час залежно від методу моніторингу. Наприклад, метод ЕРА (<http://www.epa.gov/ttn/emc/methods/method303.html>) дає можливість отримати результати методом спостереження для вираження витоків у відсотках.

Однак методологія DMT (Deutsche Montan Technologie GmbH) (компанія Німецькі гірські технології), яка теж значною мірою збігається з методом ЕРА, дає змогу оцінити викиди на основі вимірів, призначивши чотири різні ступені інтенсивності викидів і з урахуванням тривалості видимих викидів протягом спостереження. Ще один метод був розроблений BCRA (Британською асоціацією дослідження цементациї). На відміну від метода DMT видимим викидам присвоюється п'ять різних ступенів інтенсивності. Ще один метод, який застосовує компанія Corus Ijmuïden в Нідерландах, описаний в п. 5.3.3.

Один метод для вимірювання неорганізованих викидів летких органічних сполук – це метод ЕРА 21. Повна методологія для повного обліку витоків і додаткового управління неорганізованими викидами описана в роботі [216, Сніфферс та ін., 2006].

2.5.5.7 Моніторинг скидання стічних вод

Моніторинг скидання стічних вод включає відбір репрезентативних проб стічних вод та їх аналіз. Існує велика різноманітність стандартизованих процедур для відбору проб та аналізу води і стічних вод.

Відбір проб може проводитися:

- за допомогою разової проби, яка стосується одиначної проби, відібраної з потоку стічних вод;
- за допомогою усередненої проби, яка стосується проби, що відбирається безперервно протягом заданого періоду, або проби, що складається з декількох проб, що відбираються або безперервно, або періодично протягом заданого періоду, та потім змішуються;
- кваліфікована разова проба повинна стосуватись усередненої проби, принаймні, із п'яти разових проб, що відбираються протягом максимального періоду в дві години через інтервали не менше ніж дві хвилини, які потім змішуються.

Концентрація викидів у стічних водах, яка повідомляється в цьому документі, стосується або кваліфікованих разових проб або 24-годинних усереднених проб. Тому відповідні BAT-AELs (рівні викидів, що відповідають найкращим доступним технологіям) також стосуються разових проб або 24-годинних усереднених проб.

2.5.6 Зниження рівнів шуму

Багато процесів на заводах чорної металургії пов'язані зі значними шумовими викидами. Звичайні будівельні та експлуатаційні прийоми, призначені для запобігання або мінімізації шумових викидів на територіях, що оточують завод, включають таке:

- реалізацію стратегії зниження рівня шуму;
- закриття робіт/установок, пов'язаних із утворенням шуму;
- захист від вібрації технологічних операцій/установок;
- внутрішнє та зовнішнє футерування, виготовлене з матеріалів, що поглинають удар;
- звукоізолюючі будівлі для захисту від будь-яких операцій, пов'язаних із утворенням шуму, за умови використання обладнання для переміщення матеріалів;
- захисні стіни від шуму в будівлях, наприклад зведення будівель або створення природних перешкод, таких як посадка дерев і чагарників між територією, що охороняється, та об'єктами, що викликають утворення шуму;
- вихідні шумоглушники для димових труб;
- димові труби та повітрорудки, які розташовані в шумозахисних будівлях;
- закриті двері та вікна у площі забудови.

3 АГЛОМЕРАЦІЙНІ УСТАНОВКИ

3.1 Процеси і технології, що застосовуються

3.1.1 Мета процесу агломерації

Сучасні, високопродуктивні доменні печі досягають потрібних характеристик завдяки попередній фізичній та металургійній підготовці шихти, що підвищує газопроникність і здатність до відновлення. Ця підготовка передбачає окускування шихти, тобто її агломерацію або окомкування (див. розділ 4). Шихта складається із суміші пилоподібної руди, добавок (наприклад, вапно, олівін) і залізовмісних матеріалів із наступних операцій (включаючи, але не обмежуючись крупнодисперсним пилом і шламами від очищення доменного газу, прокатною окалиною), що були піддані рециклінгу та до яких додається коксовий дріб'язок, щоб з'явилася можливість розпалювання всієї шихти. В Європі використовується виключно агломерація із просмоктуванням повітря на безперервних рухомих колошникових решітках (див. рис. 3.1 та рис. 3.2).



Джерело: [200, Єврокомісія, 2001]

Рис. 3.1. Фотографія агломераційної стрічки із системою завантаження (барабани або жолоби) і запальовального горну

3.1.2 Усереднення та змішування сировини

[267, Кавагучі та ін., 2002] [300, Eurofer, 2007]

Перед операцією агломерації потрібно провести змішування сировинних матеріалів. Воно зазвичай пов'язане із пошаровим укладанням матеріалів на підготовлену площу в точному співвідношенні компонентів, яке потрібне для процесу агломерації. На цій стадії може бути також доданий деякий флюсуєчий матеріал, який можна отримати за допомогою рециклінгу з подальших операцій, згаданих вище. Шар руди зазвичай покривається шаром крупнозернистого матеріалу для запобігання здування вітром. На початку операції агломерації суміш руди переміщується з шарів в рудні бункери на початку агломераційної установки.

Як згадувалося вище, інші добавки, такі як вапно, олівін, зібрані пил і прокатна окалина, пил (і значно меншою мірою шлами) від очищення в доменних печах і вторинно перероблений агломерат (частки з розміром <5 мм) від просіювання (див рис. 3.2) можуть бути додані до суміші руди на стадії змішування. Добавки, флюси і залишки, інші, ніж ті, які перераховано, також можуть потрапити до суміші для спікання.

Коксовий дріб'язок (кокс із частинками розміром <5 мм) найчастіше використовується як паливо для процесу агломерації. Він зазвичай виходить безпосередньо з коксової печі або під час дроблення коксу, що постачається з інших місць. Металургійний завод із недостатніми потужностями щодо коксу купує відсутнє паливо у зовнішніх постачальників. У цій ситуації антрацит може стати економічною альтернативою коксовому дріб'язку та успішно використовуватися за умови низького вмісту летких речовин, для того, щоб запобігти зростанню викидів вуглеводнів. У табл. 3.1 наведені деякі характеристики коксового дріб'язку, що використовується на деяких агломераційних установках.

Таблиця 3.1: Характеристики коксового пилу, що використовується на агломераційні установці

Параметр		% за масою
Частки розміром <0,25 мм		0,1 – 7,2
Нелеткий вуглець		81,3 – 86,6
Летючі речовини		0,8 – 2,4
Елементний аналіз	C	82,0 – 88,1
	H	0,55 – 1,03
	S	0,42 – 1
	N	1,06 – 1,23
	Cl	0,0050 – 0,0235
	Зола	10 – 15
Склад золи	SiO ₂	44,3 – 55,5
	Al ₂ O ₃	22,1 – 27,7
	Fe ₂ O ₃	4,0 – 17,4
	CaO	1,28 – 3,27
	TiO ₂	0,93 – 1,31
	P ₂ O ₅	0,87 – 1,51
	K	0,56 – 1,12
	Na	0,27 – 0,52
	S	0,05 – 0,09
	Cu	0,008 – 0,020
<i>Джерело: [220, Eurofer,2008] [267, Кавагучі та ін., 2002].</i>		

Рудна суміш і коксовий дріб'язок зважуються на конвеєрних стрічках і завантажуються в барабан змішувача. Тут вони повністю змішуються, а суміш зволожується для полегшення утворення мікро-гранул, які підвищують проникність шару агломерату (див. рис. 3.2).

У випадку використання бункера для усереднення і змішування шихти, зменшуються викиди під час видалення пилу та подальшого очищення уловленого газу.

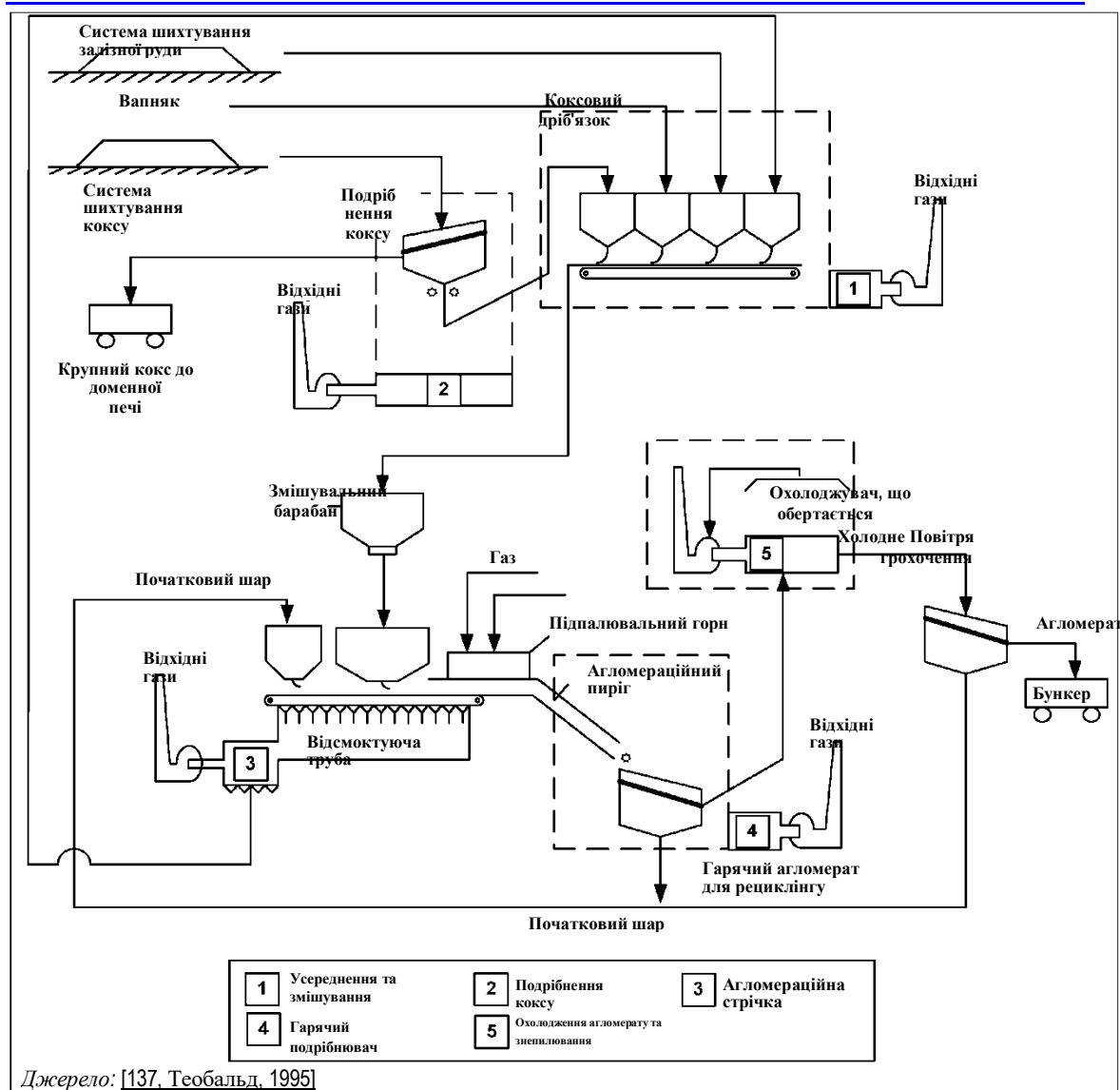


Рис. 3.2. Принципова схема агломераційної установки із зазначенням основних точок викидів

Застосовуються також інші конструкції; установка, представлена на рис. 3.2, оснащена подрібнювачем коксу і бункером для усереднення; димові труби на рисунку вказують джерела викидів; в реальності має бути менше димових труб, так як в кожній трубі можна об'єднувати кілька потоків відхідних газів.

3.1.3 Робота агломераційної стрічки

[7, Боте, 1993] [29, ЄК Агломераційні установки/BF, 1995] [93, Мацке, 1987] [145, коментарі UBA, 1997]

Агломераційна установка по суті складається з великих рухливих колосникових решіток з високоміцного чавуну (див. рис. 3.1). Матеріал, який має спікатися, розміщується зверху шару завтовшки 30-50 мм з агломерату, що рециркулюється. Цей нижній шар запобігає провалюванню суміші через щілини в решітці та захищає ґрати від прямого тепла горючої суміші.

На сучасних агломераційних установках товщина шару матеріалів, які повинні спікатися, становить приблизно 400-600 мм, а для старих установок вона зазвичай менше. На початку решітки система газових пальників підпалює коксовий дріб'язок в суміші.

У процесі зі зворотною тягою потужний вентилятор жене технологічне повітря по всій довжині шару, що спікається, до розподільних камер, розташованих під ґратами, які називаються вакуум-камерами. Потік відхідних газів від агломераційної установки варіюється від 333 000 до 160 000 м³/т сортованого агломерату, залежно від продуктивності установки та робочих умов. Зазвичай питомий потік відпрацьованих газів становить від 1500 до 2500 нм³/т. Більшість агломераційних установок із великою поверхнею спікання (більше 250 м² та/або із шириною решітки більше 3 м) має два газозбірники відхідних газів з окремими вентиляторами і пристроями знепилювання, які можуть використовуватися для сучасних способів зниження викидів.

У міру проходження суміші, що спікається, по довгій решітці фронт горіння переміщується вниз через суміш. Це сприяє отриманню достатньої кількості тепла (1300 – 1480 °С) для спікання дрібних частинок у пористий матеріал, який називають агломератом.

Протягом процесу спікання відбувається ряд хімічних і фізико-хімічних реакцій. Вони призводять як до утворення власне агломерату, так і пилу та газоподібних викидів. Реакції між розплавом, твердими і газоподібними фазами, які є в зоні спікання, взаємно накладаються. Трапляються такі процеси та реакції:

- випаровування вологи;
- попередній нагрів і випалювання основних сполук, розпал коксового дріб'язку і реакції між вуглецем, піритом, сполуками хлору і фтору та киснем повітря;
- розкладання гідратів і карбонатів;
- реакція між оксидом кальцію та гематитом;
- реакція між силікатною фазою і оксидом кальцію та фазами оксиду заліза з утворенням розплавленого силікату і зростанням частки розплавлених фаз;
- утворення сполук кальцію із сіркою та сполук, у яких містяться фториди разом із хлоридами лужних металів і хлоридами металів;
- відновлення оксидів заліза до металевого заліза у високотемпературній зоні;
- ефекти утворення порожнин і каналів при спалюванні коксу і випаровуванні вологи;
- вторинне окислювання і процеси рекристалізації з ефектами усадки, зчеплення і затвердіння протягом охолодження агломерату;
- утворення тріщин внаслідок термічної деформації при охолодженні агломерату та утворенні дефектів у мікроструктурі агломерату.

На рис. 3.3 показані температура і зони реакції в шарі агломерату через 6 хвилин після розпалювання.

Відхідні гази з агломераційної стрічки містять частинки важких металів, переважно у вигляді сполук заліза, але також й інші, перш за все сполуки свинцю, хлориди лужних металів, оксиди сірки, азоту, хлорид і фторид водню, вуглеводні, монооксид вуглецю. Крім того, є досить значні кількості слідів речовин ПАН і ароматичних галогенорганічних сполук типу PCDD/F і PCB. Характер різних викидів (H₂O, O₂) показаний на рис. 3.5, а викиди забруднюючих речовин (CO₂, CO, SO₂, NO_x та PCDD/F) – на рис. 3.5 і рис. 3.7. Газоподібні викиди від агломераційної установки дають значний внесок до загальних викидів від металургійних заводів із повним циклом. Детальна інформація про шляхи утворення, кількості викидів та характер викидів окремих забруднюючих речовин від агломераційної стрічки наведена в п. 3.2.

Коксовий дріб'язок повністю згоряє перед досягненням кінця решітки, а останні один або два вакуум-камери використовуються для початку проведення процесу охолодження. Охолоджувач може бути вбудований в агломераційну стрічку, але зазвичай використовують окремий охолоджувач (наприклад, ротаційний охолоджувач). У кінці стрічки агломерат падає на зубчастий подрібнювач (дробарку), де він розбивається.

На багатьох установках агломерат потім піддається процесу просіювання, при якому відокремлюються частинки з розміром менше 5 мм і піддаються рециклінгу, потрапляючи до вихідної суміші (див. рис. 3.2).

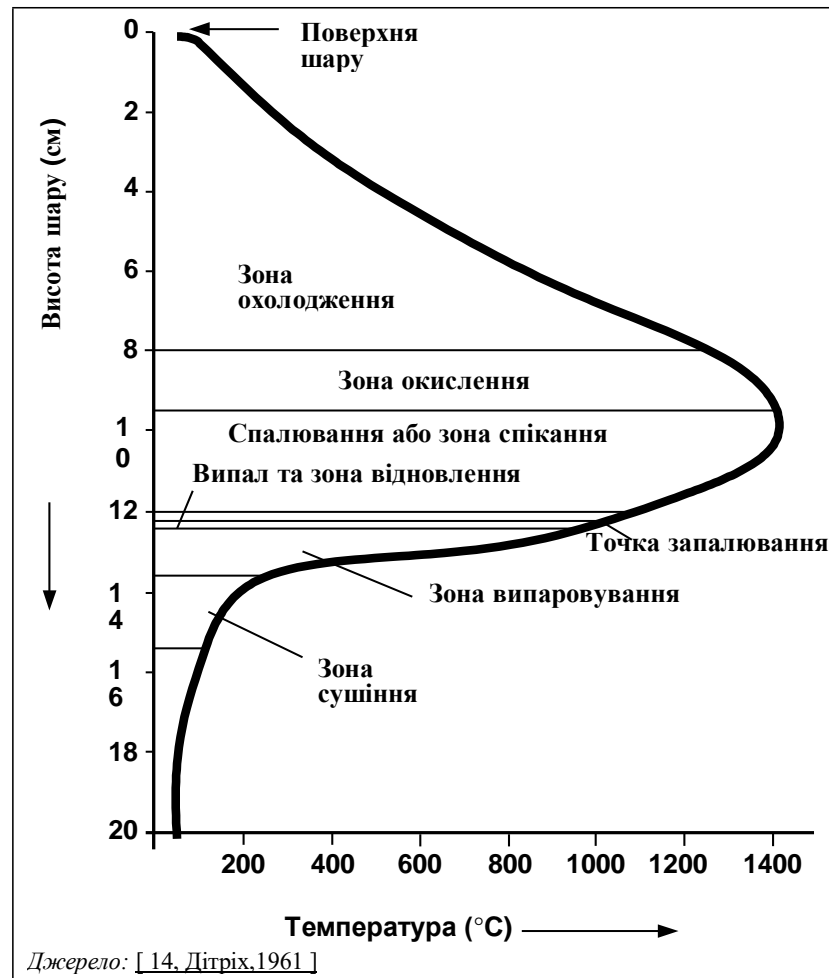


Рис. 3.3. Схема розподілу температур і реакційних зон у процесі спікання через шість хвилин після розпалювання

3.1.4 Грохочення гарячого й охолодженого агломерату

[29, ЄК Агломераційні установки/BF, 1995]

У більшості випадків (тобто, коли охолодження не вбудоване в агломераційну стрічку) після скидання агломерату, подрібнення (дроблення) та просіювання спечений матеріал надходить на охолоджувач. Охолоджувач зазвичай має ротаційну конструкцію з діаметром близько 20-30 м, в якому агломерат розміщується шаром завтовшки понад 1 м. Агломерат охолоджується повітрям, яке примусово подається через шар вгору або вниз. Витрата газу для охолодження агломерату висока, і вона залежить від виду і строку служби системи, що використовується. Зазвичай питома витрата становить від 1 000 до 15 000 $\text{м}^3/\text{т}$ агломерату. Фізичне тепло відхідних газів при охолодженні агломерату (температура яких може доходити до 300 °C) може використовуватися в котлі-утилізаторі за допомогою рециркуляції гарячих газів для підігріву повітря для спалювання в горні запалювання, або для підігріву шихти, або для процесу спікання. Відомі також інші конструкції охолоджувача.

Охолоджений агломерат подається на грохоти, в яких відокремлюються фракції, що використовуються в доменній печі (4-50 мм), від фракцій, які повернуться до процесу спікання (0-5 мм як «повернення» і 10-20 мм як «шар постілі»).

3.2 Поточні рівні викидів і споживання

3.2.1 Огляд основних потоків і даних споживання та виробництва

[30, Рьодерер та ін., 1996] [300, Eurofer, 2007]

На рис. 3.4 наведена схема вхідних і вихідних основних потоків для агломераційної установки. Цю схему можна використовувати для збору даних від агломераційних установок.

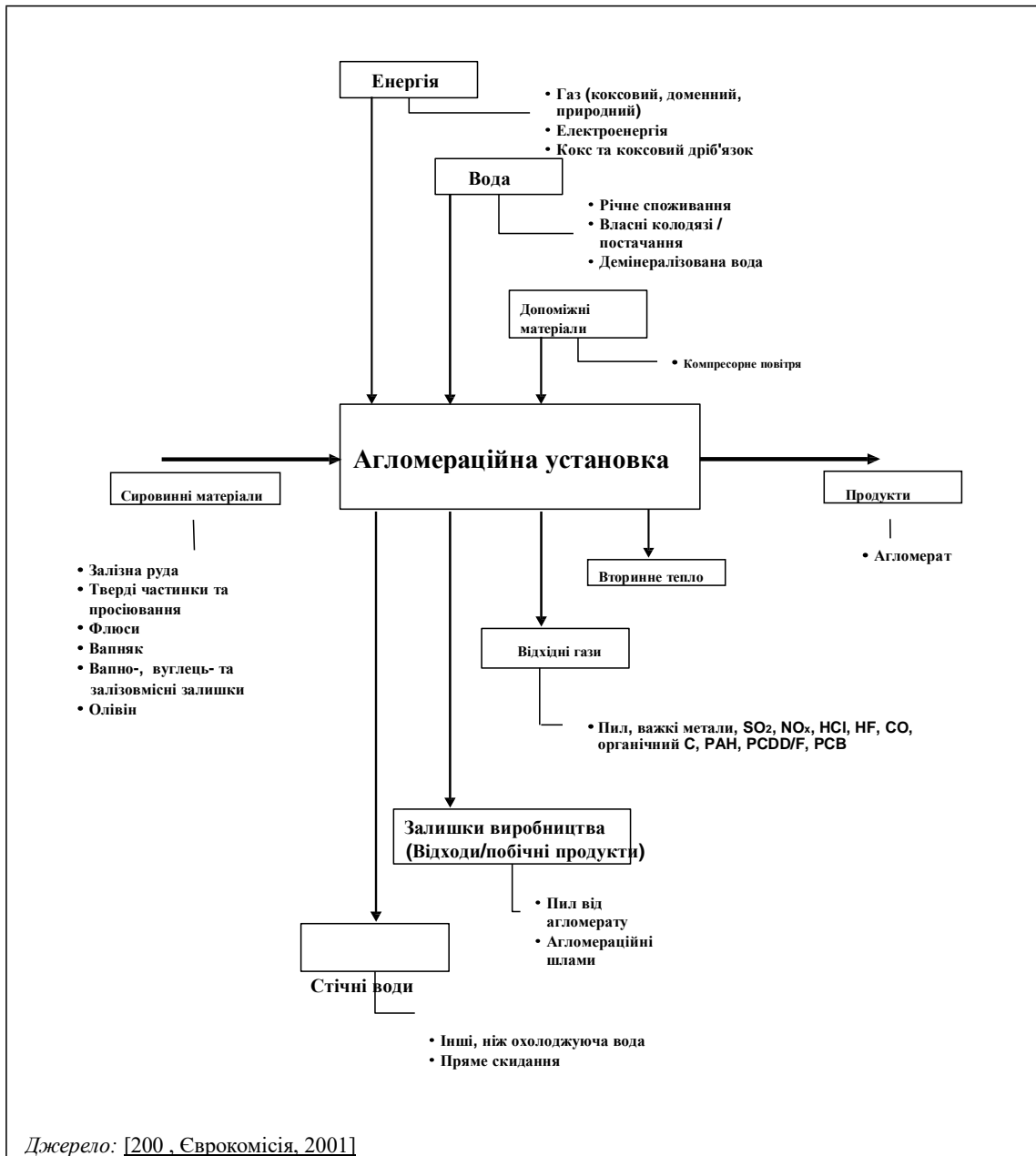


Рис. 3.4. Загальне уявлення про потік сировини для агломераційної установки

Визначено питомі виробничі фактори та питомі коефіцієнти викиду для агломераційних установок. У табл. 3.2 наведені ці дані для значної кількості агломераційних установок у Європі, на частку яких доводилося виробництво 91,13 млн т агломерату в 2004 році.

Таблиця 3.2: Питомі коефіцієнти сировини, що надходила для виробництва агломерату в ЄС-25 у 2004 році

Виробництво сортового агломерату		Одиниці	Середнє надходження		
Сировинні матеріали					
Залізна руда		кг/т агломерату	813,1		
Внутрішні повернення ⁽¹⁾			250,7		
Вапняк/доломіт			131,1		
Повернення з доменної печі ⁽²⁾			63,0		
Матеріали, що повернули ⁽³⁾			51,8		
Інше ⁽⁴⁾			31,4		
Добавки			26,4		
Пил доменної газоочистки ⁽⁵⁾			12,7		
Вапняк			10,2		
Разом сировинних матеріалів			1390,4		
Енергія					
		Одиниці	Максимум	Мінімум	Середнє надходження
Паливо:	Гверде паливо ⁽⁶⁾	МДж/т агломерату	1 834	1 254	1 276,6
	Коксовий/доменний/природний газ		185	35	67,0
Електроенергія:	Для вентиляторів		91	30	39,4
	Разом		155	92	- ⁽⁷⁾
<p>(1) Відсіяний агломерат, зібраний в процесі спікання.</p> <p>(2) Відсіяний агломерат після грохоту перед завантаженням в доменну піч.</p> <p>(3) Матеріали від різних видів діяльності заводу, включаючи відновлені флюси.</p> <p>(4) Включені гранули і пряме завантаження шматкової руди, відсів після інших ліній тощо.</p> <p>(5) Грубозернистий пил від очищення доменного газу.</p> <p>(6) Наприклад, коксовий дріб'язок, антрацит, за винятком внеску енергії від доменного газу.</p> <p>(7) Дані щодо можливого середнього надходження електроенергії не було надано.</p> <p>Примітка: Загальний тоннаж, на якому засновані дані, дорівнює 91,13 млн т, що еквівалентно 79-82% всього виробництва агломерату в країнах ЄС-25 у 2004 році. Усі дані представлено на основі конкретного середньорічного рівня (наприклад, т/т агломерату).</p> <p>Джерело: Технічний обмін даними Eurofer з доменних печей та агломераційних установок у 2004 році, а також дані з додаткових установок, де це можливо. [177, Eurofer, 2009] [299, Eurofer, 2007].</p>					

У табл. 3.3 наведено вихідні дані для п'яти аглофабрик в Європі, на які доводилося виробництво 52,6 млн т агломерату в 1999 році.

Таблиця 3.3: Питомі витрати ресурсів за 1999 рік із п'яти агломераційних установок у чотирьох країнах-членах ЄС (Австрія, Бельгія, Німеччина та Нідерланди)

Виробництво сортового агломерату	Одиниці	Максимум	Мінімум
Матеріали, що надходять			
Вода	м ³ /т агломерату	0,35	0,01
Компресорне повітря	нм ³ /т агломерату	3	1,2
Джерело: [200, Єврокомісія, 2001].			

У табл. 3.4 показані викиди від агломераційної стрічки в основній димовій трубі (точка викидів 3 на рис. 3.2). Ці дані виражені як питомі середньорічні (наприклад, г/т агломерату).

Таблиця 3.4: Усереднені максимальні та мінімальні концентрації викидів у відхідних газах агломераційної стрічки після очищення для виробництва агломерату в ЄС-25 за 2004 рік

Параметр	Одиниці	Макс. значення	Мін. значення	Кількість значень	Виробництво агломерату щодо якого є дані, тис. т	
Викиди у повітря						
Витрата газу ⁽¹⁾	нм ³ /т агломерату	2 500	1 500			
Пил ⁽²⁾	г/т агломерату	559,4	40,7	21	94 321	
PM ₁₀ ⁽²⁾		177,13	66,30 ⁽³⁾	13	60 385	
As	мг/т агломерату	15,0	0,6	15	66 358	
Cd		276,7	0,2	18	77 731	
Cr		125,1	3,6	16	69 140	
Cu		600,5	1,9	16	69 140	
Hg		207,0	0,1	17	72 693	
Mn		539,4	3,4	13	56 612	
Ni		175,6	1,3	17	65 492	
Pb		5 661,2	26,1	16	69 140	
Se		120,5	21,8	8	40 598	
Tl		86,6	0,5	12	56 612	
V		158,5	0,6	12	47 156	
Zn		1 931,3	2,1	17	75 197	
HCl		г/т агломерату	847,6	1,4	18	63 579
HF			8,2	0,4	17	59 129
NO _x ⁽⁴⁾	1 031,2		302,1	21	94 321	
SO ₂	973,3		219,9	21	94 321	
CO	37 000		8 783	19	81 284	
CO ₂ ⁽⁵⁾	368 000		161 533	15	81 326	
Метан	412,5		35,5	12	48 835	
NM VOC (леткі неметанові органічні сполуки)	260,9		1,5	15	56 901	
Загальні РАН ⁽⁶⁾	мг/т агломерату	591,7	0,2	10	40 441	
BaP	мг/т агломерату	41,5	0,1	11	41 243	
PCDD/F ⁽⁷⁾	мкг I-TEQ/т агломерату	16	0,15	18	74 249	
PCB ⁽⁸⁾	нг TEQ/т агломерату	178,0	24,5	5	13 008	
PCB ⁽⁹⁾	мг/т агломерату	13	1	2	–	
Залишки виробництва (відходи/побічні продукти)						
Пил	г/т агломерату	3 641,29	171,05	5	23 021	
Шлам	г/т агломерату	4 492,18	472,73	3	11 341	
Стічні води	м ³ /т агломерату	0,06	0,03	2	7 028	
<p>(1) Середня питома витрата газу 2 100 нм³/т агломерату.</p> <p>(2) Значення відповідають викидам з основної димової труби (точка викидів № 3 на рис. 3.2). Інші викиди пилу з агломераційної установки представлені в табл. 3.5</p> <p>(3) Те, що мінімальне значення PM₁₀ вище, ніж мінімальне значення для пилу, представляється аномальним. Це пов'язано з тим фактом, що деякі установки дають неповний набір даних (і тому установка з мінімальним значенням PM не надає даних для PM₁₀).</p> <p>(4) Оксиди азоту виражаються як NO₂.</p> <p>(5) Коли використовуються руди у вигляді карбонатів заліза, концентрація CO₂ у відхідних газах зростає так, що застосування EOS може помітно перешкоджати процесу спікання. Викиди CO₂ на установках, на яких не використовуються карбонатні руди, в середньому складають від 161 до 368 кг/т агломерату, в той час як на установках, що використовують карбонатні руди, середнє значення може бути у 2 рази вище.</p> <p>(6) Загальні РАН (Borneff 6).</p> <p>(7) PCDD/F виражаються як I-TEQ.</p> <p>(8) PCB виражаються як WHO (DJP) (12) TEQ (PCB 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189, 77, 81, 126, 169). Більше інформації можна знайти в Додатку III, в п. 13.3.</p> <p>(9) Сума всіх PCB, розрахована з (ΣPCB 28 + 52 + 101 + 153 + 138 + 180) + 5 (коефіцієнт 5 відповідно до [155, UN-ECE Pops, 1997]) і для 2 100 м³ відхідних газів/т агломерату.</p> <p>Примітка: Усі дані представлено на основі конкретного середньорічного рівня (наприклад, г/т агломерату). Джерело: [209, ЄК, 2005] [244, Плікерт, 2007] [262, Пютц та ін., 1996] [299, Eurofer, 2007] [300, Eurofer, 2007] [372, чеський член ТРГ, 2008].</p>						

Табл. 3.6 доповнює зміст табл. 3.4 діапазоном викидів твердих частинок в атмосферу при режимах роботи, при яких можуть утворюватися вторинні викиди, які можуть робити внесок до розсіяних викидів, якщо не відбувається ефективного уловлювання і знепилювання за допомогою «системи вторинного знепилювання». Не вловлені розсіяні викиди виключаються.

Системи вторинного знепилювання зазвичай складаються з ефективного блоку вловлювання і знепилювання, що доповнює основну систему знепилювання. Вона може включати шар «постілі», зону розвантаження стрічки з подрібненням агломерату та просіюванням, а також пункти перевантаження конвеєра агломерату. Підтвердження наявних даних демонструє, що розподіл вторинних джерел не завжди відбувається однозначно, наприклад знепилювання охолоджувача іноді розглядається окремо, а іноді включається у вторинні викиди.

Пил після електрофільтрів або рукавних фільтрів повертається до сировинної суміші.

Таблиця 3.5: Діапазони викидів твердих частинок для точкових джерел на установці для спікання (за винятком основної димової труби)

Точка викидів ⁽¹⁾	Операції	Пил	PM ₁₀	Пил	PM ₁₀
		г/т агломерату		мг/м ³	
1	Усереднення та змішування	0,5 – 37,7	5,6 – 18,9	NA	NA
4	Вторинне знепилювання: <ul style="list-style-type: none"> • зона вивантаження стрічки • гаряче подрібнення (дроблення)/просіювання • позиції перевантаження з конвеєра 	14,5 – 40 ⁽²⁾	7,7 – 25,1 ⁽²⁾	7 – 50 ⁽²⁾	4 – 43 ⁽²⁾
5	Охолодження агломерату	14 – 212	1,3 – 42,8	0,6 – 85 ⁽³⁾	0,6 – 36

(1) Номер точок викидів наведено на рис. 3.2.
(2) Ці дані можуть також включати викиди з охолоджувача агломерату.
(3) Виключено значення 390 мг/м³ з одиничною установки.
Примітка: NA – дані відсутні або даних занадто мало. Дані відповідають 2004 року.
Джерело: [300, Eurofer, 2007].

Охолодження агломерату (див. точку викидів № 5 на рис. 3.2) відбувається з дуже великою кількістю охолоджуючого повітря. Так як охолоджувачі звичайні, але не повністю покриті, відбуваються розсіяні викиди.

У табл. 3.6 включені дані для викидів пилу із системи вторинного знепилювання для трьох агломераційних установок в ЄС.

Таблиця 3.6: Викиди пилу від системи вторинного знепилювання на трьох установках в ЄС

Забруднювач	Рівень викидів	Перцентиль		Одиниці вимірювання	Період часу відліку
		5 %	95 %		
(1) Знепилювання в камері спікання (точка викидів 4) (2)					
Пил	3 – 21	5	25	мг/нм ³	ННАV (с) (3)
Зона вивантаження агломерату, гаряча дробарка і точки передачі з контейнера – знепилювання (точка викидів 4) (2)					
Пил	19	9,5	32	мг/нм ³	DAV(4)
Знепилювання після охолоджувача агломерату (точка викидів 5) (2)					
Пил	17,6	7	24,5	мг/нм ³	ННАV (с) (3)
(1) Середньорічні значення. (2) Номер точок викидів наведено на рис. 3.2. (3) ННАV (с) – півгодинне середнє, що вимірюється безперервно. (4) DAV – середньодобове значення. Примітка: Перцентиль – значення, задане величиною із фіксованою ймовірністю. Джерело: [244, Плікерт, 2007].					

3.2.2 Екологічні проблеми для процесу агломерації

Як уже зазначалося, викиди у повітря від установок агломерації, передусім від стрічки, мають високу значимість для навколишнього середовища. Ще одна важлива проблема пов'язана з енергією. Пункти з 3.2.2.1 по 3.2.2.5 присвячені опису найважливіших екологічних проблем для агломераційних установок.

3.2.2.1 Викиди у повітря

3.2.2.1.1 Викиди пилу від поводження, дроблення, просівання і транспортування сировини для агломерації

При поводженні, дробленні, грохоченні та транспортуванні сировинних матеріалів або агломерату відбуваються викиди пилу (вторинні викиди). Ці викиди пилу можна зменшити за допомогою заходів належного придушення або відведення та очищення.

3.2.2.1.2 Викиди відхідних газів від агломераційної стрічки

[101, Нойшютц та ін., 1996] [215, BSS, 2007]

Як згадувалося в п. 3.1.3 і табл. 3.4, питома витрата відхідних газів порівняно висока (1500-2500 нм³/т агломерату). На рис. 3.5 представлена загальна картина, що стосується змішаних відхідних газів від агломераційної стрічки в цілому. Хоча склад відхідних газів, що виходять з окремих вакуум-камер, суттєво відрізняється, він має деякі особливості. На рис. 3.5 показаний типовий характер викидів CO₂, CO, O₂ та H₂O у газах уздовж агломераційної стрічки. Ці параметри заважають встановленню рівноваги в різних реакціях. Є також криві характеристик для температури, вмісту HCl, SO₂, NO_x та PCDD/F (див. рис. 3.7 та п. 3.1.4), які також можуть існувати для інших забруднюючих речовин. Деякі параметри, такі як вміст CO, CO₂, H₂O, O₂, NO_x і SO₂, можна розрахувати за допомогою відповідних моделей.

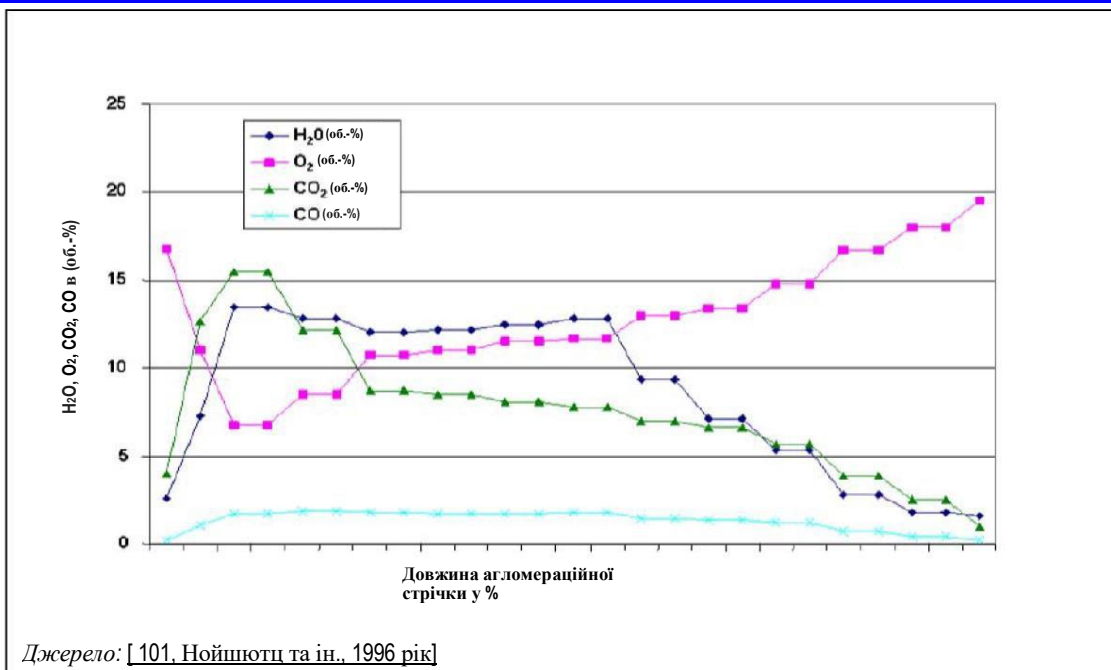


Рис. 3.5. Типовий характер викидів CO₂, CO, O₂ та H₂O у відхідних газах (одна вакуум-камера) уздовж агломераційної стрічки

3.2.2.1.2.1 Пил

[7, Боте, 1993] [45, Геберт, 1995] [300, Eurofer, 2007]

Кількісний аналіз розподілу часток пилу за розмірами від агломераційної стрічки перед очищенням показує два максимуми: один для великих частинок пилу (з розміром близько 100 мкм) і один для РМ₁ (0,1 – 1 мкм) (рис. 3.6). Ця характерна «суміш двох компонентів пилу» може бути пояснена існуванням процесів утворення двох видів пилу.

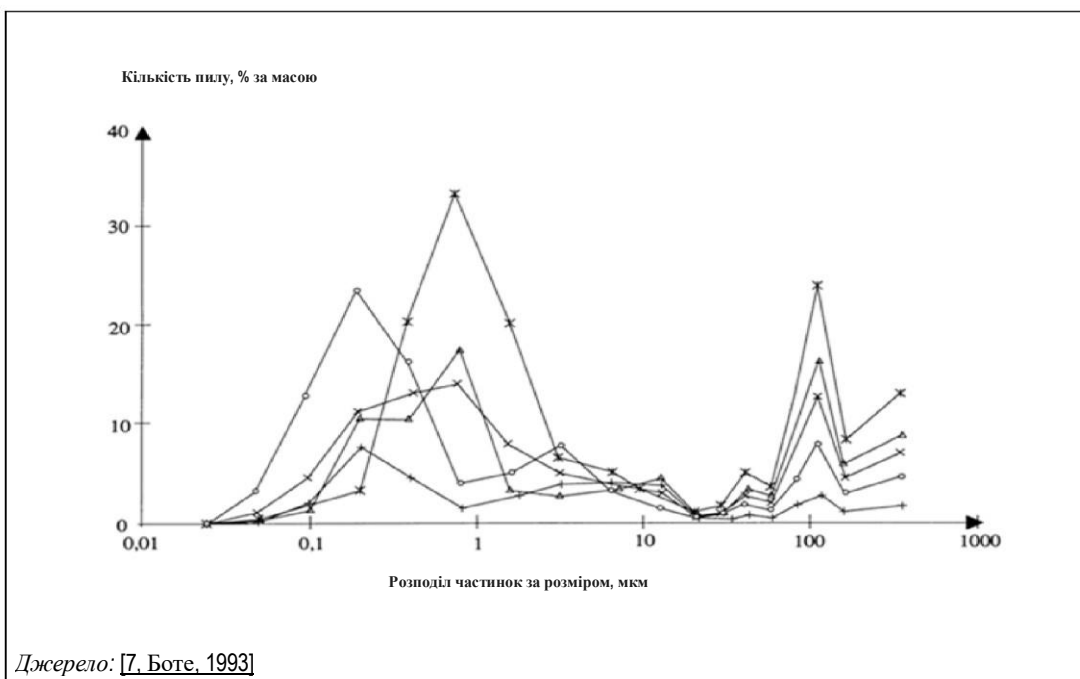


Рис. 3.6. Розподіл за розміром частинок і вагою пилу від різних агломераційних стрічок

Великі частинки пилу утворюються на початку стрічки, їхнім джерелом походження є шихта агломерату та нижній шар, в той час як тонкодисперсний пил утворюється в зоні спікання після повного випаровування води в суміші. Склад великих частинок пилу пов'язаний зі складом сировини агломерату, і їх можна відокремити в електрофільтрах (ESP) з високою ефективністю. Проте, тонкодисперсний пил складається із хлоридів лужних металів і свинцю, які утворюються в процесі власне спікання (див. п. 3.1.3). Хлориди лужних металів мають високий питомий опір (між 10^{12} і 10^{13} Ом), і, в такий спосіб, утворюється ізоляційний шар на електродах. Цей шар викликає серйозні проблеми для видалення пилу, так як зменшується ефективність електрофільтру. Згідно з даними роботи [7, Боте, 1993], хлориди лужних металів можуть бути видалені тільки при середній ефективності близько 60 %. Наявність цих тонкодисперсних частинок у пилу означає, що звичайні ESP, які були добре спроектовані та належно експлуатуються, зазвичай не в змозі досягнути концентрації пилу в очищеному газі нижче 100 – 150 мг/м³. Наявність цих тонкодисперсних частинок у пилу викликає необхідність використання рукавних фільтрів або ESP, які добре обслуговуються, із селекцією імпульсів, або подібними сучасними технологіями контролю, за допомогою яких досягається концентрація пилу 50 мг/м³. Під час використання електрофільтрів із рухомими електродами (МЕЕР) можна домогтися середньодобових значень <50 мг/м³. За умови, що пил із доменної печі очищується та відділяється в самостійний потік із високим вмістом хлоридів із третього і четвертого полів електрофільтру, можна досягнути середньодобових значень <30 мг/м³ [326, Бухвальдер, Дж. та ін., 2008].

Хлориди свинцю поведуться подібно до хлоридів лужних металів; отже, порівняно високий рівень викидів свинцю з основних димових труб агломераційних установок ускладнює видалення пилу. У табл. 3.7 наведені діапазони, виявлені під час елементного аналізу пилу з агломераційних стрічок.

Таблиця 3.7: Діапазони, виявлені під час елементного аналізу пилу з агломераційної стрічки

Параметр	% за масою
Fe (загальний)	43,7 – 49,9
Cl	2,9 – 25,8
S	0,22 – 4,07
Si	2,73 – 3,62
C	2,9 – 6,12
P	0,01 – 0,24
K	3 – 9,07
Ca	7,55 – 7,83
Al	0,43 – 2,17
Mg	1,01 – 1,04
Zn	0,03 – 0,34
Mn	0,10 – 0,31
Cu	0,005 – 0,17
Cr	0,04 – 0,15
Pb	0,09 – 5,98
Na ₂ O	0,58 – 31,6
Ni	0,003
Cd	0,0009
TiO ₂	0,099
Примітка: Пил з електрофільтру агломераційної установки, що працює за температури 120-130 °C і тримає три поля. Дані для пилу з третього поля. Аналіз за допомогою рентгенівської флуоресценції та на ЗОВ.	
Джерело: [224, Експе, 2002] [231, Експе та ін., 2002] [234, Польща, 2007] [387, Фішер та ін., 2005].	

3.2.2.1.2.2 Важкі метали

[7, Боте, 1993] [9, Фішер та ін., 1998] [87, Медінгер та ін., 1996] [93, Мацке, 1987] [143, UA-OÖ, 1998] [299, Eurofer, 2007] [300, Eurofer, 2007]

Проблеми викидів важких металів з агломераційних установок можуть бути дуже важливими, особливо у випадку свинцю.

Свинець

Протягом процесу спікання шихти утворюються різні сполуки свинцю PbO - $PbCl_2$, $PbCl_2$ та, ймовірно, також $PbCl_4$. Ці сполуки є порівняно летючими і надходять до газової фази. Їх властивості (летючість, відсутність подальшого зростання розмірів зерна, дуже тонкі кристали $PbCl_2$) зумовлюють зростання середньорічних викидів до 10 г/т агломерату в неочищених газах (що еквівалентно середній концентрації у викидах приблизно 3 мг Pb/nm^3 , На основі питомої витрати відхідних газів 2100 nm^3/t агломерату). Внаслідок особливих характеристик пилу з агломераційної стрічки (високий вміст хлоридів лужних металів) ефективність видалення навіть при добре спроектованому ESP не буде високою для частинок дуже малого розміру. Дані аналізу з осадження на листях дерев свідчать, що концентрації сполук свинцю в навколишньому повітрі у зоні впливу аглофабрики можуть бути суттєво вищими ніж загальний рівень.

Найважливішим фактором в утворенні хлориду свинцю є не концентрація свинцю в шихті агломерату (зазвичай 40 – 100 г Pb/t агломерату), а концентрація хлориду (зазвичай 200 – 700 г Cl/t шихти агломерату). Щодо вмісту хлоридів, є також дані про кількість у десять разів меншу, що може корелювати з меншими викидами свинцю.

Характер розподілу викидів уздовж агломераційної стрічки демонструє, що випаровування свинцю відбувається на перших двох третинах стрічки.

Багато агломераційних установок в Європі працюють із використанням пилових фільтрів, що працюють у замкнутому циклі. Це означає, що увесь пил, який осаджується у фільтрі ESP, піддаватиметься рециклінгу з поверненням на стрічку. Порівняно із пиловими фільтрами, що працюють у частково відкритому циклі (пил від останнього поля ESP, який складається переважно із хлоридів лужних металів, направляється на полігон), установки із замкнутим циклом мають підвищені викиди хлоридів лужних та інших металів. У цьому сенсі також див. результати вимірювань у п. 3.2.2.1.2.1, запозичені з роботи [326, Бухвальдер, Дж. та ін., 2008], з рециклінгом пилу та без нього. Залежно від вмісту фторидів у шихті агломерату, можуть також утворюватися фториди свинцю. Вони ще більш летючі й також додають свинцю до загальних викидів.

Ртуть

Ртуть надходить у газову фазу безпосередньо у процесі спікання. Рівні викидів залежать від вмісту ртуті в шихті для підготовки агломерату, але зазвичай вони дуже низькі. Для деяких типів залізної руди (наприклад, $FeCO_3$) рівень викидів ртуті може бути значним. Повідомляли про викиди близько 15 – 82 мкг Hg/nm^3 або 0,1 – 207 мг Hg/t агломерату, коли застосовували добре спроектовані ESP та систему мокрого газоочищення як основну технологію. Такі рівні викидів можуть призвести до значно більших концентрацій у навколишньому середовищі (наприклад, визначені за відкладеннями на листі дерев) в зоні впливу агломераційної установки [299, Eurofer, 2007].

Цинк

Вміст цинку в шихті для підготовки агломерату зазвичай знаходиться в діапазоні 7 – 200 г Zn/т аглошихти. За високих температур у зоні спалювання/випалювання/окислення (див. рис. 3.3), цинк випаровується, але згодом реагує з утворенням цинкового фериту, який або залишається в агломераті, або може з високою ефективністю видалятися з використанням добре спроектованого та належно експлуатованого ESP. Температура в процесі спікання, яка залежить від вмісту коксу в суміші, може значно впливати на випаровування цинку.

У неочищеному газі цинк може перебувати на рівнях до 50 мг Zn/м³ або 100 мг Zn/т агломерату. Оброблений газ містить між 2 та 1 920 мг цинку/т агломерату, що еквівалентно середній концентрації викидів у діапазоні від 0,001 до 0,92 мг/м³.

3.2.2.1.2.3 Хлориди лужних металів

[93, Мацке, 1987]

Вміст лугів у шихті для підготовки агломерату зазвичай змінюється від 600 до 1 000 г K₂O/т шихти агломерату та від 250 до 500 Na₂O/т шихти агломерату. У деяких випадках, залежно від якості руди повідомлялося про те, що в шихті для підготовки агломерату містилося до 3 000 г K₂O/т шихти агломерату. Утворення хлоридів лужних металів протягом процесу спікання та їх негативний вплив на ефективність видалення пилу з ESP вже пояснювалися вище. У табл. 3.8 наведена інформація про вміст розчинних хлоридів у деяких шихтових матеріалах агломерату.

Таблиця 3.8: Вміст розчинних хлоридів у шихті

Матеріал	Вміст розчинних хлоридів, мг/кг
Залізна руда	27 – 159
Флюси	51 – 125
Повернення	22 – 3 800
Пил електрофільтру	2 500 – 34 074
Палива	78 – 629
Джерело: [387, Фішер та ін., 2005].	

3.2.2.1.2.4 Оксиди сірки (SOX)

[4, Бір та ін., 1991] [7, Боте, 1993] [65, InfoMil, 1997] [200, Єврокомісія, 2001] [256, Касаї та ін., 2001] [263, Касаї та ін., 2001] [300, Eurofer, 2007]

Оксиди сірки (здебільшого SO₂) в газах утворюються від спалювання сполук сірки в аглошихті. Ці сполуки сірки потрапляють здебільшого із коксовим дріб'язком. Внесок від залізної руди зазвичай у 10 разів менше. Загальне надходження сірки варіюється від 0,28 до 0,81 кг/т агломерату. Концентрації SO₂ зазвичай знаходяться в діапазоні від 200 до 1 000 г SO₂/т агломерату (що еквівалентно середнім концентраціям у викидах відхідних газів від 95 до 480 мг/м³ на основі витрати відхідних газів 2 100 м³/т агломерату). Характер викидів уздовж агломераційної стрічки виразно змінюється при значних відмінностях у концентраціях SO₂ в окремих всмоктуючих коробах (див. рис. 3.7 і рис. 3.8). Подібна поведінка викидів було виявлено у порівняно нещодавніх дослідженнях [200, Єврокомісія, 2001] [256, Касаї та ін., 2001] [263, Касаї та ін., 2001].

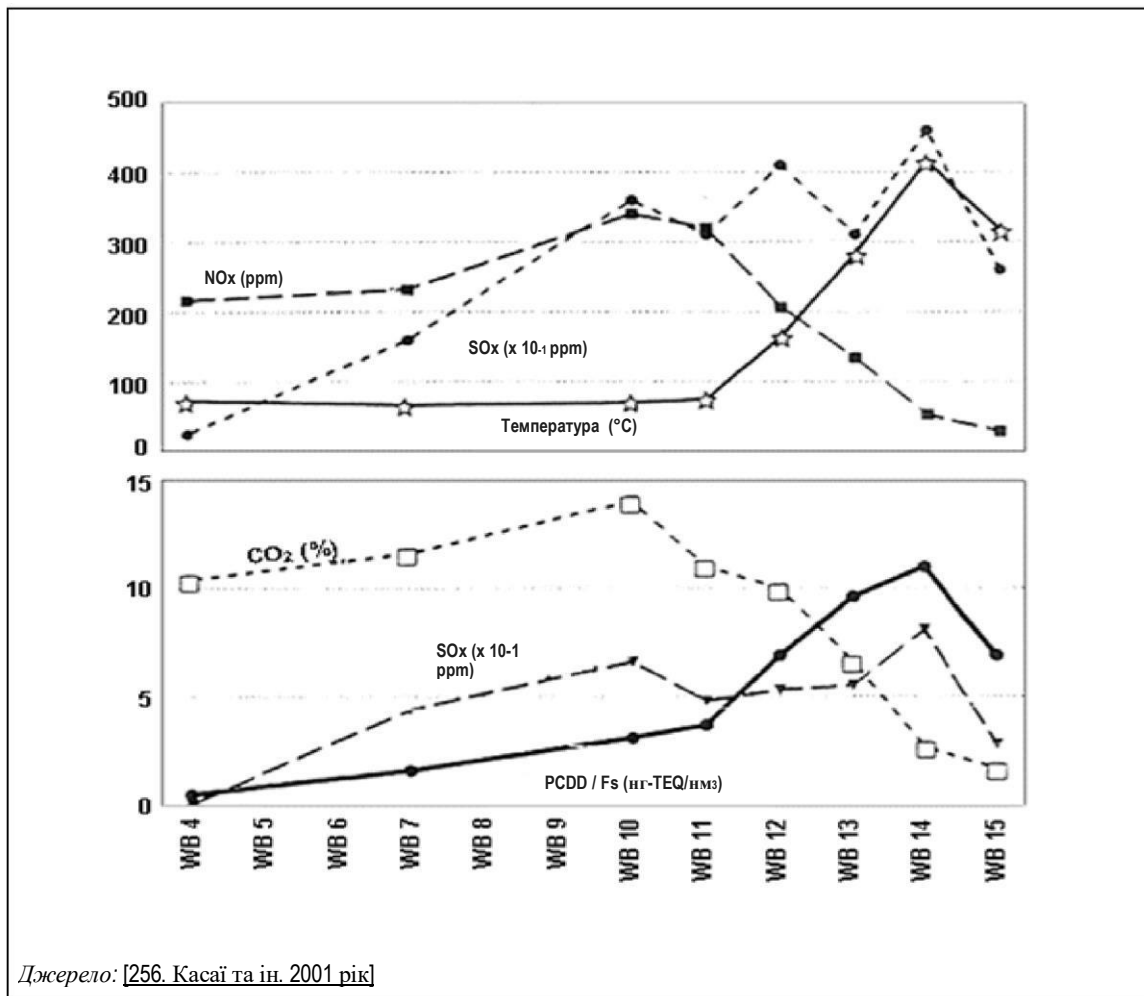


Рис. 3.7. Розподіл температури і концентрації газових сполук в газах із вакуум-камер

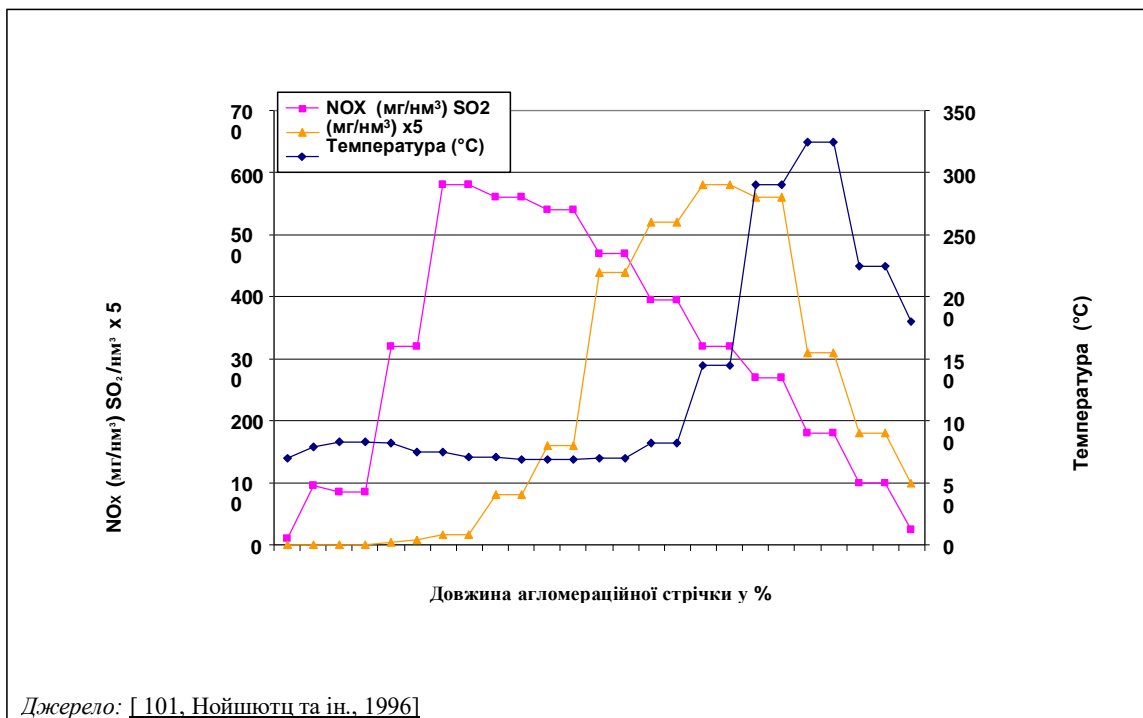
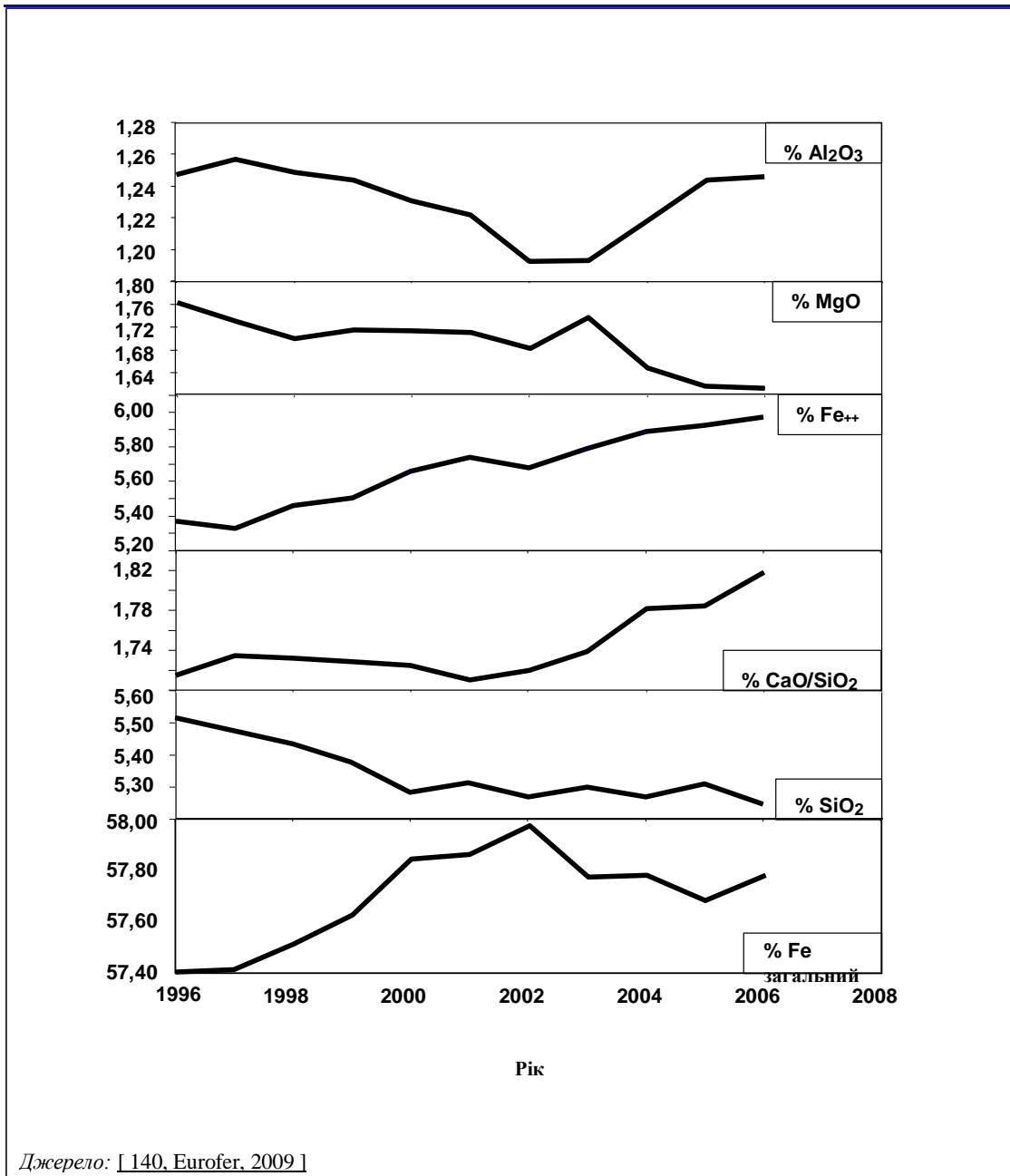


Рис. 3.8. Типовий характер викидів SO₂ і NO_x в газах (окремі вакуум-камери) і температурний профіль уздовж агломераційної стрічки

На початку стрічки вміст SO_2 низький. Тільки тоді, коли досягаються вищі температури в нижніх шарах внутрішнього шару, викиди помітно збільшуються. Найвищі концентрації відзначаються в кінці стрічки, безпосередньо перед досягненням температури спікання. Цей характер викидів може дати змогу, якщо буде потрібно, очищувати тільки частину відхідних газів (див., наприклад, комплексну технологію відповідно до часткового рециклінгу відхідних газів у п. 3.3.5.2).

Вищезгадані викиди SO_2 досягаються при використанні сировинних матеріалів із низьким вмістом сірки і в результаті удосконалень, які були проведені для зниження споживання коксового дріб'язку як палива для агломераційних стрічок. У той час як на початку 1980-х років звичайна витрата коксового дріб'язку становила близько 80 кг/т агломерату, в 2009 році її споживання було 39 – 64 кг/т агломерату (див. табл. 3.3). Крім надходження сірки із сировинними матеріалами, є також інші фактори, які впливають на кількість викидів SO_2 . Один із них – це ступінь надходження сірки в агломерат. Вона залежить від основності шихти, що надходить для підготовки агломерату. За основності до 1, більше 90 % сірки випаровується. Цей відсоток знижується за основності вище 1,5. За основності 2 виділяється 80 – 90 % сірки. На рис. 3.9 показаний середньозважений склад агломерату для установок, що беруть участь в обміні даними в Європейському комітеті з доменних печей, на які припадало близько 100 млн т агломерату на рік. Основність агломерату зросла в середньому до 1,8 з 2000 року, для того щоб досягнути самофлюсуючої шихти, що характерно для Європи в цілому. Це робить свій внесок у зниження викидів SO_2 , але доволі незначний. Крім того, поглинання сірки агломератом із високою основністю можливе тільки тоді, коли CaCO_3 , а не MgCO_3 використовується як джерело лугу.



Джерело: [140, Eurofer, 2009]

Рис. 3.9. Середньозважений склад агломерату для установок, які беруть участь в обміні даними Європейського комітету доменних печей

Незначний позитивний ефект CaCO_3 на викиди SO_2 нейтралізує його негативний вплив у зв'язку зі зростанням питомого опору пилу, який спричинений більшою основністю, що призводить до зниження ефективності видалення пилу в ESP (див. рис. 3.10).

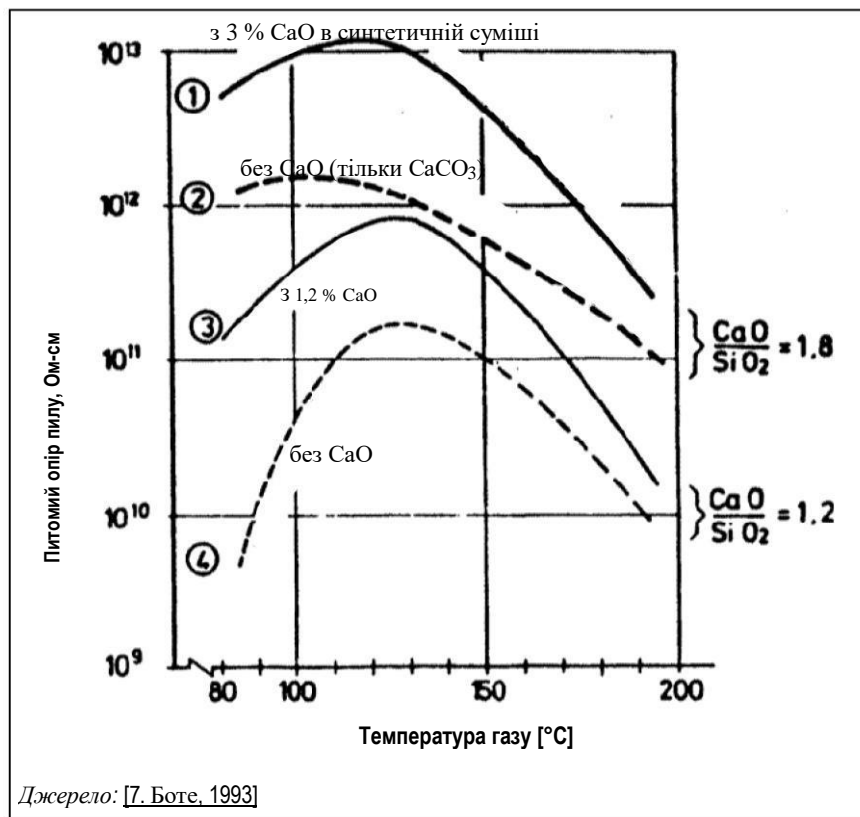


Рис. 3.10. Вплив основності агломерату (CaO/SiO_2) на питомий опір пилу

Розподіл частинок коксового дріб'язку за розмірами значно впливає на викиди SO_2 . Використання коксу з частинками більшого розміру (5 – 6 мм) замість звичайного (<3 мм) може привести до значного зниження викидів SO_2 . З іншого боку, використання більших частинок коксу може знизити продуктивність, і, тим самим, підвищити споживання палива, що усуває позитивний вплив на викиди SO_2 . Відомий приклад, в якому викиди SO_2 з рівнем 800 мг/нм^3 з використанням коксового дріб'язку (1 мм) були знижені до 500 мг/нм^3 після переходу на більші частинки (6 мм).

3.2.2.1.2.5 Фториди

[300, Eurofer, 2007]

Викиди фторидів здебільшого залежать від вмісту фторидів в руді та від основності аглошихти. У рудах, багатих на фосфор, містяться значні кількості фторидів (1900 – 2300 частинок на 1 млн). В Європі руда такого типу використовується та експортується зі Швеції. Як можна побачити на рис. 3.11, викиди фторидів значною мірою залежать від основності аглошихти. Зростання основності цієї шихти приводить до значного зниження викидів фторидів. Як було згадано вище, недоліком шихти для підготовки агломерату є утворення пилу з високим питомим опором (див. рис. 3.11). Згідно з даними табл. 3.4, викиди фториду водню знаходяться в діапазоні 0,4 – 8,2 г F/т агломерату на основі середньорічного значення $0,2 - 4,3 \text{ мг F/нм}^3$ з $2100 \text{ нм}^3/\text{т}$ агломерату.

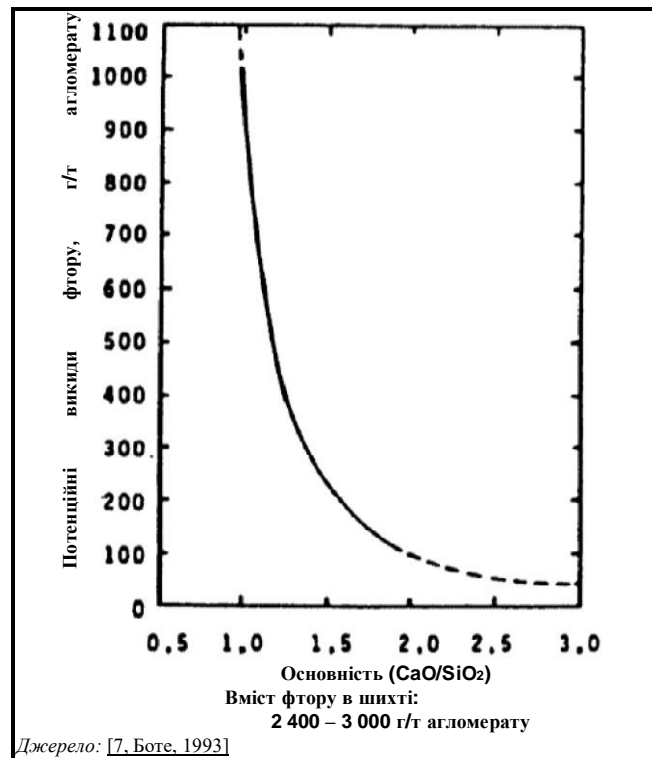


Рис. 3.11. Співвідношення між основністю агломераційної шихти і викидами

3.2.2.1.2.6 Оксиди азоту (NO_x)

[7, Боте, 1993] [65, InfoMil, 1997] [387, Фішер та ін., 2005]

Температури, що досягаються у фронті полум'я в шарі агломерату викликають утворення NO_x. Ці NO_x можуть утворюватися за допомогою: спалювання органічних сполук азоту в шихті для підготовки спікання («паливні NO_x»); реакції розкладання компонентів із молекулярним азотом (N₂); реакції молекулярного кисню (O₂) з молекулярним азотом (N₂) у повітрі для спалювання («термічні NO_x»). Паливні NO_x можуть бути найважливішими, адже становлять близько 80 % від загальної кількості, однак і термічні NO_x можуть домінувати з часткою 60 – 70 %. У табл. 3.4 наведені максимальні та середні концентрації викидів в діапазоні 302 – 1 031 г NO_x/т агломерату, і це відповідає концентрацій 143 – 491 мг NO_x/нм³ з 2 100 нм³/т агломерату. Повідомляється про концентрацію викидів до 700 мг NO_x/нм³, і це переважно стосується вмісту азоту в паливах.

Коли визначені концентрації NO_x в індивідуальних вакуум-камерах, можна помітити, що викиди NO_x не розподілені рівномірно уздовж агломераційної стрічки. Однак порівняно з викидами SO₂ різниця не настільки значна (див. рис. 3.7).

За допомогою проведення експериментів на агломераційних стрічках було засвідчено, що оксиди азоту у відхідних газах складаються переважно з NO. Крім того, було виявлено, що в ситуаціях, коли проникність шару агломерату знижується, зростання часу контакту між повітрям та шаром полегшує утворення NO_x.

3.2.2.1.2.7 Інші неорганічні сполуки

[229, Грін, 2004]

Відомо, що викиди HCN для агломераційних установок можуть бути досить високими. На одній бельгійській аглофабриці, де як паливо використовували антрацит, викиди HCN становили близько 1 646 кг/рік. На австрійському металургійному заводі, на якому виробляється 5 млн т нерафінованої сталі/рік, викиди HCN від агломераційної установки склали 1 500 кг/рік у 2004-2005 роках і 2 375 кг/рік у 2006-2007 роках. Це призводить до питомих викидів близько 0,4 г/т агломерату. Виміряні відповідні масові концентрації складають 0,17 і 0,2 мг/нм³. Варто згадати, що на обох установках використовується антрацит, здебільшого як паливо, або для зниження викидів NO_x, навіть якщо можливий вплив на утворення HCN не є важливим.

З іншого боку, два вимірювання, виконані на австрійській та німецькій агломераційних установках, показали абсолютно протилежні результати. Масова концентрація була у всіх випадках <0,02 мг/нм³, що менше границі визначення. Повідомлялося також, що масова концентрація HCN на голландській установці та на бельгійській аглофабриці за умови використання значних кількостей антрациту завжди була нижчою за границю визначення.

Ці результати представляються суперечливими. Так як залишається неясним, як може утворюватися HCN протягом спікання в рамках переважаючих окислювальних умов. Рекомендується пробний аналіз і дослідження [128, Шпоренберг, 2006] [380, компанія «Voestalpine Linz», 2008].

3.2.2.1.2.8 Вуглеводні

[7, Боте, 1993] [45, Геберт, 1995] [112, Пютц, 1995] [300, Eurofer, 2007]

Викиди вуглеводнів складаються переважно з продуктів, що утворюються при піролізі та неповному спалюванні вуглецевмісних сировинних матеріалів. Відходи, в яких містяться нафтопродукти, є основним джерелом викидів вуглеводнів з агломераційних стрічок. Наприклад за виняткових обставин в прокатній окалині може міститися до 10 % нафтопродуктів [45, Геберт, 1995]. Отже, перед поверненням в операцію спікання необхідна попередня обробка для відповідності внутрішнім стандартам. Більшість металургійних заводів із повним циклом уводять внутрішні стандарти для утримання нафтопродуктів у відходах, що піддаються рециклінгу із поверненням на агломераційну стрічку (близько <0,1 %, іноді <0,5 %, а іноді <1 %, для того щоб уникнути експлуатаційних проблем з ESP (утворення окалини), а також для мінімізації викидів. Завдяки цьому, вміст нафтопродуктів у суміші сировини, що одержують в результаті, для агломераційної стрічки має бути <0,1 %.

Вуглеводні, викиди яких утворюються в результаті випаровування перед зоною окислення/спалювання, реагують із нижніми шарами агломерату (див. рис. 3.3). Ці викиди включають метан, аліфатичні сполуки, феноли, олефіни та ароматичні сполуки. З даних, представлених в табл. 3.4, можна побачити, що леткі органічні сполуки не метанового ряду (NMVOC) знаходяться в діапазоні від

1,5 до 260 г С/т агломерату, виражені як щорічні середні (що еквівалентно концентрації викидів у газах приблизно 0,7 – 120 мг/нм³, на основі питомої витрати відпрацьованих газів 2 100 нм³/т агломерату). Діапазон викидів метану становить від 35 до 240 г/т агломерату, виражений як щорічне середнє (що еквівалентно концентрації викидів у газах приблизно 17 – 200 мг/нм³, на основі питомої витрати відхідних газів 2 100 нм³/т агломерату).

На одній бельгійській агломераційній установці продуктивністю 3,186 млн т агломерату/рік були виміряні викиди бензолу в розмірі близько 28 176 кг/рік. Отримані дані питомих викидів склали приблизно 8,84 г/т агломерату, що відповідає масовій концентрації 2,91 мг/нм³. На цій установці як паливо використовували антрацит. На австралійському заводі, де антрацит використовували для зниження викидів NO_x, виявлені викиди бензолу близько 3 600 кг/рік за 2004-2005 роки, що еквівалентно концентрації 0,35 мг/нм³ для металургійного заводу, який виробляє 5 млн т нерафінованої сталі/рік. Фактори, що впливають на викиди бензолу, не є зрозумілими але вони, ймовірно, пов'язані з високим вмістом летких матеріалів у сировинній суміші. Необхідні додаткові дослідження.

3.2.2.1.2.9 Поліхлоровані дибензо-п-діоксини та фурани (PCDD/F)

[224, Експе, 2002] [230, Брюон та ін., 2001] [258, Кузухара ін., 2003] [259, Касама та ін., 2006] [300, Eurofer, 2007]

У табл. 3.4 наведені викиди PCDD/F від агломераційних установок (від 0,15 до 14,64 мкг I-TEQ/т агломерату, виражені як щорічні середні, коли для більшості установок діапазон становив від 0,2 до

6,0 мкг I-TEQ/т агломерату. Цей діапазон еквівалентний типовим концентраціям викидів у газах від 0,07 до 2,86 нг I-TEQ/м³ (на основі питомої витрати відхідних газів 2 100 нм³/т агломерату).

Це чітко свідчить про те, що спікання є основним джерелом викидів PCDD/F на металургійних заводах із повним циклом. Тому спікання стало предметом кількох досліджень, проведених для оцінки того, де в цьому процесі та за яких умов утворюються викиди PCDD/F. Мета досліджень полягала у з'ясуванні того, як можна запобігти утворенню викидів PCDD/F та/або який остаточний спосіб зниження викидів слід використовувати, і в якому місці найбільш ефективно придушувати ці викиди. Ще одне питання полягає в оцінці споріднених сполук PCDD/F у викидах PCDD/F.

Загальний механізм утворення PCDD/F у процесі спікання є складним, і, ймовірно, є наслідком різних внесків від різних процесів, що відбуваються в різних місцях шару, внаслідок вертикального і поздовжнього розподілу температури.

Процеси утворення, ймовірно, пов'язані з конденсацією молекул попередника (вихідних речовин) і вторинного синтезу («de novo»). Втручання молекул попередника легко передбачити з потенційними попередниками для PCDD хлорфенолами або хлордіфеніл ефірами і з PCB як попередниками PCDF.

Відбувається синтез «de novo» на макроструктурному вуглеці за окислювальної атмосфери, за порівняно низьких температур. Властивості невеликих кількостей частинок залишкового вуглецю, або «сажі», які знаходяться в підвищеному стані у газах, і хлоридів металів, мабуть, чинять значний вплив на утворення PCDD/F.

Для утворення PCDD/F потрібні різні інгредієнти. У роботах [224, Експе, 2002], [255, Касаї та ін., 2001], [263, Касаї та ін., 2001], [266, Кавагучі та ін., 2002], [300, Eurofer, 2007] і [387, Фішер та ін., 2005] приведена додаткова інформація щодо того, як різні сполуки, що діють як попередники, роблять свій внесок в утворення PCDD/F. Для того, щоб пояснити процеси утворення та вимоги до попередників і до подальших технологій придушення, було проведено багато досліджень, ключові результати яких включені в такий перелік:

- вуглеводень: в рудах зазвичай містяться невеликі кількості органічних матеріалів. Основним джерелом органічних матеріалів є повернення, наприклад прокатна окалина, в якій можуть міститися нафтопродукти [257, Кавагучі та ін., 2002]. Як повідомлялося, природа коксу чинить невеликий вплив на загальну кількість PCDD/F. Мабуть, вона впливає на розподіл ізомерів. Загалом, слід зазначити, що існує пряма кореляція між кількістю органічних сполук та появою летких органічних сполук (ЛОС), і вони знову мають сильну кореляцію з концентрацією PCDD/F;
- хлор: вміст летких сполук Cl (наприклад, NaCl, KCl, CaCl₂) і органічних сполук – ефективні фактори утворення PCDD/F [257, Кавагучі та ін., 2002]. Джерелами хлору є руди, в яких містяться хлориди, та органічні хлориди, наприклад, пластик. Загальний вміст хлоридів у залізних рудах становить 12 – 720 ppm [266, Кавагучі та ін., 2002]. Вміст хлоридів у вапняку та інших флюсах знаходиться в одному і тому ж діапазоні.
З поверненнями пов'язані найбільші варіації у вмісті хлоридів, а в пилу відхідних газів є від 1 000 до 5 000 ppm Коксовий дріб'язок зазвичай має порівняно низький вміст хлоридів. Кореляції описані в роботах [255, Касаї та ін., 2001], [263, Касаї та ін., 2001], [387, Фішер та ін., 2005]

- металеві каталізатори: такі каталізатори, як Cu або Fe, можуть міститися в мінералах і коксі. Діапазон складів залізних руд наведено в роботі [266, Кавагучі та ін., 2002].

Так, діапазон від десяти різних залізних руд для міді складає від 10 до 70 ppm і для заліза від 57,2 до 67,9 % за масою;

- хлорфеноли і РСВ: це власне попередники утворення PCDD/F, і для цих сполук характерна тенденція домінування у викидах агломераційних установок (та й у викидах від інших джерел спалювання). Вони є порівняно летючими і можуть потрапити із зони горіння в шар агломерату, нагріваючись газоподібними продуктами спалювання. Деякі дослідження показують, що концентрації загальних РСВ у коксовому дріб'язку та залізних рудах складають близько 1 – 1,6 мг/кг, і розрахунки для однієї агломераційної установки вказують на потенційний внесок РСВ в утворення PCDD/F в кількості 0,85 мг/кг агломерату, і тому потенційно це суттєве джерело молекул попередника, з яких можуть з'явитися значні природні джерела;
- сажа: вона може перебувати в підвішеному стані в газах, може мати недосконалу кристалічну структуру та містити як хлориди, так і каталітичні елементи;
- PCDD/F у поверненнях також можуть робити внесок в утворення PCDD/F у газах. Вміст PCDD/F в деяких сировинних матеріалах, змішаних матеріалах та в отриманому агломераті наведено у табл. 3.9. Навіть якщо вони будуть руйнуватися на агломераційній стрічці, сполуки, що залишаються, можуть робити внесок як попередники вторинного синтезу.

Таблиця 3.9: Концентрація PCDD/F в сировині, змішаних матеріалах та агломераті, що виробляється

Матеріал	PCDD,		PCDF,		PCDD/F,	
	нг/г	нг-ТЕQ/г	нг/г	нг-ТЕQ/г	нг/г	нг-ТЕQ/г
Сухий пил ESP	4,0 – 45,1 ⁽¹⁾	1,90	24 – 87,2 ⁽¹⁾	14,4	28 – 52	16,3 ⁽¹⁾
Пил доменної печі	0,2		0,18		0,37	
Прокатна окалина	0,064		0,084		0,15	
Кокс	0,04		0,07		0,11	
Руда з повернення	0,027		0,016		0,043	
Суміш	0,033		0,12		0,15	
Вироблений агломерат	0,004		0,0008		0,005	
Гранульована суміш ⁽²⁾	0,053		0,082		0,13	

(1) Пил з електрофільтру агломераційної установки, що працює за температури 120-130 °С з трьома полями.
(2) Характеристики агломераційної установки: виробництво сухого агломерату 10 000 т/добу; ефективна площа спікання 330 м²; товщина шару 670 мм; камери відсмоктування (вакуум-камери): 21. Вологий сировинний матеріал (т/добу): залізні руди 7660; вапняк 1 090; гашене вапно 170; кокс 410; агломерат з повернення 1 770; пил 390; прокатна окалина 470, серпентин 310; інше 1 300.
Примітка: Характеристики агломераційної установки: виробництво сухого агломерату 9 600 т/добу; волога рудна суміш (з вмістом пилу 4 %, конвертерного шлаку 4 %, прокатної окалини 2 %, іншого 4 %): 10 200 т/добу; вологий вапняк 560 т/добу; вологе гашене вапно 120 т/добу; вологий кокс 310 т/добу; сухий агломерат з повернення 620 т/добу; шлак Ni 70 т агломерату/добу, вода для суміші 230 м³/добу). Ефективна площа спікання 210 м²; товщина шару 660 мм; камери відсмоктування (вакуум-камери): 15.
Джерело: [224, Експус, 2002], [256, Касаї та ін., 2001] [263, Касаї та ін., 2001].

Температури у відсмоктуючих трубопроводах є ідеальними для вторинного синтезу. Деякі секції у відсмоктуючих трубопроводах мають необхідні температури (згідно в вимірюваннями 250 та 450 °С; див. рис. 3.12). Реакція вторинного синтезу може проходити на частинках або в частках, іммобілізованих у внутрішній частині відсмоктуючих трубопроводів або системи очищення аспіраційного повітря.

Основні критерії, які потрібні для вторинного синтезу PCDD/F, включають таке: структура твердого вуглецю з недосконалою або виродженою графітовою структурою, неорганічний хлор, металеві іони міді або заліза, окислювальна атмосфера і температура в діапазоні від 250 до 450 °С. Велика частина цих критеріїв може зустрічатися в шарі агломерату і вакуум-камерах. Тому значна частина PCDD/F утворюється в процесі спікання завдяки протіканню вторинного синтезу. Дослідження, проведені у 2009 році, дають підстави вважати, що утворення PCDD/F здебільшого відбувається в самому шарі, що спікається, а не в подальшому процесі в системі відхідних газів, що зазвичай характерно для муніципальних сміттєспалювальних установок.

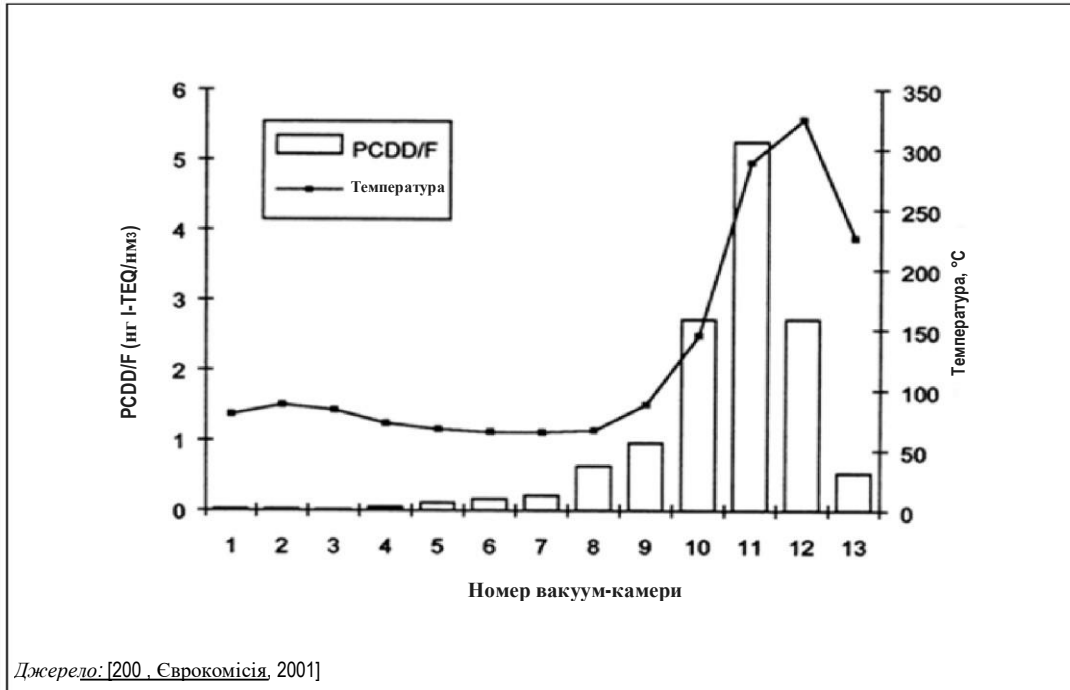


Рис. 3.12. Характер зміни PCDD/F і температури відхідних газів уздовж агломераційної стрічки

Обґрунтоване свідчення утворення PCDD/F в шарі агломерату таке: нижче агломераційної стрічки знаходяться вакуум-камери, які з'єднані з димовою трубою камерами розрідження. Для профілю викидів із вакуум-камер і камер розрідження характерна тенденція утворення піку близько точки проплавлення шихти на стрічці (рис. 3.7).

Це може відбуватися завдяки тому факту, що температури відхідних газів також мають подібну тенденцію та що можливість для вторинного синтезу, яка існує в вакуум-камерах і камерах розрідження, реалізується на цій ділянці стрічки. Однак PCDD/F є в попередніх вакуум-камерах і камерах розрідження, в яких температура нижче оптимального діапазону і вторинний синтез не реалізується. Тому зазвичай допустиме пояснення профілю для вакуум-камер і камер розрідження полягає в тому, що PCDD/F утворюються в самому шарі та послідовно уловлюються завдяки конденсації на охолоджувальній шихті за нижчої температури стрічки. Через те, що фронт полум'я рухається вниз, вловлені PCDD/F знову випаровуються та йдуть вниз через шар до щільної частини зони, досягаючи точки, де не залишається холодної шихти.

Останній механізм також підтверджується експериментом, що було перервано, в агломераційній чаші у Франції, коли було продемонстровано, що PCDD/F концентруються в холодніших частинах шару агломерату.

У процесі спікання, оскільки PCDD/F утворюється переважно в шарі агломерату, мало що можна зробити для зміни профілю температури в шарі без впливу на процес в цілому.

Тому спроби запобігти або мінімізувати утворенню PCDD/F повинні бути спрямовані на зміну умов у шарі, з метою запобігання утворенню вторинного синтезу PCDD/F і будь-яких потенційних вихідних для вторинного синтезу матеріалів.

Проте, вимірювання, проведені у двох місцях уздовж вакуум-камери за 300 °C (найближчий пункт від решітки, якого можна практично досягнути для проведення вимірювань, приблизно на 3 м вниз за течією), показали, що концентрації PCDD/F зростали в 10 разів між двома місцями відбору проб [230, Бруон та ін., 2001]. Крім того, випробування задля зниження викидів з використанням протиточного вдування інгібіторів у вакуум-камері в напрямку решітки, показали зниження концентрацій PCDD/F. Це можливо тільки у разі, якщо PCDD/F утворюються (принаймні, деякою мірою) в вакуум-камерах за цієї температури.

Якщо судити про розподіл PCDD/F, що викидаються після вторинного синтезу, то механізм їх утворення буде відрізнятися від того, при якому PCDD/F утворюються на традиційній (першій) стадії формування викидів при спіканні на агломераційній стрічці. На другій стадії PCDD/F можуть утворюватися в вакуум-камерах, з органічними речовинами і хлором, що постачаються від зон неповного спікання або з жиром і пилом у вакуум-камерах.

Характер зміни концентрацій 17 цільових груп гомологів PCDD/F може бути власне тим самим для всіх агломераційних установок Corus у Сполученому Королівстві, незважаючи на відмінності у складі сировини. За даними досліджень щодо утворення PCDD/F, проведених на агломераційних установках по всій Європі, було виявлено, що профілі конженерів (група гомологів) у викидах відхідних газів на агломераційній установці були майже тими самими для всіх агломераційних установок, незалежно від реальної концентрації PCDD/F у газах. Ці спостереження припускають, що профіль конженера є характеристикою процесу, і, мабуть, не пов'язаний безпосередньо зі значенням I-TEQ. Ці дані припускають також, що утворення PCDD/F підпорядковується термодинамічному контролю, і що загальний механізм утворення може застосовуватися до більшості, якщо не до всіх агломераційних установок. У табл. 3.10 вказано, що не в повному обсязі хлоровані конженери дібензо-п-діоксинів та дібензо-фуранів домінують у викидах поліхлорованих забруднювачів.

Таблиця 3.10: Загальні концентрації, нг/м³, груп гомологів PCDD і PCDF у пробах із вакуум-камери розрідження

Конженери (група гомологів)	Номер вакуум-камери розрідження					
	4	6	8	10	12	14
	нг/м ³	нг/м ³	нг/м ³	нг/м ³	нг/м ³	нг/м ³
Тетра CDD	0,14	1,49	0,91	2,45	0,59	0,85
Пента CDD	0,42	2,50	1,61	3,15	2,03	1,74
Гекса CDD	0,63	2,53	1,31	2,40	2,49	2,68
Гепта CDD	0,51	1,37	0,79	1,20	1,51	1,39
Окта CDD	0,90	1,40	0,88	0,94	0,93	0,70
Тетра CDF	22,86	132,48	73,16	169,17	184,50	109,87
Пента CDF	18,45	89,75	52,65	90,53	95,16	62,76
Гекса CDF	13,72	51,09	25,92	41,06	42,35	31,05
Гепта CDF	4,20	13,87	6,36	9,29	8,65	8,18
Окта CDF	1,14	3,06	1,42	2,11	2,01	1,55

Джерело: [157, Томпсон, П. та ін., 2003].

3.2.2.1.2.10 Поліхлоровані біфеніли (PCB)

[9, Фішер та ін., 1998] [122, Шольц та ін., 1997] [300, Eurofer, 2007] [387, Фішер та ін., 2005]

PCB можуть утворюватися в тих самих умовах, які були описані вище для PCDD/F. Однак у процесі їх утворення не відбувається перетворення фенільних кілець. У наступній реакції PCB, що утворюються, можуть піддаватися замиканню кільця з утворенням PCDF, але не PCDD. Отже в разі PCDF не обов'язкова наявність ароматичних попередників для їх утворення.

PCB можуть також знаходитися в сировинних матеріалах. Концентрації PCB в коксового дріб'язку і залізних руд, як повідомлялося, становили близько 1 – 1,6 мг/т, а обмежені розрахунки для однієї агломераційної установки вказали на потенційне надходження 850 мкг/т кондиційного агломерату. Чітко видно можливість того, що PCB можуть бути зруйновані в зоні згоряння (див. рис. 3.3), але слід пам'ятати, що процес спалювання не такий активний, як при спалюванні відходів, наприклад, і навряд чи слід вважати, що всі PCB у робочому повітрі можуть бути зруйновані в зоні згоряння.

Крім того, PCB є порівняно летючими і можуть бути видалені під час нагрівання шихти газоподібними продуктами спалювання перед зоною горіння.

У табл. 3.11 наведені деякі дані, які стосуються викидів PCB з агломераційних установок.

Таблиця 3.11: Викиди PCB з установок агломерації

Забруднююча речовина	Діапазон	Одиниці
PCB ⁽¹⁾	1 – 13	мг `PCB/т агломерату
PCB ⁽²⁾	24,5 – 178	нг/т агломерату
PCB ⁽²⁾	0,01 – 0,09 ⁽³⁾	нг/нм ³

(1) Сума всіх PCB, розрахована з $(\Sigma PCB\ 28 + 52 + 101 + 153 + 138 + 180) \times 5$ (коефіцієнт 5 відповідно до [155, UN-ECE Pops, 1997]). Дані для двох агломераційних установок.
(2) WHO-12 PCB (діоксиноподібні конженери, виражені в значеннях I-TEQ) (див. п.13.3).
(3) Діапазон середньорічних концентрацій викидів із використанням питомої витрати газу 2100 нм³/т агломерату.
Джерело: [300, Eurofer, 2007].

У табл. 3.12 показані конженери PCB, які були виявлені протягом аналізу відхідних газів з агломераційної установки.

Таблиця 3.12: Конженери PCB, виявлені у газах аглофабрики

Конженери PCB (номер IUPAC)	Хімічна назва
77	3,3',4,4' – TCB
118	2,3',4,4',5 – PCB
105	2,3,3',4,4' – PCB
126 ⁽¹⁾	3,3',4,4',5 – PCB

(1) Однак, для токсичності, внесок цього конженера дуже високий.
Примітка: На копланарні поліхлоровані біфеніли (ко-PCB) припадає 5-10 % від загальної токсичності PCDD/F.

Існує сильна кореляція між концентраціями PCDD/F та WHO-12 PCB (вираженими в значеннях I-TEQ) – внесок WHO-12 PCB в загальну концентрацію I-TEQ зазвичай складає 9-10 % від PCDD/F. Тісне співвідношення виявлено між концентраціями PCDD/F і PCB, і це дає підстави вважати, що є загальний зв'язок між утворенням цих сполук (див. п. 13.3).

3.2.2.1.2.11 Інші галогенорганічні сполуки

[[133, Штігліц та ін., 1997] [300, Eurofer, 2007]

Наявність PCDD/F і PCB можна вважати індикаторами утворення галогенорганічних сполук, таких як хлорбензоли, хлорфеноли, хлорнафталени тощо. Тому можна очікувати, що ці сполуки містяться у відхідних газах агломераційних установок, хоча про такі дослідження до цього часу не відомо.

3.2.2.1.2.12 Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАН)

[300, Eurofer, 2007] [387, Фішер та ін., 2005]

Як згадувалося в п. 3.1.3, реакції в шарі агломерату складні. Процес спалювання не є гомогенним і характеризується неповнотою згоряння, в результаті чого спостерігається утворення значних кількостей поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАН). Дані, представлені в табл. 3.4 показують, що середньорічні мінімальні та максимальні коефіцієнти викидів знаходяться в діапазоні 0,2 – 592 мг Borneff 6/т агломерату, що еквівалентно діапазону щорічних концентрацій викидів від 0,1 до 282 мкг Borneff 6/м³.

Кореляція між концентраціями PCDD/F і ПАН виявлена не була. Немає даних щодо того, якими є найважливіші сполуки ПАН у викидах з агломераційних установок.

3.2.2.1.2.13 Шлейфи диму

[261, Касама та ін., 2006]

Іноді на установках для спікання залізної руди з'являється видимий дим відхідних газів. Передбачаються такі причини:

- пил, який проходить через електрофільтр, це тонкодисперсний пил, з якого, як мінімум, 40 % має розмір часток 10 мкм або нижче, і здебільшого містить частинки суміші агломерату та субмікронні частки KCl;
- дуже невелика кількість SO₃ при концентрації близько 0,1 ppm знаходиться в газах від агломераційної установки, і, можливо, поява кислотної точки роси з конденсацією H₂SO₄ може викликати утворення туману і видимого диму. Наявність довгої горизонтальної смуги диму, що є характерним для відхідних газів від агломераційних установок, може бути пов'язана із впливом випаровування сірчаної кислоти в тумані;
- видалення тільки пилу за допомогою електрофільтру зазвичай недостатньо для запобігання утворення видимого диму від відхідних газів агломераційних установок; може також знадобитися обладнання для десульфурації;
- протягом нештатної роботи (наприклад, коли належно не працює установка для переробки SO_x) концентрація SO_x у газах зростає.

3.2.2.1.3 Викиди пилу від охолодження агломерату

[300, Eurofer, 2007]

У зоні вивантаження, готовий агломерат піддається дробленню, просіюється, транспортується та охолоджується. Ці операції передбачають можливість утворення викидів пилу.

Охолодження агломерату проводиться з високою кількістю охолоджуючого повітря. Так як охолоджувачі звичайні, але не повністю покриті, відбуваються розсіяні викиди. Із закритих частин викиди можна вловлювати і потім очищувати. Зменшення рівня викидів проводиться за допомогою збору, фільтрування (з використанням рукавних фільтрів або електрофільтрів) і повернення основних відхідних газів до агломераційної стрічки. Гарячі гази від охолоджувача і від просіювання агломерату можуть повертатися до процесу для утилізації фізичного тепла після попереднього очищення від пилу або без попереднього знепилювання. Часто гази від охолоджувача очищуються разом із відхідними газами, які видаляються із зони вивантаження. Обмежені дані, представлені в табл. 3.5 і табл. 3.6, вказують діапазон середньорічних концентрацій викидів від 1 до 85 мг/нм³ на стадії охолодження агломерату (цей діапазон відповідає 14 – 212 г/т агломерату).

Склад пилу в зоні вивантаження та від охолодження (вторинні викиди) відрізняється від пилу, що викидається з агломераційної стрічки (первинні викиди). Зокрема, в зоні вивантаження дуже низькі викиди хлоридів лужних металів (або вони відсутні) та мікрокількості органічних забруднювачів, і зазвичай цей пил може повторно використовуватися в процесі спікання.

3.2.2.2 Стічні води

[24, ЄК Haskoning, 1993] [65, InfoMil, 1997]

Вода для промивання

Процеси на заводах чорної металургії за своєю природою викликають відкладення пилу в різних місцях агломераційної установки. Для того, щоб попередити стік забруднень у поверхневі води, це необхідно усунути, бажано з використанням сухих технологій. Кілька установок все ж використовують різні способи очищення води для промивання. У стічних водах, що утворюються, містяться зважені тверді частинки (включаючи важкі метали), і вони зазвичай очищуються перед скиданням. Наприклад на агломераційній установці з продуктивністю приблизно 11 000 т агломерату на добу, витрата води для промивання становить близько 460 м³/добу. Ці стічні води очищуються за допомогою осадження у схемі рециркуляції та посилено безпосередньо перед скиданням. Даних для інших установок немає.

Охолоджувальна вода

На агломераційній установці охолоджувальна вода може використовуватися для охолодження запальників машини для спікання і вентиляторів, а також для агломераційних машин. На металургійних заводах із повним циклом із продуктивністю 4 млн т сталі на рік витрата охолоджувальної води для агломераційної установки повинна скласти приблизно 600 м³/год. Охолоджувальна вода зазвичай повністю використовується повторно. Законодавчі обмеження місцевих органів влади в деяких країнах вимагають попередження шлейфів диму або утворення промислового льоду від градирень для охолодження оборотної води протягом зимового періоду, що може запобігати додатковому використанню охолоджувальної води.

Стічні води від очищення відхідних газів

Стічні води від очищення відхідних газів утворюються тільки за використання мокрих систем газоочищення.

У потоці води містяться зважені тверді частинки (включаючи важкі метали), стійкі органічні забруднюючі речовини, такі як PCDD/F і PCB, PAH, сполуки сірки, фториди і хлориди. Вони зазвичай очищуються перед скиданням. Кількість і якість такої води описані в п. 3.3.2.4.

3.2.2.3 Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти [7, Боте, 1993]

Зазвичай відходи й побічні продукти, що утворюються на агломераційній установці (пил від установок для знепилювання та ситові фракції) піддаються рециклінгу на стрічці. Однак можуть бути чотири виключення:

- перше пов'язане зі шламами від систем мокрого очищення відхідних газів, які можуть бути відправлені на полігон або повернуті на агломераційну установку. Є тільки одна установка в Європі, де працює така система, яку можуть закрити у середньостроковій перспективі;
- друге пов'язане із фільтрувальною пилом від останнього поля електрофільтра. Як згадувалося раніше в п. 3.2.2.1.2.2, більшість європейських агломераційних установок працює з повністю закритими пиловими циклами [7, Боте, 1993]. Однак деякі установки виключають тонкодисперсний пил з останнього поля електрофільтра. Цей пил складається переважно із хлоридів лужних та інших металів. Цей «частково відкритий цикл фільтрувального пилу» проводиться для того, щоб поліпшити умови експлуатації електрофільтра або рукавного фільтра, або для зниження викидів хлоридів лужних та інших металів;
- третє належить до пилу з високим вмістом хлоридів лужних металів та сірки, яка може погіршити ефективність очищення електрофільтрів (див. п. 3.3.2.1);
- четверте пов'язане з жорсткими національними законодавчими критеріями для рециклінгу.

3.2.2.4 Споживання енергії

Обстеження експлуатаційних даних для агломераційних установок Європейського комітету з доменних печей (2004) виявило, що агломераційні установки використовують теплову енергію у кількості 1290 – 1910 МДж/т агломерату (тверді палива, включаючи фільтрувальний пил та паливо для розпалювання), із середнім споживанням +1344 МДж/т агломерату. Це еквівалентно 39 – 64 кг коксового дріб'язку/т агломерату, при середньому значенні 50 кг. Загальне споживання електричної енергії знаходиться в діапазоні від 92 до 155 МДж/т агломерату [299, Eurofer, 2007]. Споживання теплової енергії для розпалювання складає діапазон від 70 до 85 МДж/т агломерату [241, Польща, 2007]. Є тільки невелике розходження у споживанні палива між агломератом з низькою основністю ($<1,7 \text{ CaO/SiO}_2$) та агломератом з більшою основністю ($\geq 1,7 \text{ CaO/SiO}_2$) [200, Єврокомісія, 2001].

У табл. 3.2 наведені дані для 20 європейських агломераційних установок. Кокс є домінуючим джерелом енергії, що надходить для агломераційної установки (близько 88 %), а решта припадає на електроенергію та газ (коковий газ та/або доменний газ та/або природний газ). Основою виділеної енергії є газ, випаровування води, енергія реакції та сам агломерат. Охолодження агломерату часто поєднується з утилізацією фізичного тепла [300, Eurofer, 2007].

3.2.2.5 Шум [242, Кофлін, 2007]

На аглофабриках домінують такі джерела шуму:

- вентилятори відхідних газів агломераційної установки;
- вентилятори охолоджувача агломерату;
- дробарка (подрібнювач) агломерату.

На деяких установках шум може бути серйозною проблемою, особливо шум із високою енергією і низькою частотою. Цей шум викликається частотою обертання лопатки вентилятора під час регулювання витрати газів крізь шар агломерату.

3.3 Технології, що розглядаються при визначенні НДТМ для агломераційних установок

У цьому розділі описані технології (або їх поєднання) і пов'язаний із ними моніторинг, які спрямовані на досягнення високого рівня захисту навколишнього середовища в економічній діяльності у контексті тематики цього документа.

Він включає технології, інтегровані в процес, і заходи, які передбачають очищення в кінці виробничого циклу. Розглянуто також заходи запобігання утворенню відходів і управління ними, включаючи мінімізацію відходів та процедури рециклінгу. Крім того, в документі описані технології для зниження споживання сировинних матеріалів, води та енергії.

У Додатку III до Директиви перерахований ряд критеріїв для визначення ВАТ (НДТМ), власне інформація в цьому розділі стосується саме цих міркувань. Наскільки можливо, використана стандартна структура, наведена в табл. 3.13, для загального уявлення про інформацію, зібрану щодо кожної технології, з метою порівняння технологій та їх оцінки на основі визначення ВАТ згідно з Директивою.

Цей розділ необов'язково дає вичерпний перелік технологій, які можна застосовувати в секторі. Можуть існувати інші технології для конкретної установки, які можна було б розглянути для визначення НДТМ.

Таблиця 3.13: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі

Тип розглянутої інформації	Основний зміст інформації
Опис	Короткий технічний опис із використанням за необхідності малюнків, діаграм і технологічних схем
Екологічні переваги, яких можна досягнути	Основні потенційні екологічні вигоди, що досягаються за допомогою реалізації технології (включаючи економію енергії, води, сировини, а також зростання виходу продукції, ефективності використання енергії тощо)
Міжсередовищні наслідки	<p>Вплив на навколишнє середовище та інші середовища внаслідок реалізації технології, включаючи детальні дані щодо впливу на навколишнє середовище технології порівняно з іншими (переваги та недоліки, що підтримуються даними, якщо вони є) для оцінки впливу технології на навколишнє середовище в цілому. Це може включати такі питання, як:</p> <ul style="list-style-type: none"> • споживання сировини і води; • споживання енергії та внесок у зміну клімату; • потенціал руйнування озонового шару; • фотохімічний потенціал утворення озону; • підкислення в результаті викидів у повітря; • тверді частинки в навколишньому повітрі (включаючи мікрочастинки та метали); • евтрофікація ґрунтів і водойм (в результаті викидів у повітря або скидів у воду); • потенціал виснаження кисню у воді; • стійкі/токсичні/біоаккумулятивні компоненти у воді або ґрунті (включаючи метали); • утворення або зниження (відходів) залишків; • можливість повторного використання або рециклінгу (відходів) залишків; • шум та/або запах; • ризик аварій.
Експлуатаційні дані	Реальні технічні дані (включаючи порівняльні умови, періоди та методи моніторингу) про рівні викидів, споживання ресурсів (сировини, води, енергії) і кількості відходів, що утворюються. Будь-яка інша корисна інформація про те, як працює, обслуговується або контролюється технологія.
Можливість застосування	Вказівка щодо типу установок або процесів, в яких технологія може або не може застосовуватися, а також обмеження для реалізації в певних випадках, з урахуванням, наприклад, віку установки (нова або наявна), факторів, пов'язаних із модернізацією (наприклад, наявність місця), розміру установки (велика або невелика), вже впроваджених технологій і типу або якості продукції.
Економічні дані	Витрати (капітальні експлуатаційні) і будь-яка можлива економія (наприклад, зниження споживання сировини або енергії, платежів за розміщення відходів) або доходи, зокрема детальний опис того, як вони були розраховані/оцінені. Економічна інформація, важлива для нового будівництва та модернізації наявних установок. Все це дає змогу ідентифікувати, там, де це можливо, спільний економічний вплив технології.
Стимули для впровадження	Особливі місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи безпеки) або не екологічні механізми (наприклад, зростання продуктивності, підвищення якості продукції), які регулюють або стимулюють реалізацію технології до теперішнього часу.
Приклади установок	Посилання на установку (установки), для яких була впроваджена технологія, і по якій була зібрана інформація і використана при написанні розділу. Вказівка щодо ступеню використання технології в Європі чи у світі.
Довідкова література	Література або інший довідковий матеріал (наприклад, книги, звіти, дослідження, вебсайти), які були використані при написанні розділу і в яких міститься більш докладна інформація щодо технології.

3.3.1 Оптимізація технологічного процесу

Опис

Спланована або ретельно реалізована практика обслуговування може забезпечити безперервну роботу агломераційної установки без суттєвого порушення виробництва агломерату. Це один з найважливіших заходів, інтегрованих у технологічний процес для зниження викидів від агломераційних установок. Порушення плавного переміщення фронту горіння через шар агломерату призведе до незапланованих зупинок стрічки, що чинитиме негативний вплив на утворення пилу і деяких видів органічних речовин.

Дослідження утворення викидів PCDD/F у процесі спікання [9, Фішер та ін., 1998] показали, що PCDD/F утворюються в самому шарі агломерату, ймовірно, перед фронтом горіння: гарячі гази проходять через шар та певною мірою в вакуум-камери (див. п. 3.2.2.1.2.9). Було також продемонстровано, що порушення поширення фронту горіння, тобто нестійка робота, призводить до підвищених викидів PCDD/F. Для вирішення цієї проблеми необхідно, щоб процес спікання здійснювався відповідно до швидкості руху стрічки, і, крім того, необхідно знизити варіації за складом і висотою шару (особливо з погляду належного змішування повернення та мінімізації надходження хлоридів). Необхідно також забезпечити підтримання стабільного рівня добавок, таких, як обпалене вапно, і контроль вмісту нафтопродуктів у прокатній окалині до належного рівня <0,5 %, що може призвести до концентрації нафтопродуктів в суміші сировини на рівні <0,1 % і зберегти стрічку, газоходи та відсмоктуючі пристрої в герметичному стані, щоб максимально звести до мінімуму кількість повітря, що потрапляє до процесів, та, водночас, може сприятливо впливати на викиди з агломераційної стрічки.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Підвищені рівні викидів твердих частинок можуть відбуватися протягом пуску агломераційної стрічки після короткої зупинки внаслідок висушування шару, коли початковий фронт поширення горіння розсіюється. Після довгих зупинок може з'явитися необхідність в ініціюванні роботи без деяких діючих елементів обладнання для очищення газів, наприклад електрофільтру та/або рукавного фільтру. Така ситуація можлива, якщо гази повинні пройти через байпас для захисту обладнання від високих рівнів вологості. Отже, мінімізація зупинок та короткочасних флуктуацій для досягнення ритмічної роботи стрічки приведе до зниження пікових викидів твердих часток і зниження візуального впливу на роботу установки. Викиди інших забруднюючих речовин у повітря також будуть знижуватися завдяки більшій оптимізації процесу.

Не було ідентифіковано жодної технології, яка допомогла б досягнути низького рівня утворення PCDD/F. Звісно ж, замість цього має бути поєднання технологій, згаданих вище, але передусім забезпечення безперервної роботи стрічки.

Міжсередовищні наслідки

Використання енергії мінімізується за допомогою стабільності роботи. Відсутні негативні впливи між середовищами. Відповідно до застосування вищезазначених технологій будуть додаткові переваги з погляду експлуатаційних характеристик, наприклад у зростаючій продуктивності, зниженні потреби в енергії та стабільній якості агломерату.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Описані технології можуть застосовуватися на нових та наявних установках.

Економічні дані

Немає витрат на монтаж. Експлуатаційні витрати на обслуговування і робочу силу врівноважуються перевагами від більшої продуктивності та стабільної якості агломерату. Крім того, добре обслуговується і стабільно працює установка, що допомагає знизити споживання палива й енергії.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Вищезазначені технології зазвичай застосовуються на європейських установках. Всі оператори докладають зусиль, щоб їхні установки працювали безвідмовно, з мінімальною кількістю зупинок. Це досягається застосуванням високих стандартів обслуговування.

Довідкова література

[9, Фішер та ін., 1998] [301, Eurofer, 2007]

3.3.2 Методи зниження викидів у повітря від агломераційних установок

3.3.2.1 Сучасні електрофільтри (EPS)

Опис

Найчастіше для очищення великих обсягів відхідних газів від агломераційних установок в ЄС використовуються сухі електрофільтри з трьома або чотирма полями, розташованими послідовно. Під час їх роботи утворюється електростатичне поле по всьому шляху пилу в повітряному потоці. Частинки заряджаються негативно і мігрують до позитивно заряджених осаджувальних пластинчастих електродів. У сухих електрофільтрах зібраний матеріал видаляється за допомогою «струшуючих пристроїв», які періодично б'ють або провокують вібрацію осаджувальних пластинчастих електродів, вибивають матеріал і дають йому можливість впасти у бункерні наповнювачі.

У мокрих електрофільтрах зібраний матеріал видаляється за допомогою постійного потоку води, яка збирається і згодом очищується.

Для того, щоб отримати адекватний поділ, питомий електричний опір твердих частинок має перебувати в діапазоні від 10^4 до 10^9 Ом. Зазвичай більшість твердих частинок у газах від процесу спікання знаходиться в цьому діапазоні, але бувають і сполуки зі значно більшим питомим опором, такі як хлориди лужних металів, хлориди важких металів та оксиди кальцію (див. рис. 3.10), які важко видалити з високою ефективністю.

Іншими факторами, які впливають на ефективність, є такі: витрата відхідних газів; інтенсивність поля; величина навантаження за твердими частками; концентрація SO_3 ; вміст вологи, а також форма і площа електродів.

Поліпшення характеристик ESP може бути досягнуто з використанням вищої або змінної імпульсної напруги, а також швидкого контролю напруги і струму реакції ланцюга. Крім того ефективність роботи ESP поліпшувалася за допомогою впровадження таких заходів: систем для підвищення сил струшування для гравітаційної сталі 200, застосування високих імпульсів енергії суперпозиції та зростання відстані між пластинами. Встановлення необхідного складу за SO_3 та/або водяної пари також може підвищити ефективність знепилювання. Недоліком може стати зростання викидів HCl.

На рис. 3.13 представлено вплив попадання лужних металів (наприклад, Na, K) у процес спікання на викиди пилу після ESP на агломераційній установці компанії Voestalpine Stahl GmbH в м. Донавіц, Австрія, перед встановленням рукавного фільтра. Діаграма показує, що були досягнуті викиди пилу нижче 50 мг/м^3 тільки за умови надходження лужних металів нижче 2,5 кг на тонну агломерату.

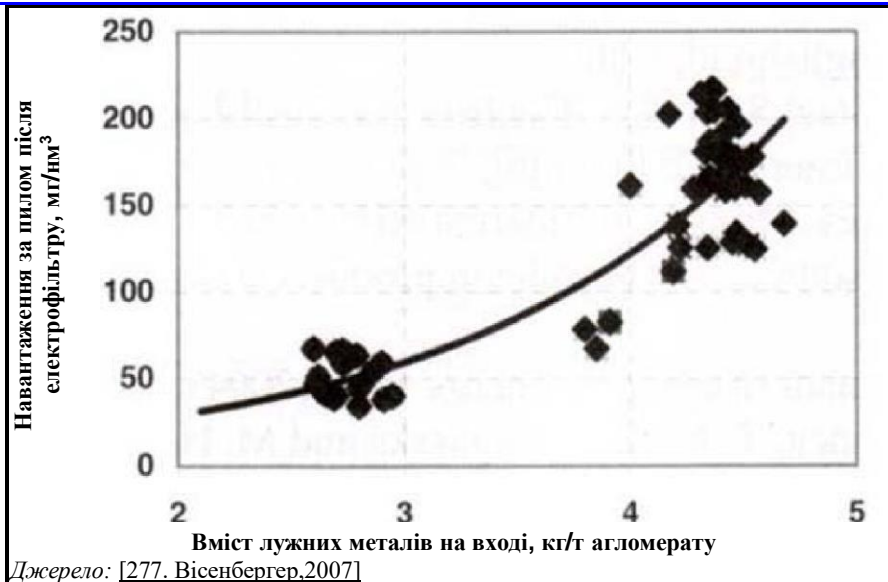


Рис. 3.13. Вплив вмісту лужних металів на вході в процесі спікання на викиди пилу після електрофільтру (ESP) на агломераційній установці Voestalpine Stahl GmbH, м. Донавіц, Австрія

Три типи електрофільтрів з гарними характеристиками роботи відзначені нижче:

1. Використання напруги, що складається з негативних вузьких імпульсів, які накладаються на напругу фільтра з негативною полярністю. Ці високі імпульси напруги тривалістю 10 мкс можуть повторюватися із частотою до 200 імпульсів на секунду. При імпульсному живленні пікова напруга вище, що дає краще зарядження частинок та розподіл струму в пиловловлювачі. Однією з найважливіших характеристик імпульсної напруги є його можливість впоратися з високим опором пилу (див. п. 3.2.2.1.2.1).
2. Електрофільтр із рухомими електродами (МЕЕР): в МЕЕР кілька груп пластинчастих електродів рухається на гусеничних ланцюгах. За безперервного обертання щіток ці пластини очищаються. Отже, пил із сильними властивостями адгезії легко видаляється із пластин, і вдається уникнути впливу ізоляції шару пилу.
3. Електрофільтр високої напруги (ESCS). ESCS працює з підвищеною напругою (70 – 200 кВ). Збільшення відстані між електродними пластинами дає можливість використання підвищеної напруги.

Інші технології для поліпшення характеристик електрофільтрів регулюються за допомогою програмованих логічних схем і використанням до п'яти полів.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Електрофільтри знижують викиди пилу з ефективністю >95 %. В деяких випадках досягається ефективність вище 99 %. Електрофільтри з полями МЕЕР можуть очищувати пил до рівня викидів в діапазоні від 20 до 50 мг/м³ з урахуванням звичайних робочих періодів і виключенням пусків та зупинок. При вимірюванні результатів на одній установці у 2005 році можна було бачити, що з МЕЕР досягалися середньодобові значення нижче 30 мг/м³ (рис. 3.14) [326, Бухвальдер, Дж. та ін., 2008]. Для тієї самої установки середньодобові концентрації викидів пилу в період з 2005 по 2007 рік знаходилися в діапазоні від 24,6 до 29,4 мг/м³.

Для двох німецьких агломераційних установок, оснащених електрофільтрами, повідомлялося про рівень викидів пилу в 36 мг/м³ (середньорічні значення на основі вимірюваних півгодинних середніх значень; на одній установці 5 та 95 перцентилі складали 25 і 65 мг/м³, відповідно) [244, Плікерт, 2007].

Електрофільтри з накладенням імпульсу енергії можуть досягнути ступеня очищення від 43 до 77 мг/нм³ на середньорічній основі, хоча на деяких установках із використанням унікальних руд цей діапазон може бути розширений до верхнього рівня

140 мг/нм³. Хоча ESCS не працюють в ЄС, повідомлялося, що з їх допомогою можна досягнути викидів <40 мг/нм³, але не з'ясована основа досягнення цього рівня.

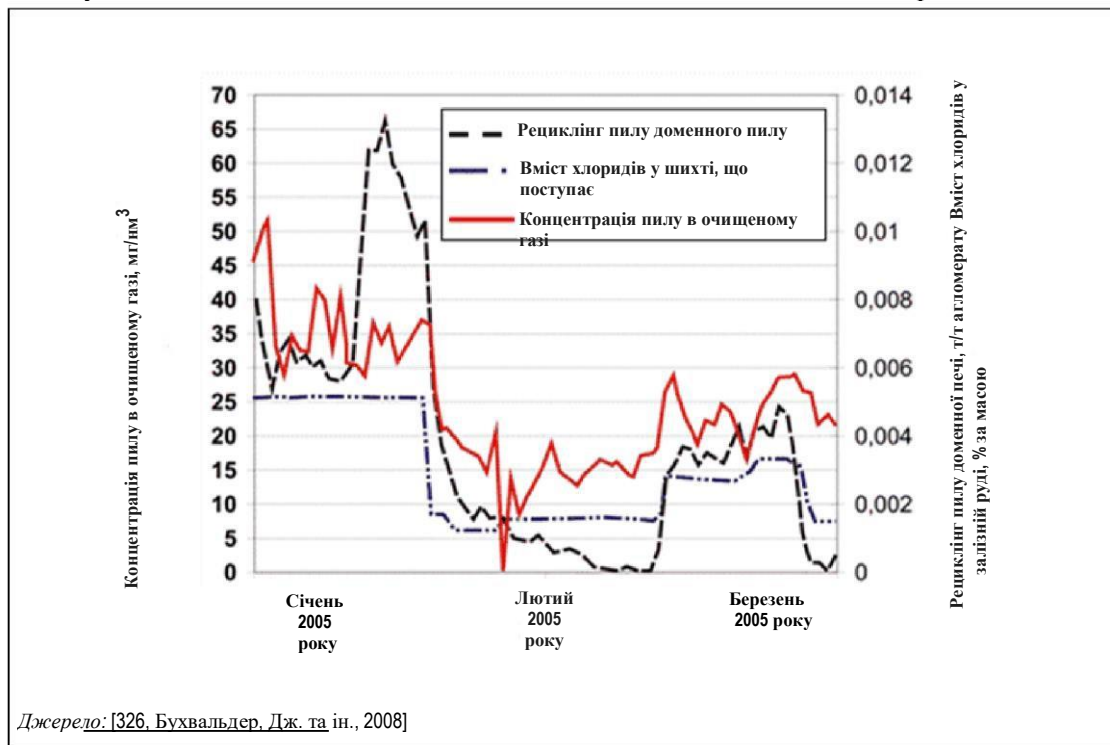


Рис. 3.14. Досягнута чистота очищення від пилу з ESP для відхідних газів після агломераційної установки і вплив зниженого вмісту хлоридів на вході

Викиди пилу в 36 мг/нм³ (середньорічне значення) були досягнуті на агломераційних установках в Німеччині, де застосовували вдування цеоліту та буровугільного коксу в електрофільтр. На одній з установок використовували також часткову рециркуляцію відхідних газів.

Були досягнуті викиди пилу в діапазоні від 20 до 42,7 мг/нм³ на двох агломераційних установках компанії ArcelorMittal в м Гент, Бельгія у 2008 році. Ці електрофільтри додатково оснащені мікроімпульсними пристроями. Слід також враховувати, що ці значення є середньорічними величинами. У табл. 3.14 наведені досягнуті значення викидів пилу для електрофільтрів на агломераційних установках ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія у 2008 році.

Таблиця 3.14: Характеристики викидів пилу, мг/м³, для електрофільтрів на двох аглофабриках компанії Arcelormittal, м. Гент, Бельгія у 2008 році

Параметр	Агломераційна установка 1	Агломераційна установка 2	Одиниці
Середньорічне значення	20,01	42,72	мг/нм ³
Стандартне відхилення	9,64	9,72	мг/нм ³
Мінімум	6	25,6	мг/нм ³
Максимум	67,3	100,6	мг/нм ³
Медіанне значення	17,1	40,5	мг/нм ³
95 % перцентиль	37,6	61	мг/нм ³

Джерело: [177, Eurofer, 2009].

У табл. 3.15 показані досягнуті значення концентрації викидів для агломераційної стрічки, де знепилювання проводиться за допомогою електрофільтрів, на трьох німецьких агломераційних установках, включаючи статистичну інформацію та відповідні порівняльні часові періоди.

Таблиця 3.15: Досягнуті значення рівнів концентрації для знепилювання з ESP на трьох німецьких аглофабриках

Параметр	Рівень викидів	Перцентиль		Одиниці вимірювання	Порівняльний період часу
		5 %	95 %		
Пил	36			мг/м ³	AAV
	36	25	65		ННАV (с)
	29,4	15	40		ННАV (с)
NO _x	384			мг/м ³	AAV
	400	320	520		ННАV (с)
	272	200	350		ННАV (с)
SO _x	250	200	550	мг/м ³	ННАV (с)
	311				AAV
	425	300	550		ННАV (с)
HF	0,6			мг/м ³	AAV
	0,7				AAV
	1,4				ННАV
HCl	0,72	NA	3	мг/м ³	AAV
	17,4				ННАV
	20,4				ННАV
Cd, Tl	0,0067			мг/м ³	AAV
Cd	0,04			мг/м ³	ННАV
Hg	0,025				ННАV
As, Co, Ni, Se, Te	0,02			мг/м ³	AAV
	0,018				
Pb, Cr, Cu, Mn, V	0,87			мг/м ³	AAV
Cu, Mn, V	0,47			мг/м ³	ННАV
Pb	1,98			мг/м ³	AAV
	0,64				
Cr	0,008			мг/м ³	ННАV
VaP	0,001			мг/м ³	ННАV
Бензен (бензол)	0,38			мг/м ³	ННАV
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	58,2			мг/м ³	ННАV
PCDD/F	0,4 ⁽¹⁾			нг/м ³	AAV
	0,166 ⁽²⁾⁽³⁾				8НАV
	0,152 ⁽²⁾⁽³⁾				8НАV
	0,22 ⁽²⁾⁽³⁾				8НАV
	0,129 ⁽⁴⁾				8НАV
	0,25 ⁽⁵⁾				8НАV

(1) Рециркуляція газу, вдування цеоліту/буровугільного коксу.
(2) Вдування цеоліту/буровугільного коксу.
(3) Середнє значення для 8 вимірювань.
(4) Середнє значення для 4 точкових вимірів у січні 2006 року, за винятком невизначеності вимірювань.
(5) Середнє значення для 4 точкових вимірів у квітні 2006 року, за винятком невизначеності вимірювань. Примітка: — NA – немає даних.
— ННАV – півгодинне середнє значення.
— АAV – середньорічне значення
— 8НАV – середнє значення за 8 год

Джерело: [128, Шпоренберг, 2006] [187, TÜV SÜD, 2007] [244, Плікерт, 2007].

Міжсередовищні наслідки

Утворюються тверді відходи. У деяких випадках цей потік відходів може бути повернутий до процесу спікання. Коли концентрація важких металів та/або лужних сполук занадто висока, це може перешкодити рециклінгу.

Для агломераційної установки з потоком відхідних газів приблизно 1 млн $\text{nm}^3/\text{год}$ споживання енергії становить 300 – 400 кВт. За умови виробництва агломерату 4 млн т/рік це еквівалентно 2 – 3 МДж/т агломерату (або 0,1 – 0,15 % від загального споживання енергії на виробництво агломерату).

Експлуатаційні дані

Електрофільтр є найпоширенішим пристроєм для очищення відхідних газів аглофабрик, і зазвичай його можна застосовувати без проблем. Для запобігання ризику пожежі необхідно приділяти увагу кількості вуглеводнів у газах. Оператори контролюють надходження прокатної окалини для запобігання потрапляння вуглеводнів у гази.

Крім модифікації та використання сучасних технологій ESP, часто застосовуються такі додаткові заходи, для виключення попадання вуглеводнів у гази:

- ретельний вибір прийнятних матеріалів для рециклінгу;
- обмеження матеріалів, небезпечних для рециклінгу, таких як прокатна окалина, що забруднює грунт, які містять пил із хлоридами і лужними металами та шлами;
- попереднє змішування і гомогенізація матеріалів для рециклінгу;
- збір пилу від останньої камери ESP, в якій можна виявити більшу частину лужних металів і хлоридів;
- адаптація роботи аглофабрики, такого типу як зміни продуктивності з випуску агломерату, висота шару і зупинки для очищення ESP.

У табл. 3.16 представлені деякі експлуатаційні та економічні дані, що стосуються електрофільтрів, які використовуються на агломераційних установках. Повідомлено дані щодо рівнів пилу, але немає ясності, в якому випадку і в який період часу вони використовуються (наприклад, середньодобові значення, моментальне значення).

Можливість застосування

Електрофільтри можуть застосовуватись як на нових, так і на наявних установках. МБЕР можуть бути встановлені як останнє поле наявного електрофільтра, або як окремий елемент у своїй власній системі очищення, але розміщення та можливість будь-якого типу установки залежатимуть від конкретних умов.

Економічні дані

Вирішальний фактор вартості ESP – витрата відхідних газів. Інвестиції для модернізації двох наявних ESP з метою отримання останнього покоління електрофільтрів були оцінені в 2002 році у 10 – 15 млн євро для агломераційної установки з питомою витратою газу 1,4 млн $\text{nm}^3/\text{год}$ (приклад установки: ArcelorMittal, муніципалітет Фос-сюр-Мер, Франція).

За 1996 рік повідомлялося про такі витрати для ESP:

- інвестиційні: 5 – 7,5 євро/ $\text{nm}^3/\text{год}$;
- експлуатаційні: 0,05 – 0,08 євро/1000 nm^3 очищеного газу;
- агломераційна установка продуктивністю 4 млн т/рік, з витратою відхідних газів 1 млн $\text{nm}^3/\text{год}$ та 8 640 робочих годин на рік, повинна мати такі витрати:
 - інвестиційні: 5 – 7,5 млн євро;
 - експлуатаційні: 0,11 – 0,16 євро/т агломерату.

Для всіх прикладів валюта була конвертована в єкю у 1996 році та переглянута на євро.

Для одиничного фільтра МЕЕР, доданого до наявного ESP для очищення 50 000 м³/год, наводилися дані про витрати близько 1,1 млн євро в 1997 році.

Стимули для впровадження

Основним стимулом для впровадження технологій, описаних тут, були жорсткі норми на викиди або інші законодавчі вимоги.

Приклади установок

Система з накладенням імпульсу енергії була встановлена на багатьох агломераційних установках, наприклад на чотирьох стрічках заводу Gwangyang (Кван'ян) компанії Posco, Південна Корея, на двох стрічках компанії Thyssen Krupp Stahl в м. Дуйсбург, Німеччина, на двох стрічках компанії ArcelorMittal, муніципалітети Дюнкерк та Фос-сюр-Мер, Франція, на двох стрічках компанії ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія. Деякі установки Corus в Сполученому Королівстві були оснащені системами імпульсного типу.

Система МЕЕР була встановлена на двох агломераційних лініях в Японії, на двох лініях групи Riva в м. Таранто, Італія, та на одній лінії в компанії ArcelorMittal в м. Айзенгюттенштадт, Німеччина.

Система ESCS була використана на агломераційній установці компанії Nippon Steel Corporation, на заводі Yawata Works в Японії.

Довідкова література

[7, Боте, 1993] [45, Геберт, 1995] [61, Ходжес, 1995] [65, InfoMil, 1997] [71, Кім та ін., 1998] [145, коментарі США, 1997] [209, ЄК, 2005] [241, Польща, 2007] [242, Кофлін, 2007] [244, Плікерт, 2007] [247, Нідерланди, 2007] [252, Франція, 2007] [254, Eurofer, 2007] [276, Італія, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [295, Хартіг та ін., 2006] [308, Eurofer, 2007] [326, Бухвальдер, Дж. та ін., 2008]

Таблиця 3.16: Експлуатаційні та економічні показники для електрофільтра МЕЕР (електрофільтрів із рухливими електродами) і ESCS (електрофільтрів зі статичним зарядом), що працюють для очищення відхідних газів на аглофабриці

		Одиниці вимірювання	Nippon Steel Corp. Wakamatsu/Yawata works, Японія	ArcelorMittal, м. Айзенгюттенштадт, Німеччина	Kobe Steel Ltd. Kakogawa works, Японія	Sumitomo Metal Ind., Ltd. Wakayama, Японія
Виробництво агломерату	проект	т/год	1000	NA	560	NA
	фактично		600	350	375	185
Загальні витрати відхідних газів	проект	10 ⁶ нм ³ /год	2	0,53	1	NA
	фактично		1	0,52	0,7	0,4
Основність агломерату		CaO/SiO ₂	1,92	1,97	1,8	2,2
ESP	Тип		ESCS ⁽¹⁾	МЕЕР ⁽²⁾	NA	Сухий ESP
	Кількість		Два паралельно	Один	Три паралельно	Один
	витрати через ESP	10 ⁶ нм ³ /год	0,5	0,53	0,25 – 0,33	0,4
Концентрація пилу на вході	проект	мг/нм ³	1 000	Макс. 1 000	1 000	NA
	фактично	мг/нм ³	NA		1 000	1 100
Концентрація пилу на виході	проект	мг/нм ³	50	35	50	NA
	фактично	мг/нм ³	20 – 37	25 – 30	30 – 50	40
ККД ESP	проект	%	95	NA	95	NA
	фактично	%	NA		95 – 97	96
Приведення ESP до рівня технічних умов та/або попередня обробка шихти агломерату			ESP, що не приведений до рівня технічних умов; регулювання вмісту нафтопродуктів у сировині (без видалення масел)	ESP, що не приведений до рівня технічних умов, вдування вапна і буровугільного коксу, без застосування спеціальних заходів із запобігання пожежам	ESP, що не приведений до рівня технічних умов; Максимальний вміст HC ⁽⁴⁾ в осаді ESP 1 % досягав за максимального вмісту прокатної окалини в шихті 3 %	Не приведений до рівня технічних умов
Побічний продукт (Пил)	кількість	кг/т агломерату	1 – 2		1 – 2	2
	переробка		Повернення в процес спікання	Виключається фільтрований пил від третього та четвертого полів	NA	NA
Потреба в енергії		ГДж/т агломерату	0,00036		NA	NA
Інвестиції ⁽³⁾ :		євро x10 ⁶	NA		NA	4,2 у 1975 році
Експлуатаційні витрати ⁽³⁾ :		євро/т агломерату	0,0018 – 0,0024 у 1986 році (тільки обслуговування)		NA	0,11 в 1986 році (виключені обслуговування та амортизація)
Вміст кисню				13,6 %		

(1) ESCS електрофільтр зі статичним зарядом.
(2) МЕЕР електрофільтр із рухливими електродами.
(3) Для всіх прикладів валюта була конвертована в єкю у 1996 році та переглянута на євро.
(4) Вуглеводні.
Примітка: NA – немає даних.
Джерело: [65, InfoMil, 1997] [326, Бухвальдер, Дж. та ін., 2008].

3.3.2.1.1 Зниження PCDD/F за допомогою ESP та домішок

Опис

Технологія зниження викидів PCDD/F пов'язана із вдуванням активованого вугілля перед ESP. На заводі компанії ArcelorMittal в м. Генті, Бельгія, ця технологія перебувала в промисловій експлуатації з 2000 року на агломераційних установках 1 і 2. Активоване вугілля використовувалось як джерело вуглецю, а вапняк – як інертний матеріал.

Для нейтралізації різних видів джерела вуглецю у газах агломераційних установок були випробувані різні джерела. Серед них – активоване вугілля, відібрані види коксу, деревне вугілля та спеціально підготовлене активоване вугілля. Подальший розвиток системи може бути пов'язаний із удосконаленням адсорбенту. Для мінімізації ризику тліючого розряду в електрофільтрах і обмеження вмісту вуглецю в уловленому пилу можуть також вдуватися інертні матеріали (наприклад, дрібнодисперсний подрібнений вапняк, гашене вапно тощо). (В разі ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія, вміст вуглецю у пилу ESP складав менше ніж 25 %, але мета полягає у зниженні <20 %).

Вуглець та інертні матеріали дозуються окремо в одному трубопроводі, з'єднаному із трубопроводами димових газів, і кожен трубопровід має власну систему дозування. Так як трубопровід димових газів знаходиться під розрідженням, вуглець та інертні матеріали всмоктуються в турбулентний газовий потік, що створюється статичним змішувачем (із похилою пластиною) в трубопроводі, а матеріали, що всмоктуються, швидко розсіюються у газах. У трубопроводах вуглець адсорбує частину PCDD/F (та інших видів). В електрофільтрах вуглець, інертні матеріали та пил збираються та піддаються рециклінгу (повертаються) на агломераційну стрічку, де PCDD/F руйнується в зоні спікання.

Інші технології для поліпшення характеристик електрофільтрів регулюються за допомогою програмованих логічних схем і використанням до п'яти полів.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Досвід компанії ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія, щодо вдування активованого вугілля перед ESP показує, що може бути досягнута середньорічна концентрація PCDD/F у 0,5 нг I-TEQ/м³ в рамках строго контрольованих умов, коли забезпечені жорстко обмежені рівні жирів, масел і хлоридів, що додаються до сировинної суміші в поверненні, а ESP знаходиться в оптимальних умовах. Для досягнення цих результатів типовий рівень дозування вугілля становить 80 мг/м³, а вапняку – 200 мг/м³. Необхідність рівня вапняку згідно з вимогами залежить від пилового навантаження газу, що надходить до ESP.

Іншими прикладами вдування адсорбованих домішок є ArcelorMittal в м. Айзенгюттенштадт і Thyssen Krupp в м. Дуйсбург-Швелгерн, обидва в Німеччині. На заводі компанії ArcelorMittal в м. Айзенгюттенштадт 80 мг пилоподібного буровугільного коксу на 1 м³ відхідних газів (в загальному: 32 кг/год) [326, Бухвальдер, Дж. та ін., 2008]. Відповідні концентрації PCDD/F знаходилися в інтервалі між 0,115 і 0,255 нг I-TEQ/м³ в 2006 році, з урахуванням невизначеності вимірювання (чотири точкових вимірювання в стійких умовах) [128, Шпоренберг, 2006]. На заводі компанії Thyssen Krupp в м. Дуйсбург-Швелгерн, Німеччина, вдуваються цеоліт і буровугільний кокс. У період із січня по березень 2007 року було проведено чотири точкових вимірювання на кожній з трьох стрічок. Середні концентрації PCDD/F для трьох стрічок склали 0,152, 0,166 та 0,22 нг I-TEQ/м³.

Міжсередовищні наслідки

Є деякі взаємодії між середовищами в результаті вдування вуглецю в гази перед ESP. Додаткові відходи не утворюються, оскільки додатковий пил може піддаватися рециклінгу на агломераційних установках, де вугілля і вапняк використовуються протягом процесу спікання; PCDD/F руйнуються в зоні спікання. Якщо тонкодисперсний пил буде видалитись із суміші, що спікається, для підвищення проникності шару, тим самим буде знижуватися можливість утворення PCDD/F.

На установках, де не весь пил, що збирається в ESP, рециркулює, може бути застосоване додаткове очищення пилу. Не існує достатніх обсягів зростання споживання енергії, оскільки немає додаткової зміни тиску в системі відхідних газів.

Експлуатаційні дані

Для того, щоб мінімізувати ризики пожеж при використанні способу вдування вуглецю температура відхідних газів повинна бути ≤ 180 °С. Часовий інтервал між точками вдування вуглецю і пристроями для очищення газу є чутливим параметром. На заводі компанії ArcelorMittal у м. Гент, Бельгія, встановлено точний час перебування тривалістю як мінімум 3 с за температури 150 – 180 °С. Вміст вуглецю у зібраному пилу повинен бути обмежений для запобігання самозаймання, як підкреслювалося вище. Наявність вуглецю у відхідних газах може привести до підвищення ефективності системи збору пилу в ESP, збільшуючи його ККД, і до зниження викидів твердих частинок. Однак ця технологія не може бути застосована під час пуску або зупинки установок через температурні міркування.

Можливість застосування

Вдування вуглецю перед ESP є технологією очищення в кінці виробничого циклу, яка застосовується для наявних агломераційних установок. Однак, для забезпечення низьких викидів твердих частинок (великі ESP з імпульсними системами), потрібна відповідна система очищення газу, що добре обслуговується.

Економічні дані

На заводі компанії ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія, інвестиції для двох агломераційних установок із загальною витратою 1 600 000 нм³/год склали 2 500 000 євро у 2000 році (сталеві конструкції, бункери, дозуюче обладнання, пневмотранспорт і статичний змішувач). Змінні витрати склали ~0,15 євро/т агломерату для активованого вугілля, вапняку і додаткового споживання енергії в 2005 році.

Стимули для впровадження

Основним стимулом для впровадження технологій, описаних тут, були жорсткі норми на викиди або інші законодавчі вимоги.

Приклади установок

Вдування вуглецю в гази перед ESP використовувалося компанією ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія, з 2000 року, компанією Thyssen Krupp Stahl в м. Дуйсбург, Німеччина, з 2003 року, компанією ArcelorMittal в м. Айзенгюттенштадт, Німеччина, з 2006 року і компанією Hüttenwerke Krupp Mannesmann в м. Дуйсбург, Німеччина, в поєднанні із «системою процесу спікання з низькими викидами та оптимізованим споживанням енергії» (LEEP) із грудня 2001 року.

Довідкова література

[7, Боте, 1993] [45, Геберт, 1995] [61, Ходжес, 1995] [65, InfoMil, 1997] [71, Кім та ін., 1998] [128, Шпоренберг, 2006] [145, коментарі США, 1997] [187, TÜV SÜD 2007] [209, ЄК, 2005] [241, Польща, 2007] [242, Кофлін, 2007] [244, Плікерт, 2007] [247, Нідерланди, 2007] [252, Франція, 2007] [254, Eurofer, 2007] [276, Італія, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [295, Хартіг та ін., 2006] [308, Eurofer, 2007] [326, Бухвальдер, Дж. та ін., 2008]

3.3.2.2 Рукавний фільтр – комбіноване або комплексне зниження викидів твердих і газоподібних забруднювачів

Опис

Рукавні фільтри на агломераційних установках зазвичай встановлюються після наявного ESP або циклону, проте вони можуть працювати як автономні пристрої. Зазвичай видалення пилу поєднується з видаленням кислих сполук відхідних газів (таких як HCl, HF і SO_x) за допомогою вдування негашеного вапна або розчинів бікарбонату натрію, і з видаленням стійких органічних забруднювачів (таких як PCDD/F, PCB, HCB або PAH) за допомогою вдування адсорбентів – зазвичай порошкоподібного буровугільного коксу або активованого вуглецю та/або іноді цеолітів (рис. 3.15).

Розділ 3

Весь пил, вуглець/кокс та реагенти для десульфурації, що не прореагували, а також продукти реакції (гіпс і сульфат натрію) відокремлюються за допомогою рукавного фільтра. Значна частина вилученого пилу рециркулює у відхідні газів, для того, щоб підвищити ефективність адсорбції, і, в такий спосіб, знизити витрати на витратні матеріали. Інша частина видаляється із системи для депонування. У деяких випадках видалені пил і домішки повертаються на агломераційну стрічку, де PCDD/F руйнується у фронті горіння. Коли застосовується комбінована десульфурація, тверді залишки з рукавного фільтра зазвичай не піддаються рециклінгу на агломераційній стрічці внаслідок викидів SO₂.

Деякі стадії такого поєднання технологій такі:

- вдування адсорбентів (порошкоподібний буровугільний кокс або активоване вугілля та/або цеоліти) перед рукавним фільтром у газохід для зниження викидів небезпечних сполук;
- вдування бікарбонату натрію або негашеного вапна в газохід для зниження викидів кислих газів (наприклад, SO_x, HCl, HF) в поєднанні з адекватним кондиціонуванням відхідних газів за допомогою зволоження і регулювання температури (90-100 °C);
- уловлювання пилу в хімічно стійкому рукавному фільтрі із системою автоматичного видалення пилу (наприклад, пульсуючого типу);
- повернення пилу на початок потоку димових газів рукавного фільтра. У деяких випадках повертається велика кількість твердих частинок;
- видалення димових газів із системи вентиляторів.

Вдування лужних сполук, зазвичай вапна, допомагає також запобігти змішуванню фільтрувального матеріалу з тонкодисперсними твердими частинками або органічними сполуками та знизити корозію обладнання. Вапно створює шар на поверхні фільтра (утворення фільтрувального шару на фільтрі), запобігаючи утворенню непроникного шару та, в результаті, змішуючи фільтрувальний матеріал.

В наступних абзацах, надано більш детальну інформацію щодо технологій.

Для очищення відхідних газів від кислих сполук зазвичай використовується «напівсухий сорбційний процес». Це означає, що додатково застосовується вода для зниження температури відхідних газів до 90-100 °C. Це сприяє ефективній десульфурації, а також запобігає можливому пошкодженню наступних рукавних фільтрів. Вода може безпосередньо розпорозуватися в потік відхідних газів.

У системах рукавних фільтрів з рециркуляцією пилу (див. рис. 3.15) зазвичай є змішувач для пилу, що рециркулюється, та будь-яких свіжих домішок (негашене вапно та/або вуглець). Для полегшення десульфурації відхідних газів у змішувачі пил зволожується. Кількість води, що додається, залежить від температури відхідних газів, і це допоможе досягнути необхідного ступеня десульфурації. Рівень десульфурації визначається за кількістю доданого вапна, ступенем рециркуляції зібраного пилу та за вмістом вологи у пилу, що рециркулюється. Ефективність десульфурації залежить також від якості гашеного вапна.

Зазвичай фільтр розділяється на кілька фільтрувальних рукавів подібної конструкції, кожен з яких додатково підрозділяється на кілька камер. Попередньо знепилювальний потік відхідних газів рівномірно розподіляється до верхньої частини кожного фільтрувального рукава та втягується до дна кожної камери. В камеру газів входять із боку рукава фільтра, і пил збирається на тканині під час проходження газу через рукавний фільтр. Фільтри підтримуються за допомогою касет і можуть встановлюватися вертикально (довгий рукавний фільтр) або горизонтально (короткі рукавні фільтри). Протягом очищення відхідних газів на зовнішній поверхні рукава фільтра утворюється фільтраційний кек у результаті збільшення падіння тиску через фільтр. Як тільки падіння тиску досягає встановленого значення (звичайна різниця тиску між фільтром і камерою очищеного газу становить 10 – 20 мбар), камера піддається очищенню за допомогою зворотного імпульсу компресорного повітря. Пил, що видаляється, збирається в конічні бункери нижче фільтрувальної камери і розвантажується за допомогою шнекового конвеєра. Близько 98 % цього пилу можна повернути до потоку відхідних газів як домішки; інший пил видаляється із системи для розміщення або факультативно повертається на агломераційну стрічку.

Прикладом комбінованого зниження викидів твердих або газоподібних забруднюючих речовин є процес MEROS® (спікання з максимальним зниженням викидів). Повномасштабна установка знаходиться в експлуатації на агломераційній машині площею 222 м² компанії Voestalpine Stahl GmbH в м. Лінц, Австрія, із серпня 2007 року, саме вона замінила систему AIRFINE.

Іншими прикладами для комбінованого зниження викидів твердих і газоподібних забруднюючих речовин за допомогою рукавних фільтрів є процес TFA (Очищення викидів з агломерації) компанії ArcelorMittal в муніципалітеті Фос-сюр-Мер, Франція, і технологія спікання EFA компанії Rogesa в м. Діллінген, Німеччина. Коли процес TFA у Фос-сюр-Мер запущений в експлуатацію в 2006 році, процес EFA на агломераційній установці № 2 в Діллінгені знаходиться на стадії досвідної експлуатації.

Рис. 3.15 демонструє основну технологічну схему розміщення рукавного фільтра після наявного електрофільтра (ESP) або циклону.

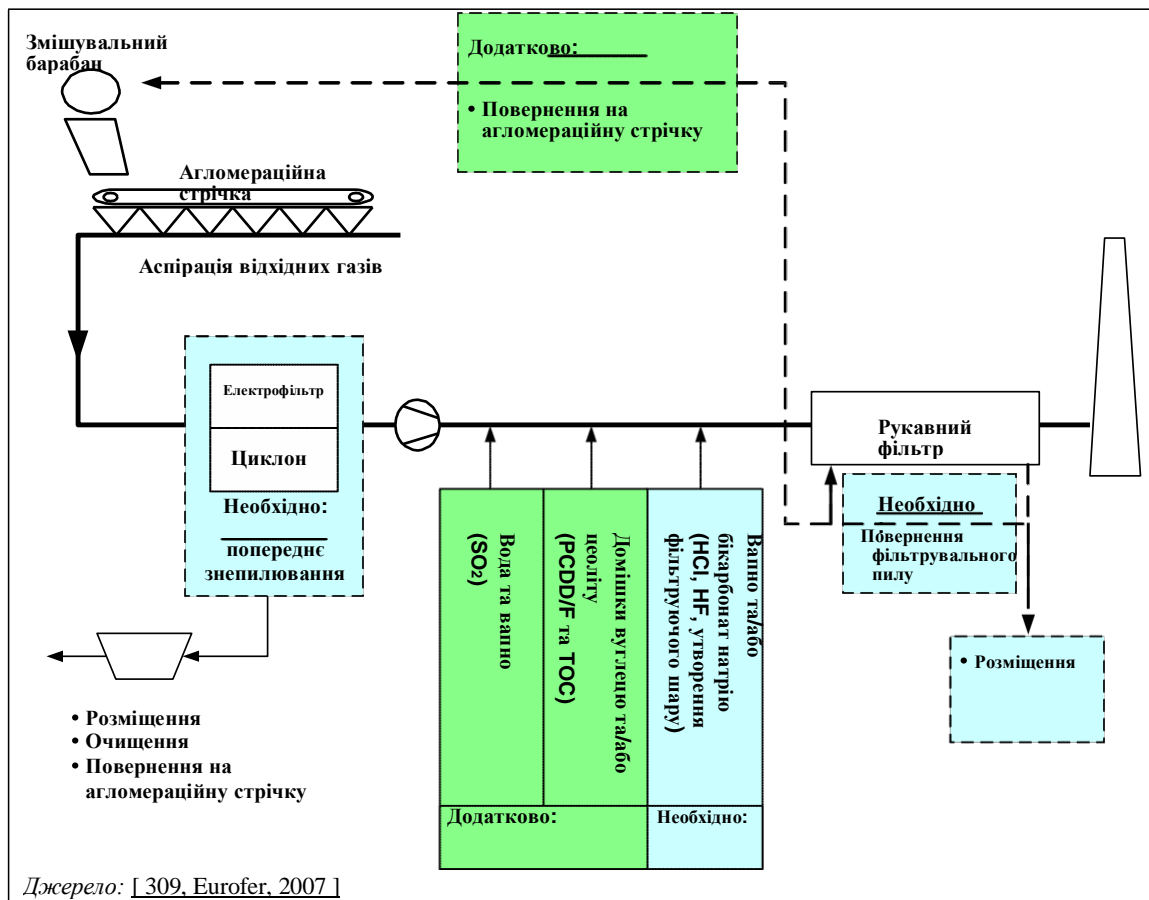


Рис. 3.15. Основна технологічна схема розміщення рукавного фільтра після наявного ESP або циклону

На рис. 3.16 показано типову технологічну схему агломераційної установки з додатковою системою SIMETAL MEROS®.

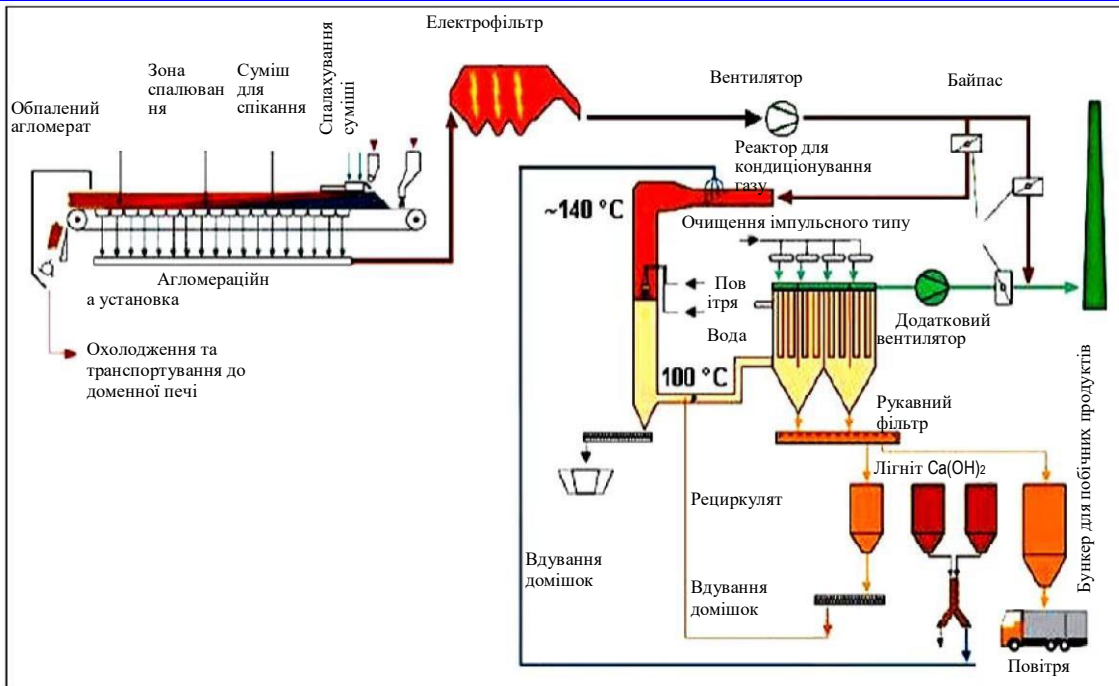


Рис. 3.16. Технологічна схема агломераційної установки з додатковою системою SIMETAL MEROS®

Незважаючи на те, що ця технологія відрізняється за технологічною схемою, вищезгадані процеси мають спільну характеристику, адже звичайне використання домішок, таких як активоване вугілля або активований буровугільний кокс для важких металів, та видалення PCDD/F доповнюються рециклінгом пилу та зниженням викидів SO_x у разі додаткового вдування вапна і води [127, д-р Фляйшандерл, Александер, 2006].

Очищений пил складається з первинного пилу, вугілля/коксу і реагентів для видалення SO_x , що не прореагували. Для зниження витрат на домішки велика частина пилу, що відділяється в рукавному фільтрі, піддається рециклінгу в газовому потоці, завдяки чому ці домішки, які не прореагували, знову вступають у контакт із відхідними газами і, в такий спосіб, знижуються витрати на домішки.

Ще однією перевагою є те, що високий діапазон зміни ступеня рециркуляції пилу (від 1 до 1000 $г/м^3$ залежно від технології) приводить до швидкого збору пилу на рукавному фільтрі, що сприяє подальшому видаленню важких металів і PCDD/F. Концентрація SO_x знижується за допомогою гашеного вапна для всіх згаданих технологій, хоча може також застосовуватися бікарбонат натрію.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Рукавний фільтр має високу ефективність уловлювання пилу та водночас знижує викиди важких металів у потоці відхідних газів. Рукавні фільтри разом із використанням домішок знижують також викиди PCDD/F, хлористого водню (HCl), фтористого водню (HF) та, меншою мірою діоксиду сірки (SO_2). Зокрема, можна значно знизити викиди PCDD/F. Повідомлялося також про високий ступінь видалення ЛОС і ПАН.

Експлуатаційні дані для європейських агломераційних установок, що використовують рукавні фільтри, зазвичай знаходяться в діапазоні від 1 до 10 $мг/нм^3$ твердих частинок, виражених як середньодобові значення, які включають також пікові періоди. Одночасно з пилом знижується вміст нелетючих важких металів.

Додавання вапна та вуглецю дає можливість зниження викидів діоксинів до рівня $<0,1$ нг I-TEQ/ $нм^3$.

Викиди летючих важких металів і ЛОС знижуються одночасно в результаті застосування домішок і цеолітів, у яких міститься вуглець. Наприклад викиди ртуті знижуються на 80 – 95 %.

Викиди SO_2 можна знизити приблизно на 30 – 80 % за допомогою домішок негашеного вапна і на 90 % під час додавання бікарбонату натрію. Це призводить до того, що викиди SO_2 знаходяться в діапазоні від 100 до 500 мг/м^3 залежно від кількості вапна, що вдувається, або бікарбонату натрію. На практиці, залежно від кількості SO_2 на вході, було досягнуто середньодобових значень для SO_x нижче 350 мг/м^3 .

Із додаванням вапна, можна досягнути концентрації викидів HF на рівні 0,2 – 1 мг/м^3 та HCl на рівні 1 – 10 мг/м^3 (середньодобове значення).

Екологічні рівні очищення газу, яких можна досягти за допомогою рукавних фільтрів, наведені в табл. 3.17.

Таблиця 3.17: Характеристики трьох агломераційних установок із системою рукавних фільтрів

Параметр	Вхід (неочищений газ)	Вихід ⁽¹⁾	Одиниці
Пил	80 – < 500	0,73 – 15	мг/м^3
SO_2	450 – < 800	225 – < 500 ⁽²⁾	мг/м^3
HCl	<60	0,31 – 30 ⁽³⁾	мг/м^3
HF		0,34 – 1 ⁽³⁾	мг/м^3
PCDD/F		<0,1	нг/м^3
Pb		0,17	мг/м^3
Сума Hg, Tl, Cd		0,007	мг/м^3
Температура	145	100	°C
<p>(1) Деякі значення є гарантованими показниками. (2) Видалення SO_2 значною мірою залежить від рециркуляції твердих частинок у системі фільтра та від додавання води. Значення досягнуті за умов вдування вапна/активованого коксу. (3) Нижнє значення діапазону досягається за допомогою вдування вапна. <i>Джерело:</i> [190, Eurofer, 2010] [194, Лерой та ін., 2007] [211, Ремус, Райнер, 2008] [287, MVAE, 2005] [296, Лерой та ін., 2007] [244, Плікерт, 2007].</p>			

У табл. 3.18 показані досяжні значення концентрації викидів з агломераційної стрічки після знепилювання в поєднанні з електрофільтром та рукавним фільтром, включаючи статистичну інформацію та відповідні порівняльні часові періоди.

Таблиця 3.18: Досягнуті значення концентрації викидів для системи знепилювання на п'яти аглофабриках в ЄС

Параметр	Рівень викидів	Перцентиль		Одиниці вимірювання	Порівняльний період часу
		5 %	95 %		
Пил	0,73 – 15			мг/м ³	DAV
	0,9 ⁽¹⁾	0,8	1,4		DAV
CO	21 000			мг/м ³	AAV
NO _x	48 – 290			мг/м ³	DAV
	240 ⁽¹⁾	230	260		DAV
SO _x	495			мг/м ³	NA
	455	399	498		DAV
	263 ⁽¹⁾				DAV
HF	0,34			мг/м ³	AAV
	0,2 ⁽¹⁾				DAV
HCl			3	мг/м ³	HNAV
	0,31 – 3				NA
	2 ⁽¹⁾	<1	2,4		HNAV
Cd	0,0003			мг/м ³	AAV
	0,013				AAV
	<0,002 ⁽¹⁾				HNAV
As	<0,001			мг/м ³	AAV
As, Ni Ni	0,0006			мг/м ³	AAV
	<0,002 ⁽¹⁾				HNAV
Hg	0,01 – 0,075 ⁽¹⁾ (2)			мг/м ³	DAV/ HNAV
Cr V	<0,002 ⁽¹⁾			мг/м ³	HNAV
	0,007 ⁽¹⁾				HNAV
Pb	<0,001			мг/м ³	AAV
	<0,002 ⁽¹⁾				AAV
Pb, Cr, Cu, Mn	0,05			мг/м ³	AAV
NMVOC	47 – 50			мг/м ³	AAV
	30 ⁽¹⁾	22	33		HNAV
CH ₄	18,5 ⁽¹⁾	15	21	мг/м ³	HNAV
PCDD/F	0,08 – 0,18			нг/м ³	AAV
	0,05 ⁽¹⁾	0,044	0,057		8 HAV
BaP	0,1 ⁽¹⁾			мкг/м ³	8 HAV

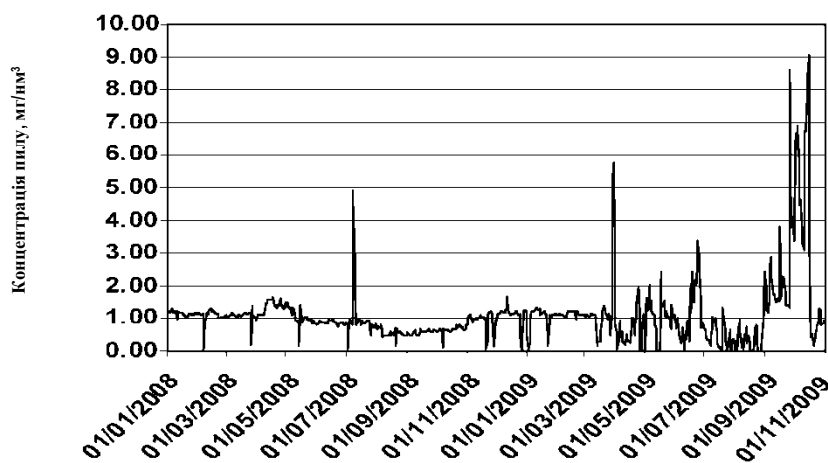
(1) Робочі характеристики з агломераційної стрічки з використанням технології MEROS (повномасштабна установка).

(2) Залежно від вмісту ртуті в рудах значення можуть досягати 0,075. Примітка: — NA – немає даних.

— AAV – середньорічне значення
— DAV – середньодобове значення.
— HNAV – півгодинне середнє значення.
— 8 HAV – середнє значення за 8 год

Джерело: [190, Eurofer, 2010] [193, Компанія «Voestalpine», м. Лінц, 2010] [244, Плікерт, 2007] [382, Лінц, 2008].

На рис. 3.17 показані середньодобові значення викидів пилу від однієї агломераційної стрічки, оснащеної рукавним фільтром (із січня 2008 року по жовтень 2009 року).



Джерело: [380, Компанія «Voestalpine», м. Лінц, 2008]

Рис. 3.17. Щодобові середні значення викидів пилу з однієї агломераційної стрічки, оснащеної рукавним фільтром, у період із січня 2008 року по жовтень 2009 року

Застосування рукавних фільтрів підвищує ступінь рециклінгу відходів, що містять діоксини та важкі метали. Є приклад, коли кількість пилу з доменного газу, що була піддана рециклінгу, зросла з 6 000 т до 39 000 т на рік [183, Вайсс, 1998].

Міжсередовищні наслідки

Застосування рукавних фільтрів пов'язане з утворенням потоку твердих відходів у процесі очищення (від 0,5 до 1 кг/т агломерату), які краще повторно використовувати в процесі спікання. У деяких випадках в зібраному пилу містяться небажані сполуки (наприклад, цинк, свинець, луги), що ускладнюють процес рециклінгу. У такій ситуації зібраний пил повинен видалятися для подальшої переробки або депонування.

На агломераційній установці компанії ArcelorMittal в Бремені, Німеччина, яка працює без десульфурації, зібраний пил і домішки з рукавного фільтра повністю повертаються на агломераційну стрічку, де PCDD/F руйнуються у фронті горіння. Пил, зібраний на аглофабриці компанії Voestalpine Stahl GmbH в м. Донавіц, Австрія, повинен депонуватися внаслідок того, що в ньому містяться значні кількості сірки, хлоридів, фторидів і лужних металів. Пил, зібраний в електрофільтрі (що використовується лише як пристрій для попереднього знепилювання), піддається рециклінгу або депонуванню залежно від вмісту в ньому хлоридів лужних металів.

Використання рукавного фільтра вимагає установки нових котельних вентиляторів. Потреба в додатковій електроенергії, включаючи вентилятори, нагрівальні пристрої, двигуни і допоміжні системи, становить приблизно 1,5 кВт-год/1 000 $\text{nm}^3/\text{год}$, порівняно з 1,0 кВт-год/1 000 $\text{nm}^3/\text{год}$, коли використовується тільки один електрофільтр.

Експлуатаційні дані

Рециркуляція твердих частинок усередині системи для утворення фільтрувального шару на поверхні рукавних фільтрів використовується для підвищення ефективності знепилювання і підвищення строку служби фільтрів.

Матеріал рукавного фільтра з тривалим строком служби – важливий аспект цієї технології. Різні типи тканинних матеріалів фільтрів з особливою якістю можуть використовуватися для досягнення балансу між ефективністю очищення, строком служби і витратами (див. табл. 3.22).

Розділ 3

Кількість домішок активованого вуглецю або буровугільного коксу, що вдуваються, залежить від площі їхньої ефективної адсорбуючої поверхні. Активоване вугілля має найвищу питому вільну поверхню і демонструє дуже хороший адсорбуючий ефект. Активованний буровугільний кокс є більш економічною альтернативою активованому коксу і тонко подрібненому буровугільному коксу з діаметром частинок 0,024 мм та демонструє дуже високу адсорбційну ефективність. Це сприяє тому, що для вдування необхідна тільки половина дози, яка використовується в разі стандартного буровугільного коксу [367, Прюм та ін., 2005]. Іноді для запобігання займання до матеріалів на вуглецевій основі, що вдуваються, слід додати інертні матеріали. У табл. 3.19 наведено характеристики різних адсорбентів і абсорбуючих матеріалів.

Таблиця 3.19: Характеристики різних адсорбуючих та абсорбуючих матеріалів

Адсорбуючі та абсорбуючі матеріали		Розмір зерен, мм	Площа поверхні ВЕТ ⁽¹⁾ , м ² /г	Нормативні забруднюючі речовини
Вапно	CaO	12	1 – 3	HCl, HF, SO ₂
Гашене вапно	Ca (OH) ₂	<8	15 – 45	
Бікарбонат натрію	NaHCO ₃		NA	
Стандартний порошкоподібний активований буровугільний кокс	Вуглець	0,063	300 – 400	Органічні сполуки, важкі метали
Тонко подрібнений активований буровугільний кокс	Вуглець	0,024	1 200	
Порошкоподібне активоване вугілля (деревне)	Вуглець		500 – 1 600	
Цеоліт	Z		4 – 90	

⁽¹⁾ ВЕТ – питома поверхня, яка визначається за методом Брюнера – Еммета – Теллера (аббревіатура назви за першими літерами прізвищ винахідників) за допомогою сорбції азоту.
Примітка: NA – немає даних.
Джерело: [59, Нете, 2005].

Для досягнення ефективної адсорбції PCDD/F необхідно забезпечити високу швидкість розподілу вуглецевих домішок уздовж перетину газоходу. Після вдування починаються процеси абсорбції та адсорбції в газоходах, які тривають у відфільтрованому осаді. Вуглецеві домішки разом із пилом збираються в рукавному фільтрі та видаляються із фільтра у звичайний спосіб. Значна частина пилу та домішок повертається до потоку відхідних газів; інша частина видаляється із системи для депонування. У деяких випадках видалені пил та домішки повністю повертаються на агломераційну стрічку, де PCDD/F руйнується у фронті горіння.

У табл. 3.20 показано порівняння експлуатаційних параметрів при використанні бікарбонату натрію та гашеного вапна.

Таблиця 3.20: Типові експлуатаційні параметри під час використання бікарбонату натрію та гашеного вапна як добавок (домішок)

Параметр	Бікарбонат натрію	Гашене вапно
Стехіометричний коефіцієнт	1,1 – 1,4	2 – 4
Відходи, залишки ⁽¹⁾	60 – 70 %	100 %
Витрати на реагенти ⁽¹⁾	140 – 210 %	100 %
DeNO _x (якщо потрібно)	Менше палива для нагрівання газу	Більше палива для нагрівання газу
Температури газу на виході	Так само, як і на вході	90 – 100 °C

⁽¹⁾ Відносні значення в разі використання гашеного вапна.
Джерело: [277, Вісенбергер, 2007] [294, Фляйшандерл, 2006].

При вдуванні води температура відхідних газів знижується, і зростає ефективність видалення кислих забруднюючих речовин. В сучасних технологіях рукавних фільтрів є системи, які знижують температуру димових газів до 120 або навіть до 80 °С, іноді за допомогою впорскування води в реакційну камеру, або побічно за допомогою кондиціонування частинок, що рециркулюються, з водою. Щойно подрібнений бікарбонат натрію вдувається в газохід димових газів за температури 140 °С. За умов використання гашеного вапна потрібно більше енергії для підігріву газу.

Використання конкретних домішок (наприклад, гашеного вапна, буровугільного коксу, бікарбонату натрію) є гнучким і залежить від екологічних вимог. Бікарбонат натрію використовується, коли потрібна вища десульфурація або система DeNO_x. Домішки зберігаються в бункерах, а бікарбонат натрію подрібнюється перед вдуванням (інжекцією).

Для того, щоб підвищити ефективність очищення газу і значно знизити витрати на домішки, велика частина пилу, яка збирається в рукавному фільтрі, повертається в потік відхідних газів перед реактором кондиціонування. Адсорбенти, що не вступили в реакцію, знову вступають у контакт із відхідними газами, в такий спосіб підвищується ефективність роботи адсорбенту і знижуються витрати на витратні матеріали. Продукти реакції та пил зазвичай депонуються під землею внаслідок дрібних розмірів зерна.

Якщо вуглець використовується для забезпечення додаткового зниження викидів PCDD/F, особлива увага повинна приділятися ризику загоряння фільтра. Може бути встановлено обладнання для виявлення наявності іскри, та, якщо необхідно, слід пропускати потік газу по байпасу. Це зазвичай робиться протягом пуску/зупинки агломераційної стрічки.

Рукавні фільтри поділяються на фільтрувальні рукави та підрозділяються на різні камери. Коли елемент рукавного фільтра виходить із ладу, для заміни фільтрувального елемента слід відключити тільки відповідну камеру.

Можливість застосування

Рукавний фільтр можна розглядати як технологію очищення в кінці виробничого процесу, яка може застосовуватись як для нових, так і для наявних установок. Для наявних установок важливими можуть бути такі вимоги як місце для розміщення установки після електрофільтра. Особливу увагу слід приділяти строку служби і параметрам використання наявного електрофільтра.

Економічні дані

Під час оцінки витрат на рукавний фільтр з установкою вдування в потік різних домішок слід мати на увазі, що ці установки використовуються не тільки для відділення пилу, але також і для зниження викидів PCDD/F, важких металів і кислих газів, таких як HF, HCl і SO₂. Інвестиції знаходяться в діапазоні від 16 до 35 євро/нм³/год (для нових та наявних установок).

Вирішальними факторами, що впливають на витрати, є падіння тиску, витрата відхідних газів, матеріал тканини та навантаження на фільтр. Експлуатаційні витрати складають близько 0,3 – 0,6 євро/т агломерату, та в більшості випадків залежать від витрат на активоване вугілля і вапняк, що постачаються, і додаткову енергію. Приклади витрат наведені в табл. 3.21.

Стимули для впровадження

Агломераційні установки є основним джерелом викидів пилу та діоксинів/фуранів на металургійних заводах із повним циклом. Стимулами для впровадження можуть бути дотримання приписаних граничних значень викидів для пилу, важких металів і PCDD/F, зниження рівня національних норм викидів відповідно до національних і міжнародних правил, природоохоронного статусу, а у випадку установки компанії Voestalpine Stahl GmbH в м. Лінц, Австрія – підвищення економічних показників порівняно із системою AIRFINE.

Розділ 3

Відповідно до Базельської конвенції та відповідного Регламенту (ЄС) № 850/2004, що стосуються поводження з матеріалами відходів, які містять стійкі органічні забруднювачі (POP), що був замінений Регламентом (ЄС) № 304/09/ЕС, транскордонні переміщення відходів типу фільтрувального пилю, що містить залізо, або шламів для цілей рециклінгу вирішуються тільки тоді, коли об'єкти, що приймають, відповідають ELV для PCDD/F 0,1 нг I- TEQ/м³.

Таблиця 3.21: Витрати на рукавні фільтри, встановлені на аглофабриках

Агломераційна установка	Економічні характеристики	Витрати, євро	Коментарі
ArcelorMittal, м. Бремен, Німеччина	Інвестиційні витрати	6,5 млн євро в 1992 році (3,6 євро/т агломерату в 1992 році) 16,25 євро/нм ³ /год	Додаткове вдування вуглецю; об'єм відхідних газів: 0,4 млн нм ³ /год
Voestalpine Stahl GmbH, район Донавіц міста Леобен, Австрія	Інвестиційні витрати Експлуатаційні витрати, наприклад: <ul style="list-style-type: none"> • розміщення відходів • потреба в енергії • амортизаційні витрати 	Усього 9,3 млн євро в 2002 році (6 євро/т агломерату в 2002 році). Рукавний фільтр 6,5 млн євро (4,17 євро/т агломерату) 29 євро/нм ³ /год у 2002 році 1,6 – 1,8 євро/т агломерату у 2008 році 0,5 – 0,7 євро/т агломерату у 2008 році 0,4 євро/т агломерату у 2008 році 0,3 євро/т агломерату у 2008 році	Рукавний фільтр після електрофільтру; із загальним обсягом відхідних газів 0,32 млн нм ³ /год у 2008 році
ArcelorMittal, муніципалітет Фос-сюр-Мер, Франція	Інвестиційні витрати	Усього 16 млн євро (= 2 євро/т агломерату з урахуванням загального виробництва; 4,8 євро/т агломерату з урахуванням масштабу установки – 50 % витрат) 21 євро/нм ³ /год Всі дані за 2005 рік	У проєкті три паралельних рукавних фільтра. Обсяг відхідних газів: 1,4 млн нм ³ /год Однак тільки 50 % відхідних газів очищується за допомогою рукавного фільтра (700 000 нм ³ /год)
Rogesa, м.Діллінген, Німеччина (Система очищення димових газів на установці № 2 в Діллінгені все ще знаходиться в режимі дослідної експлуатації)	Інвестиційні витрати	Близько 22 млн євро 20 нм ³ /год Дані за 2006 рік, і вони не охоплюють деякі необхідні наступні витрати для модифікації та оптимізації	Рукавний фільтр із рециркуляцією вапна та активованого буровугільного коксу, що вдуваються; Об'єм відхідних газів: 0,6 млн нм ³ /год
Примітка: В країнах ЄС витрати на депонування фільтрувального пилю від спікання можуть бути досить значними. Джерело: [200, Єврокомісія, 2001] [249, Нідерланди, 2007] [252, Франція, 2007] [260, Німеччина, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [296, Лерой та ін., 2007] [309, Eurofer, 2007].			

Система очищення димових газів на установці № 2 у Діллінгені все ще знаходиться в режимі дослідної експлуатації.

Приклади установок

Рукавні фільтри застосовуються в процесі спікання агломерату для знепилювання відхідних газів з початку 1990-х років. У Європі кількість агломераційних установок із очищенням димових газів рукавними фільтрами зросла з 2002 року і на сьогодні включає такі підприємства:

- ArcelorMittal, м. Бремен, Німеччина, з 1992 року;
- DK Recycling, м. Дуйсбург, Німеччина;
- Voestalpine Stahl GmbH, м. Донавіц, Австрія. Ця установка для очищення відхідних газів знаходиться в експлуатації з 2002 року, з продуктивністю 400 000 м³/год;
- Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц, Австрія. Повномасштабна установка MEROS в експлуатації із серпня 2007 року та замінила систему AIRFINE;
- ArcelorMittal, муніципалітет Фос-сюр-Мер, Франція. Промислова експлуатація продовжується з 2006 року. Виробництво агломерату становить 21 000 т/добу. Система рукавного фільтра використовує гашене вапно як адсорбент при продуктивності 700 000 м³/год відхідних газів (50 % від загальної витрати відхідних газів);
- Rogesa, м. Діллінген, Німеччина. Система очищення відхідних газів аглофабрики з продуктивністю 600 000 м³/год використовує рукавний фільтр після електрофільтру, знаходиться в дослідній експлуатації з 2009 року. В системі також перед рукавним фільтром вдувається гашене вапно і активований буровугільний кокс. Для другої агломераційної стрічки була здана в експлуатацію ще одна установка з продуктивністю 900 000 м³/год.

У США, як мінімум, на трьох агломераційних установках відбувається очищення відхідних газів у рукавних фільтрах:

- Inland Steel, Східне Чикаго, США.
- Warren Consolidated Industries (WSC), компанія «Youngstown Sinter Company», м. Уоррен, штат Огайо, США.
- US Steel, Gary Works, м. Гері, штат Індіана, США.

Для таких трьох підприємств установки рукавних фільтрів заплановані або здані в експлуатацію:

- Thyssen Krupp Stahl, м. Дуйсбург, Німеччина – оголосила про модернізацію всіх трьох агломераційних установок із рукавними фільтрами після наявних електрофільтрів із завершенням у 2011 році;
- Saizgitter AG, м. Зальцгіттер, Німеччина. Система очищення відхідних газів після агломераційної стрічки з продуктивністю 680 000 м³/год із рукавним фільтром після електрофільтру була здана в експлуатацію. Заплановано, що установка повноцінно працюватиме у березні 2010 року.
- У групі Corus, м. Еймьойден, Нідерланди, проводять випробування рукавних фільтрів із 2009 року. Залежно від результатів одна з трьох агломераційних стрічок повинна була бути оснащена повномасштабним рукавним фільтром у 2010 році, а дві інших стрічки будуть модернізовані із встановленням рукавних фільтрів у 2013 році.

Довідкова література

[217, Siemens-vai, 2006] [294, Фляйшандерл, 2006] [295, Хартіг та ін., 2006] [298, Фляйшандерл, 2006] [244, Плікерт, 2007] [252, Франція, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [382, Лінц, 2008]

Таблиця 3.22: Експлуатаційні та економічні показники рукавних фільтрів на агломераційних установках

		Одиниці вимірювання	ArcelorMittal, м. Бремен, Німеччина	Voestalpine, м. Донавіц, Австрія	Voestalpine, м. Лінци, Австрія	DK Recycling м. Дуйсбург, Німеччина ⁽¹⁾	ArcelorMittal, муніципалітет Фос-сюр-Мер, Франція
Продуктивність за агломератом	Проект	т агломерату/год		NA			21 000 т/добу
	Фактично		325	177		59	
Витрата відхідних газів	Проект	1 x 10 ⁶ нм ³ /год	0,58	NA			
	Фактично		0,49	0,32		0,28	
Попереднє знепилювання			Сухий ESP (два поля)	Сухий ESP (три поля)		Попереднє знепилювання ESP, вдування гашеного вапна та буровугільного коксу, рукавний фільтр	
Пил	Вхід	мг/нм ³	Близько 211 – 267	150 – 250			80
	Вихід	мг/нм ³	1 – 15	<3	<2	<0,5	<10
	ККД	%	>98,5	>98,5			
Видалення діоксинів	Вхід	нг I-TEQ/нм ³	0,64 – 0,91	Близько 0,4			
	Вихід	нг I-TEQ/нм ³	0,07 – 0,11	<0,1	<0,05	0,23	<0,1
	ККД	%	90	>90			
Видалення HCl	Вхід	мг/нм ³		Макс. 100			
	Вихід	мг/нм ³	2,6 – 3,6	10	<1	< 0,4 – 1,4	
	ККД	%		Близько 90			
Видалення HF	Вхід	мг/нм ³		7,4			
	Вихід	мг/нм ³	0,57 – 0,60	<0,2	<0,2	<0,40	
	ККД	%		Близько 95			
Видалення SO ₂	Вхід	мг/нм ³		700			450
	Вихід	мг/нм ³	500	380	263	399,8	<225
	ККД	%		45			

		Одиниці вимірювання	ArceIorMittal, м. Бремен, Німеччина	Voestalpine, м. Донавіц, Австрія	Voestalpine, м. Лінц, Австрія	DK Recycling м. Дуйсбург, Німеччина (1)	ArceIorMittal, муніципалітет Фос-сюр-Мер, Франція
Видалення важких металів	ККД	мг/нм ³	Після ESP: Al: 0,2 As: 0,009 Cd: 0,076 Cr: 0,01 Cu: 0,93 Hg: 0,013 Ni: 0,01 Pb: 13,4 Zn: 0,41	Після рукавного фільтра: Al: 0,04 As: 0,0003 Cd: 0,001 Cr: 0,003 Cu: 0,003 Hg: 0,0013 Ni: 0,006 Pb: 0,02 Zn: 0,12	NA	Cd: <0,002 Ni: <0,002 Pb: <0,002	Cd: <0,001 Ni: <0,002 Pb, Cr, Cu, Mn: < 0,02 – < 0,05
Домішки (добавки)		мг/нм ³	Гашене вапно (Ca(OH) ₂): близько 450 Порошок буровугільного коксу: близько 100	Ca (OH) ₂ близько 1 500 Активованій буровугільний кокс: близько 100		Ca (OH) ₂ Буровугільний кокс	Активованій вуглець
Відходи	Утворення	кг/т агломерату	Приблизно 1	Приблизно 2,5		9,7	
	Повторне використання		Повернення на аглофабрику	NA		частково	
Тип тканини			Nomex®, Rastex®	Nomex®		PTFE	Aramid
Тип очищення			Пульсуючий струмінь	Пульсуючий струмінь		Пульсуючий струмінь повітря	
Падіння тиску		мм вод. ст.	150	Близько 150		170	
Інвестиції ⁽²⁾		євро × 10 ⁶	Рукавний фільтр: 7,3 (у 1993 році) Пристрій дозування домішок: 1,1	Рукавний фільтр: 6,5 (у 2002 році) Загальна система: 9,3		10,5	
Експлуатаційні витрати ²		євро/т агломерату	Енергія: 0,11 (у 1996 році) Інше: сильна залежність від типу та часу роботи рукавного фільтра	1,6 – 1,8 (див. табл. 3.22)		3,32	

(1) Дані за 2008 рік.

(2) Для всіх прикладів валюта була конвертована в єку у 1996 році та переглянута на євро. Примітка: NA – немає даних.

Джерело: [65, InfoMil, 1997] [99, DK Recycling, 2009] [107, N.N., 2009] [164, Вайсс, 1996] [211, Ремус, Райнер, 2008] [244, Плікерт, 2007] [309, Eurofer, 2007] [342, GWAA м.Бремен, 2005] [382, Лінц, 2008]

Опис

Циклони – це пристрої для попереднього очищення, або вони використовуються для захисту уразливого наступного обладнання (наприклад, уловлювання палаючих частинок), але в Європі вони ніколи не використовувались як автономні пристрої для очищення відхідних газів у процесі спікання. Циклони відокремлюють пил за допомогою відцентрових сил. Так як вони засновані на силі інерції, циклони є ефективним пристроєм для боротьби з викидами тільки в тому випадку, коли пил є порівняно крупним. Мультициклон використовує той самий принцип за допомогою паралельних серій циклонів, у такий спосіб досягаючи більшої ефективності. Циклони іноді використовуються на агломераційних установках як проміжні пристрої для очищення газу з метою захисту устаткування (наприклад, газоходи і вентилятори) від абразивного впливу пилу, що знаходиться у відхідних газах.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Для частинок розміром >10 мкм ефективність очищення досягає 90 – 95 % при використанні мультициклону. Однак внаслідок порівняно невеликого розміру часток пилу в газах на агломераційній установці ефективність очищення приймається на рівні 60 – 80 %. Отже, концентрації на виході від агломераційних установок становитимуть від 300 до 600 мг/м³, залежно від концентрації на вході та розподілу частинок за розмірами.

Міжсередовищні наслідки

Невелике падіння тиску (0,5 кПа) призводить до зростання споживання енергії насосами-аспіраторами відхідних газів приблизно на 200 кВт установкою потужності для агломераційної установки з витратою відхідних газів 1 млн м³/год і з продуктивністю 4 млн т агломерату на рік. Це еквівалентно 1 МДж/т агломерату, або менш ніж 0,1 % споживання енергії на агломераційній установці. Крім того, утворюється потік твердих відходів, які повністю повертаються до процесу спікання.

Експлуатаційні дані

Циклони працюють безвідмовно в умовах зносу і вологості, знижують концентрації пилу на агломераційних установках із ефективністю 60 – 80 % залежно від питомої ваги пилу. На заводі компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, концентрація на виході була досягнута близько 300 мг/м³ з використанням мультициклону.

Можливість застосування

Циклони можуть застосовуватись як на нових, так і на наявних установках.

Економічні дані

Інвестиції оцінені в розмірі від 500 до 700 євро на 1 000 м³/год. Для агломераційної установки з витратою відхідних газів 1 млн м³/год вони складають від 0,5 до 0,75 млн євро. Експлуатаційні витрати залежать від падіння тиску і, отже, від витрат енергії. Згадувалося значення в діапазоні від 0,007 до 0,015 євро на 1 000 м³ газу, що очищується. Для агломераційної установки, згаданої вище, це становить від 60 до 127 тис. євро на рік, що відповідає 0,02 – 0,04 євро/т агломерату. Для всіх прикладів валюта була конвертована в єку у 1996 році та переглянута на євро.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

На багатьох агломераційних установках світу використовуються циклони як пристрої для видалення крупного пилу. Наприклад, Corus, м. Еймьойден, Нідерланди; Wakamatsu/Yawata Works, Японія.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [310, Eurofer, 2007]

3.3.2.4 Мокрі скрубери

Опис

У скрубери пи́л у газах видаляється за допомогою рідини. Забруднена рідина видаляється із системи і зазвичай повертається до неї після очищення. Тверді речовини, що залишаються в шламі, також піддаються подальшому очищенню.

Традиційні скрубери (наприклад, скрубери Вентурі, скрубери зі зрошувальною колоною) є неефективними, коли вони застосовуються для відхідних газів агломераційної установки внаслідок малого розміру частинок пи́лу і високої концентрації вуглеводнів. Традиційні скрубери не застосовуються на агломераційних установках в Європі.

Висока ефективність скрубера (виробленого під назвою AIRFINE) відзначена при експлуатації в Європі з 1993 року.

Основні компоненти системи очищення газу включають:

- циклон або електрофільтр (ESP) для видалення крупного пи́лу, який повністю може бути повернутий на агломераційну стрічку;
- гартівний скрубер для охолодження відхідних газів, видалення великих частинок пи́лу і видалення кислих компонентів за допомогою додавання NaOH;
- система газоочищення від тонкодисперсних частинок для відділення пи́лу та одночасно очищення газу;
- водоочисне спорудження для переробки залишків/відходів.

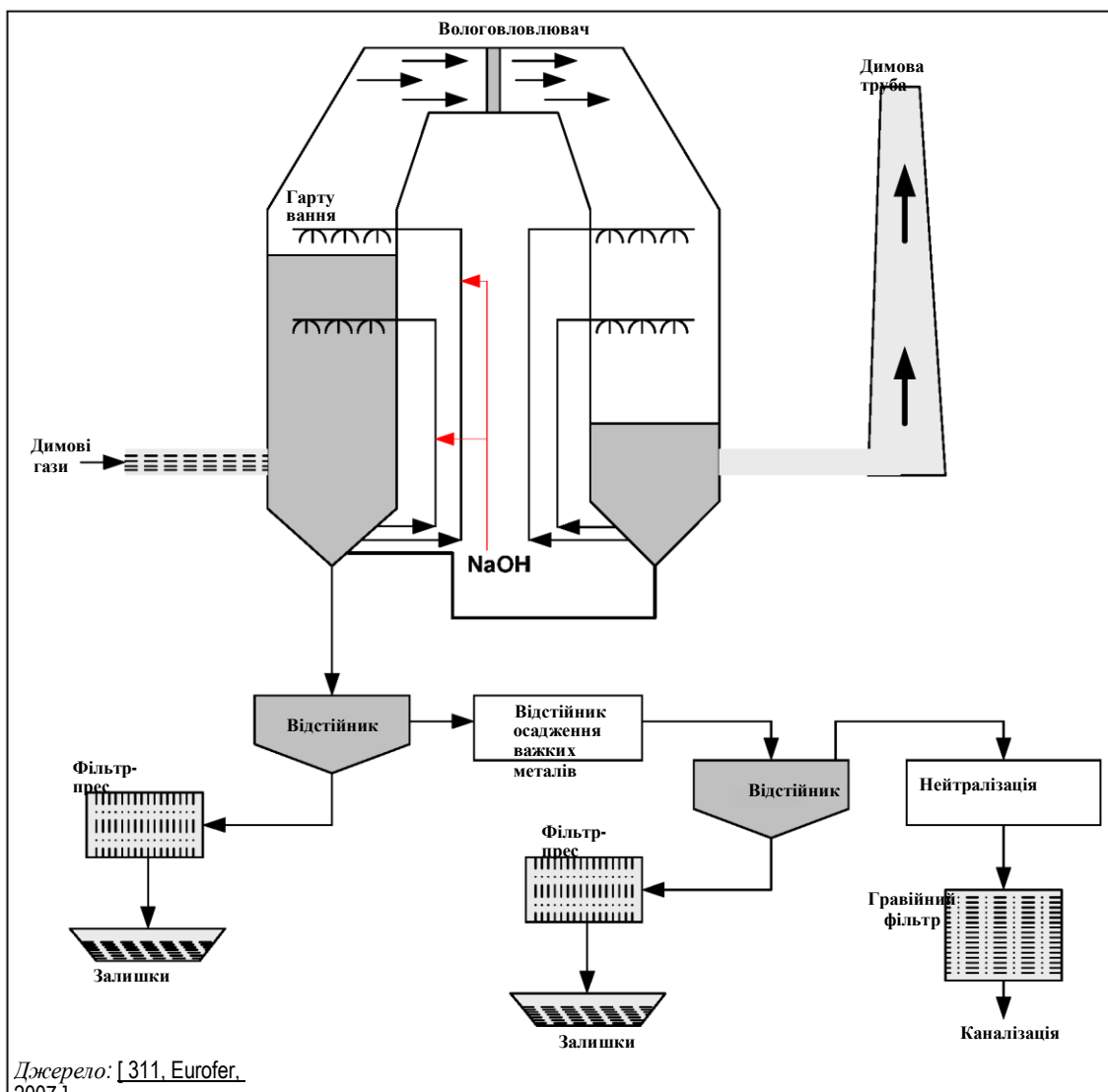


Рис. 3.18. Очищення димових газів на агломераційній установці з використанням системи AIRFINE (процес мокрого газоочищення)

Під час операції гартування вода, що дозується з NaOH, розпорошується на поверхню скрубера. В системі газоочищення від тонкодисперсних частинок застосовується двострумне сопло з водою і стиснутим повітрям, розпорошення здійснюється у вигляді туману під високим тиском в охолоджуваний потік відхідних газів.

Скрубер AIRFINE дає змогу одночасно видаляти найдрібніші частинки пилу (включаючи хлориди лужних і важких металів – див. п. 3.2.2.1.2.1)) і шкідливі компоненти відхідних газів. Останні (наприклад, PCDD/F, важкі метали) сполучаються здебільшого із тонкодисперсним пилом. Порівняно із технологіями сухого газоочищення ця технологія допомагає також видаляти водорозчинні сполуки, такі як хлориди лужних металів (див. п. 3.2.2.1.2.1) та хлориди важких металів (див. п. 3.2.2.1.2.2). Коли такі луги як NaOH додаються до скрубєрної води, можна досягнути значною мірою видалення таких кислих компонентів як HF, HCl і SO₂. Отже, водні розчини, які містять солі лужних і важких металів, очищуються за допомогою осадження/флокуляції. На установці компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди, тверді відходи поверталися на агломераційну установку до 2008 року. Починаючи з 2008 року, більшість твердих відходів стали зберігати на безпечному полігоні. Надлишок попередньо нейтралізується і пропускається через декілька гравійних фільтрів.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Експлуатаційні дані для європейських агломераційних установок, що використовують мокрі скрубери, знаходяться в діапазоні від 40 до 80 мг/м³ (середньорічні значення). Залежно від стану установки, можна миттєво досягнути рівня викидів пилу, нижчого за цей. У табл. 3.23 представлені реальні експлуатаційні параметри, виражені як середньорічні показники системи компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, з використанням системи AIRFINE.

Таблиця 3.23: Досягнуті параметри викидів на установці компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, з використанням системи AIRFINE

Компонент	Концентрація ї викидів, мг/м ³ (1)
пил	32,3 (2)
As	0,0003
Cd	0,09
Cr	0,025
Cu	0,032
Hg	0,0156
Ni	0,0065
Pb	3,75
Zn	0,64
HCl	0,48
HF	0,27
SO ₂	170
ЛОС (VOC)	50
PCDD/F	0,18 нг I-TEQ/м ³
<p>(1) Ці дані щодо викидів відповідають установці, на якій тверді частинки від очищення відхідних газів повертаються в шихту установки.</p> <p>(2) Це значення нижче ніж діапазон, зазначений в тексті для одного скрубєра AIRFINE. Наведені в тексті значення, що вище табличних даних, стосуються спільної роботи агломераційної установки (коли скрубєр AIRFINE працює протягом 95 % часу). Всі вимірювання здійснюються в режимі безперервного моніторингу.</p> <p>Джерело: [200, Єврокомісія, 2001] [247, Нідерланди, 2007] [311, Eurofer, 2007].</p>	

Технологія ефективна також для очищення від PCDD/F. За нормальних умов експлуатації гарантується рівень очищення 0,4 нг I-TEQ/нм³, досяжним є 0,18 нг I-TEQ/нм³, що відповідає ефективності > 90 % по відношенню до концентрації на вході 2,5 – 3,0 нг I-TEQ/нм³. Ця технологія дає можливість знизити викиди органічних забруднюючих речовин, таких як PCDD/F внаслідок ефективного видалення тонкодисперсного пилу (за робочої температури діоксиноподібні сполуки конденсуються на пилу).

Домішки (активованій вуглець) не враховуються при досягненні цієї величини. Крім того, видалється від 80 до 95 % HCl та HF. Викиди SO₂ можна знизити з високою ефективністю, якщо є установка з вдування домішок (див. п. 3.3.2.7.2). Концентрації важких металів також ефективно знижуються (> 90 %) в результаті їх водорозчинності. Викиди неполярних забруднюючих речовин, таких як PAH, також знижуються завдяки ефективному очищенню від тонкодисперсного пилу.

Міжсередовищні наслідки

На установці компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди, тверді відходи поверталися на агломераційну установку до 2008 року. Починаючи з 2008 року, більшість твердих відходів стали зберігати на безпечному полігоні.

Солі свинцю у відхідних газах негативно впливають на роботу мокрих скрубєрів (особливо в разі тонкодисперсного пилу). Цього зазвичай вдається уникнути за допомогою процедур обслуговування.

На установці компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, витрата охолоджуючої води становить 800 м³/год, а стічних вод – 50 м³/год. Цей потік забруднених стічних вод можна очистити.

Концентрації викидів від стічних вод і коефіцієнти викидів, що досягаються за допомогою скрубєра для очищення від тонкодисперсного пилу і попереднього фільтра для очищення від пилу (ESP), а також в результаті подальшого очищення (осадження/флокуляція) на установці компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, наведені в табл. 3.24 (для даних за 2007 рік див. табл. 5.22)

Таблиця 3.24: Досягнуті концентрації викидів для стічних вод, що очищуються, від мокрого газоочищення відхідних газів від пилу з використанням електрофільтрів на установці компанії Cogus в м. Еймьойден, Нідерланди, у 2004 році

Компонент	Концентрація, мг/л
Витрата очищених стічних вод	50 м ³ /год ⁽¹⁾
pH	9 – 12
Зважені тверді частинки	30
As	0,002 – 0,005
Cd	0,005 – 0,01
Cr	0,02 – 0,05
Cu	0,05 – 0,1
Hg	0,0001 – 0,0002
Ni	0,05 – 0,1
Pb	0,2 – 0,5
Zn	0,05 – 0,1
COD	250 – 350
Kjeldahl-N	250 – 350

⁽¹⁾ Середньорічні значення.
Примітка: Дані за 2004 рік.
Джерело: [200, Європейська Комісія, 2001] [311, Вісенбергер, 2007].

Стічні води піддаються додатковому очищенню на установці для біологічного очищення (див. табл. 5.25, рис. 5.23 та рис. 5.24).

Експлуатаційні дані

Реальна ефективність очищення пов'язана з енергією, що надходить (стиснене повітря для системи автоматизації), та експлуатаційною ефективністю гартувальної частини.

У табл. 3.25 наведені дані щодо споживання електроенергії та пиловловлювання.

Таблиця 3.25: Експлуатаційні дані для установки компанії Cogus в м. Еймьойден

Параметр	Компанія Cogus, м.	Одиниці вимірювання
Споживання електроенергії	43 12	МДж/ т кВт- год/т
Уловлювання грубого пилу ⁽¹⁾	250 – 350 (з циклонами)	мг/м ³

⁽¹⁾ Значення, що досягаються на виході після уловлювання грубого пилу та перед скруберами.

На установці компанії Cogus в м. Еймьойден, Нідерланди, зниження викидів досягнуто за допомогою установки мокрого скрубера високого тиску. Наприклад, викиди PCDD/F та пилу знижуються приблизно на 90 %, а викиди SO₂ – на 85 %.

Однак внаслідок проблем з обслуговуванням, порушень режиму роботи і періодів пуску/зупинки технічно неминучих зупинок обладнання системи мокрого скрубера високого тиску відмовляється працювати. Однією з причин цих зупинок є те, що сопла, встановлені для належного розподілу води та стисненого повітря, забиваються сульфатом свинцю. Цей процес забивання чинитиме негативний вплив на ефективність роботи установки, і тому сопла повинні очищуватися. Внаслідок згаданих причин система мокрого газоочищення шунтується на період приблизно 500 год на рік. Аналіз показує, що приблизно 50 % цього періоду займають операції з обслуговування, а 50 % пов'язані з порушеннями технологічного процесу.

Тому викиди в періоди роботи байпасу складають значну частину щорічних викидів з установок (для пилу приблизно 50 %, для SO₂ – приблизно 15 %).

Важко або неможливо точно передбачити, якого рівня зниження викидів на рік можна досягнути. Однак було оцінено, що скорочення періоду роботи байпасу до 200 год може допомогти зменшити рівень викидів приблизно на 30 т/рік за пилом і на 125 т/рік за SO₂, а також значно скоротить викиди PCDD/F та HF щодо загальних річних викидів металургійного заводу.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних заводів. Однак слід зазначити, що деталі застосування залежать від конкретного майданчика/установки. Залишкові очищені стічні води повинні бути видалені з очисних споруд. Тому використання цих систем часто залежить від поводження із залишковими стічними водами, а отже, від місцезнаходження агломераційної установки.

Економічні дані

У компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди, інвестиції та витрати в інфраструктуру склали приблизно 40 млн євро в 1997 році. Установка знаходилася в експлуатації з травня 1998 року та з цього часу було очищено в цілому 630 тис. нм³/год відхідних газів із трьох агломераційних стрічок. Для цього прикладу валюта була конвертована в єку у 1997 році та переглянута на євро.

Реальні витрати можуть значно варіюватися залежно від установки та місцевих вимог щодо очищення стічних вод.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

В Європі технологія скрубера AIRFINE застосовувалася на двох агломераційних установках: компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія, (початок експлуатації з 1993 року) та компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, (початок експлуатації з 1998 року). Скрубер AIRFINE компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія, був замінений рукавним фільтром у серпні 2007 року. Третя установка знаходиться в експлуатації компанії ВНР в м. Вайалла (Whyalla), Австралія, на обладнанні для отримання окатишів.

Державна рада Нідерландів (Апеляційний суд, Вищий адміністративний суд) у Гаазі уклала угоду між компетентним органом (провінцією Північна Голландія), компанією Corus та Державною інспекцією з питань навколишнього середовища щодо рукавних фільтрів. Відповідно до цієї угоди побудова рукавного фільтра в кінці лінії очищення першої з трьох агломераційних стрічок розпочата в грудні 2010 року. Це буде перша великомасштабна установка, призначена для випробувань, адаптації та поліпшення характеристик установки. До 2015 року всі три установки повинні бути оснащені рукавними фільтрами.

Довідкова література

[45, Геберт, 1995] [247, Нідерланди, 2007] [248, Eurofer, 2007] [249, Нідерланди, 2007] [295, Хартіг та ін., 2006] [311, Eurofer, 2007]

3.3.2.5 Зниження викидів летких органічних сполук (ЛОС/ВОС)

3.3.2.5.1 Зниження вмісту летких вуглеводнів в агломераційній шихті

Опис

Надходження вуглеводнів може бути мінімізовано, особливо за допомогою зниження нафтопродуктів у сировині, що поступає.

Розділ 3

Ці нафтопродукти надходять в агломераційну шихту переважно у вигляді домішок прокатної окалини. Вміст нафтопродуктів у прокатній окалині може значно варіюватися, залежно від її походження. Іноді вміст нафтопродуктів доходить до 10 %, але в таких випадках використання окалини на агломераційних установках зазвичай не відбувається без попередньої обробки.

Велика частина таких вуглеводнів випаровується з агломераційної суміші за температур від 100 до 800 °С, і вони видаляються з агломераційної установки разом із відхідними газами.

Можна застосувати кілька технологій для мінімізації надходження нафтопродуктів та прокатної окалини в газоходи, включаючи такі:

1. Обмеження надходження нафтопродуктів за допомогою поділу та наступного відбору забрудненого пилу і прокатної окалини з низьким вмістом нафтопродуктів.
2. Використання способів «раціонального ведення технологічного процесу» на прокатних станах, що може привести до суттєвого
3. зниження вмісту нафтопродуктів в прокатній окалині за допомогою:
 - a) Нагрівання прокатної окалини приблизно до 800 °С, коли вуглеводні випаровуються, і виходить чиста прокатна окалина. Летючі вуглеводні можна спалювати;
 - b) Видалення масел із прокатної окалини з використанням розчинника.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Можна досягнути концентрації неметанових легких органічних сполук (NMVOC) на рівні <20 мг/м³ (середньорічне значення). Викиди можуть бути значно вище, якщо не будуть вжиті застережні заходи для зниження вмісту олії/масла в шихті для агломерату, або в результаті використання певного палива. Підвищені рівні викидів характерні для установок, що працюють тільки з електрофільтрами як основною системою зниження викидів в кінці технологічного процесу.

Міжсередовищні наслідки

Коли відходи, в яких міститься залізо, йдуть у виробничий брак як шихта для агломераційної установки, вони або переробляються в інший спосіб, або депонуються. Отже, відходи фактично можуть перейти на іншу ділянку.

При термічному видаленні масла з прокатної окалини додатково споживається енергія. Летючі вуглеводні при цьому повинні бути належно видалені (загальне правило: температури >850 °С для >2 секунд за >6 % O).

Експлуатаційні дані

Переважно низький вміст масла (нафтопродуктів) в пилу та залишках прокатної окалини необхідний для запобігання пожеж та утворення окалини в електрофільтрі або забивання в рукавному фільтрі. Високий вміст масла підвищує ймовірність утворення PCDD/F (див. п. 3.2.2.1.2.8). Зниження вмісту масла зазвичай призводить до зниження викидів ЛОС.

Можливість застосування

Зниження викидів ЛОС може використовуватись як на нових, так і на наявних установках.

Економічні дані

Жодних даних щодо зниження вмісту нафтопродуктів немає.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

На багатьох установках регулюється надходження масел (нафтопродуктів) із відходами, в яких міститься залізо, особливо тих, де є ESP або рукавний фільтр.

Кілька установок для видалення масел (нафтопродуктів) із прокатної окалини експлуатувалися в дослідному режимі в кінці 1990-х років в Німеччині, але всі вони припинили працювати.

Отже, на сьогодні технології переробки не використовуються в комерційному масштабі у металургійній промисловості ЄС.

Довідкова література

[45, Геберт, 1995] [65, InfoMil, 1997] [145, коментарі США, 1997] [242, Кофлін, 2007] [303, Eurofer 2007] [387, Фішер та ін., 2005]

3.3.2.5.2 Спікання поверхневого шару шихти

Опис

У п. 3.3.4 описане повернення матеріалів, в яких міститься залізо, на агломераційну стрічку. Що стосується повернення матеріалів, в яких містяться вуглеводні, особливо мастило/нафтопродукти, то в п. 3.3.2.5.1 описані технології для зниження рівня їх надходження. Є також можливість рециклінгу таких матеріалів із підвищеним вмістом нафтопродуктів за умови, що вміст нафтопродуктів в загальній суміші не буде перевищувати 3 %. Цей метод називається «спікання верхнього шару шихти», і вважається, що це набагато дешевше порівняно зі способами видалення нафтопродуктів. За умов спікання верхнього шару суміш із побічних продуктів/залишків, яка містить нафтопродукти та вуглеводні, кондиціонує до вмісту вологи приблизно у 7 %, а потім осідає в барабані подачі на основному шарі агломерату. Використовується другий запалювальний пристрій агломераційної машини з потужністю споживання від 25 до 35 % від енергії, яка споживається головним пальником, для займання другого (підповерхневого) шару. Для досягнення високої якості агломерату в підповерхневому шарі побічних продуктів, що містять нафтопродукти, важливо підтримувати баланс обраних енергоносіїв в цьому шарі, щоб були виконані вимоги ентальпії випаровування води та нафтопродуктів, а також умови для руйнування власних органічних компонентів і повного спікання цього шару. Додатково до цієї ретельної пропорції компонентів агломераційної шихти вирішальне значення має точне позиціонування та вибір часу запалювання підповерхневого шару, що спікається.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Видалення вуглеводнів (які утворюються переважно у зв'язку з наявністю нафтопродуктів в матеріалах, що піддаються рециклінгу) у шарах, які спікаються, оптимізується, для того щоб захистити електрофільтр (від загорянь) і для попередження блакитної димки (яка є ознакою неповного спалювання органічних компонентів). Крім того, можна знизити викиди PCDD/F; пробні випробування продемонстрували зниження на 60-65 %, але немає даних з агломераційних стрічок.

Міжсередовищні наслідки

Необхідна наявність додаткового палива для розпалювання другого шару.

Експлуатаційні дані

Агломераційна стрічка компанії Voestalpine Stahl GmbH в Австрії має продуктивність 35 т/м²/добу. Після впровадження технології спікання верхнього шару в січні 1995 року продуктивність не змінилася. Потужності для рециклінгу виробничих відходів, що містять залізо, складають 18 т/год.

Можливість застосування

Є обмежена придатність для наявних установок внаслідок нестачі місця для об'єктів додаткового зберігання і для системи вторинної сировини. Нові установки повинні зазвичай прагнути до технологій, які мінімізують надходження вуглеводнів до побічних продуктів, що піддаються рециклінгу. Гнучкість у виборі сировинних матеріалів дуже обмежена.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

В Європі ця технологія застосовується на агломераційній установці компанії Voestalpine в м. Донавіц, Австрія, але в період написання довідника (2010 рік) вона не працювала.

Довідкова література

[159, VAI, 1997]

3.3.2.6 Зниження викидів PCDD/F

3.3.2.6.1 Придушення утворення PCDD/F за допомогою додавання сполук азоту у суміш, що спікається

Опис

Утворення PCDD/F можна придушити за допомогою додавання речовин, які чинять інгібуючий вплив на утворення PCDD/F. Припускають, що такі речовини утворюються здебільшого в самому агломераті. В цьому випадку ефективний метод для зниження утворення PCDD/F пов'язаний із додаванням азотних сполук до твердої суміші, що спікається, для уповільнення каталітичних реакцій на відповідних поверхнях. З цієї причини були проведені випробування з додаванням триетаноламіну (TEA), моноетаноламіну (MEA) або сечовини на різних агломераційних установках. Додавання грубозернистої сечовини до шихти, що спікається перед змішувачем і/або огрудковувачем застосовувалося в повному промисловому масштабі на декількох установках. Грубозерниста сечовина при цьому рівномірно розподіляється по всій сировинній суміші перед подачею на стрічку.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

На установці компанії Corus в м. Порт-Толбот, Сполучене Королівство, вдалося досягнути показників щодо викидів PCDD/F при використанні додавання сечовини в 1 нг I-TEQ/м³ за 17 % залишкового кисню в оптимальних умовах. Зазвичай концентрація викидів діоксинів знижується тільки на 40 – 60 % на агломераційних установках із використанням виключно електрофільтра як системи придушення викидів у кінці технологічного процесу. Використання сечовини мінімізує також викиди хлориду водню та фториду водню.

Міжсередовищні наслідки

Додавання сечовини має певні недоліки:

- можливість негативного впливу на показники очищення від пилу за допомогою ESP;
- факел продуктів згоряння з агломераційної установки стає видимим, що призводить до скарг з боку населення;
- використання сечовини призводить до викидів аміаку;
- викиди пилу та мікробрудночущих речовин дійсно збільшуються внаслідок поєднання деяких факторів, згаданих вище.

Експлуатаційні дані

Управління та розподіл грубозернистої сечовини може викликати деякі проблеми, характерні для матеріалу (гігроскопічного за своєю природою). Є приклад, коли додавали 40 кг сечовини/год до 0,12 кг/т промислового агломерату.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись на наявних установках, а також може вводитися під час проектування нової установки.

Економічні дані

Відзначаються порівняно низькі капіталовкладення і низькі експлуатаційні витрати для застосування цієї технології. Капіталовкладення для агломераційної установки з продуктивністю 4 млн т агломерату/рік складають приблизно 700 тис. євро (цегляне укриття, бункер для зберігання з регулюванням вологості, обладнання для дозування і контролю). Експлуатаційні витрати становлять близько 0,08-0,14 євро/т агломерату (в цінах 2004 року в Сполученому Королівстві, зважаючи на співвідношення 1 фунт стерлінгів = 1,44 євро).

Альтернативна простіша система також була застосована для установки близької за рівнем продуктивності з витратами близько 145 тис. євро, а очікувані експлуатаційні витрати повинні були скласти від 0,05 до 0,07 євро/т агломерату (в цінах 2007 року в Сполученому Королівстві, зважаючи на співвідношення 1 фунт стерлінгів = 1,45 євро).

Стимули для впровадження

Стимулом для впровадження цієї технології є зниження викидів діоксинів.

Приклади установок

Попередні випробування із системою тимчасового дозування сечовини на колишній установці компанії Corus в м. Лланверн, Сполучене Королівство (Уельс) в 1996-98 роках привели до появи патентної заявки в 1998 році. Можливість застосування технології була продемонстрована подальшими випробуваннями на агломераційній установці компанії Corus в м. Сканторп, Сполучене Королівство у 2000-2001 роках. Була встановлена система безперервного дозування в м. Порт-Толбот, Сполучене Королівство, де в 2003-2004 роках проводилися тривалі випробування щодо дозування. Технологія застосовується на постійній основі на двох агломераційних установках компанії Corus у містах Скантроп та Тіссайд у 2007 році.

Випробування з додаванням сечовини, МЕА та ТЕА були проведені в 1999 і 2001 роках компанією ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія, та в 2008 році групою компаній Riva в Таранто, Італія, де промислова установка для зберігання і дозування сечовини була введена в експлуатацію в 2009 році.

Довідкова література

[140, Eurofer, 2009] [230, Брюн та ін., 2001] [265, Тан та ін., 2004] [306, Eurofer, 2007]

3.3.2.7 Зниження викидів SO₂

3.3.2.7.1 Основні заходи для зниження викидів SO₂ від процесу спікання

Опис

Викиди SO₂ від спікання можуть бути знижені чотирма способами:

- використанням сировини з низьким вмістом сірки;
- мінімізацією споживання палива, здебільшого коксового дріб'язку;
- підвищенням поглинання сірки агломератом;
- використанням більших шматків коксу.

Сполуки сірки надходять до процесу спікання переважно із коксовим дріб'язком і, меншою мірою, з рудами. Викиди SO₂ можна зменшити за допомогою використання сировини з низьким вмістом сірки. Можна вважати вміст сірки $\leq 0,8\%$ у коксовому дріб'язку та $\leq 0,08\%$ у залізних рудах низьким, адже вони добре корелюють зі зниженими викидами SO₂.

Питоме споживання коксового дріб'язку на агломераційних установках ЄС було знижено за останні 30 років приблизно на 50 % – до нинішнього рівня 39 – 64 кг/т агломерату.

Ще одним важливим фактором є ступінь поглинання сірки агломератом. Сірка частково залишається у продукті, що спікається. Її вміст складає близько 13 – 25 % залежно від основності агломерату. Крім того, використання більших шматків коксу може призвести до значного зниження викидів SO₂ (див. п. 3.2.2.1.2.4).

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Можна досягнути середньодобових значень концентрації викидів <500 мг SO₂/нм³.

Міжсередовищні наслідки

Збереження додаткової сірки в агломераті може чинити негативний вплив на роботу доменної печі, коли потрібен чавун із низьким вмістом сірки.

Експлуатаційні дані

Невідомо про конкретні проблеми. Установки працюють без збоїв.

Можливість застосування

Мінімізація надходження сірки в шихту агломерату (використання коксового дріб'язку з низьким вмістом сірки, залізної руди такого ж типу та мінімізація питомого споживання коксового дріб'язку) може застосовуватись як до нових, так і до наявних установок. Однак слід зазначити, що обмеженням може стати доступність коксового дріб'язку і руди з низьким вмістом сірки.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

ArcelorMittal, м. Гент, Бельгія; агломераційні установки компанії Corus, Сполучене Королівство; Thyssen Krupp Stahl, м. Дуйсбург, Німеччина; група компаній Riva, м. Таранто, Італія. Є також установки за межами ЄС.

Довідкова література

[7, Боте, 1993] [304, Eurofer, 2007]

3.3.2.7.2 Мокра десульфурація

Опис

Існують процеси мокрої та сухої десульфурації, але тут розглядається лише мокра система. Після охолодження відхідних газів SO₂ абсорбується у зрошувальній колоні із застосуванням розчину, що містить Ca або Mg. При цьому утворюється гіпс (CaSO₄) або сульфат магнію (MgSO₄), які видаляються з колоні як шлак. Можна застосовувати кілька реагуючих агентів:

- металомісткий шлак (шлак від процесу десульфурації – SSD). Металомісткий шлак, в якому міститься 30 – 40 % CaO, подрібнюється, змішується з водою і додається як суспензія, в якій міститься Ca(OH)₂
- гашене вапно (Ca(OH)₂)
- хлорид кальцію (CaCl₂) і гашене вапно (Ca(OH)₂)
- гашене вапно (Ca(OH)₂) та крейда (CaCO₃)
- гідроксид магнію (Mg(OH)₂).

Гіпс зневоднюється. Його якість значною мірою залежить від ефективності попередньо встановленої системи знепилювання. У деяких країнах цей гіпс продається для цементної промисловості.

Вода відділяється від гіпсової суспензії, і більша її частина рециркулює. Внаслідок утворення хлоридів необхідним є злив скрубєрної води. Отже, утворюється як тверда речовина (гіпс), так і стічні води.

Коли як реагуючий агент використовується гідроксид амонію (NH_4OH), утворюється розчин бісульфіту амонію (NH_4HSO_3). Цей розчин переробляється за допомогою вологого окислення на установці для очищення газу коксової печі з отриманням сульфату амонію ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

Мокра десульфуратія може бути також досягнута за допомогою систем мокрих золивлівловачів/скрубєрів (див. п. 3.3.2.4).

У димові гази для адсорбції PCCD/F вдувають активований буровугільний кокс. Після цієї реакції активований буровугільний кокс відділяється в рукавному фільтрі.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Ступінь десульфуратії може бути досягнута на рівні 85 – 90 %, хоча повідомлялося також про ефективність 95 – 99 %. За таких показників рівень викидів становить менше ніж $200 \text{ мг/нм}^3 \text{ SO}_x$ при вхідному значенні нижче $1,5 \text{ г/нм}^3$. Крім того, HCl , HF та пил очищуються з відхідних газів. У системі не відбувається видалення оксидів азоту.

Міжсередовищні наслідки

Утворюється шлам, що містить гіпс. Видалення гіпсу може викликати значні проблеми. У країнах, де немає ринку гіпсу, зневоднений матеріал повинен видалятись як активні відходи, що вимагають подальшої стабілізації перед депонуванням, і, тим самим, створюються додаткові витрати на розміщення. Навіть за наявності ринку для гіпсу, забруднення продукту пилом робить його менш привабливим, і він повинен депонуватись. Крім того, необхідне додаткове очищення стічних вод, коли одночасно відбувається видалення пилу.

Був приклад, коли гіпс поділяли на забруднену частину (10 %), яка депонувалася, і «чисту» частину (90 %), яка продавалася. Але ця система більше не працює.

Велика частина скрубєрної води може піддаватися рециркуляції, особливо коли пристрій для знепилювання встановлено перед системою десульфуратії. Зазвичай може бути необхідно використовувати надлишкову подачу води, щоб уникнути утворення хлоридів. Повідомлялося про діапазони надлишкової подачі від 50 до $20 \text{ м}^3/\text{год}$. Однак у деяких випадках не відбувається надлишкової подачі та вода доповнюється.

Споживання електроенергії оцінюється у $6,1 - 7,2 \text{ МДж/т}$ агломерату. Крім того, очищені гази необхідно підігрівати перед випуском, для того щоб досягнути достатньої висоти підйому шлейфу викидів. У деяких випадках для цієї мети використовується коксовий газ, а іноді у відхідних газах агломераційної установки є CO , який каталітично згорає.

Споживання гашеного вапна залежить від концентрації SO_2 на вході, кількості відхідних газів, що очищуються, та заданої ефективності. Повідомлялося про споживання 3 – 4 кг гашеного вапна ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) на $1 \text{ м}^3 \text{ SO}_2$ на заводі Wakamatsu Works, NSC, Японія.

Експлуатаційні дані

У табл. 3.28 наведено огляд експлуатаційних і економічних даних трьох установок для десульфуратії. Всі ці установки були введені в експлуатацію для відповідності природоохоронному законодавству, встановленому місцевими органами влади. Не було надано інформації щодо жодних експлуатаційних труднощів.

Можливість застосування

Ця технологія може застосовуватись як на нових, так і на наявних установках, хоча можуть виникати суттєві проблеми щодо наявності місця. Однак під час написання цього BREF (2010 рік) не було прикладів, де б застосовували мокру десульфурацію на аглофабриках у Європі. Внаслідок високих капітальних і експлуатаційних витрат та значних міжсередовищних впливів, таких як утворення шламів, розміщення додаткового обладнання і додаткових заходів з очищення стічних вод, процес мокрої десульфурації не застосовується в Європі. Це може призводити до обставин, коли стандартів якості навколишнього середовища, ймовірно, не дотримуються.

Економічні дані

Дані щодо ефективності десульфурації, що наведені в табл. 3.28, не враховують час простою установки, і передбачається цілодобова робота; тобто на практиці загальні дані щодо ефективності можуть бути значно нижче. Як зазначалося раніше, продаж гіпсу, що утворюється, неможливий в деяких європейських країнах, через те, що можливі проблеми з його розміщенням.

Повідомлялося про такі витрати для обладнання мокрої десульфурації:

Для цих прикладів валюта була конвертована в екію у 1996 році та переглянута на євро.

- інвестиційні: 50 – 80 євро/нм³/год.;
- експлуатаційні: 0,5 – 1,0 євро за кг видаленого SO₂.

Агломераційна установка продуктивністю 4 млн т/рік, з витратою відхідних газів 1 млн нм³/год та 8 640 робочих годин на рік, з необробленими викидами SO₂ від 1 200 г/т агломерату та ефективністю десульфурації 90 %, повинна мати такі витрати:

- інвестиційні: 50 – 80 млн євро;
- експлуатаційні: 0,5 – 1,1 євро/т агломерату.

Оскільки інвестиції порівняно високі (вище, ніж витрати на нову агломераційну установку) і залежать значною мірою від витрати відхідних газів, може виявитися вигідним обмежити десульфурацію секціями відхідних газів із максимальною концентрацією сірки (див. рис. 3.7) та зосередитися на зусиллях щодо зниження вмісту сірки, що надходить до процесу (див. п. 3.3.2.7.1).

У табл. 3.26 наведені загальні інвестиційні та експлуатаційні витрати для системи мокрої десульфурації з одночасним зниженням викидів NO_x для двох різних випадків. Якісне порівняння сухого та мокрого процесів десульфурації представлено тільки для агломераційних установок (див. табл. 3.31).

Таблиця 3.26: Оцінка експлуатаційних витрат процесу мокрого очищення разом із системою SCR

Необхідна ефективність очищення	deSO _x : 95 % deNO _x : 40 %	deSO _x : 95 % deNO _x : 80 %
Початкові витрати:	110 ⁽¹⁾	147
• основний об'єкт	85,4	122,6
• установка для очищення води	7,3	5,9
• інше (трубопроводи, електроенергія та контрольно-вимірювальні прилади, цивільні об'єкти, інженерно-технічні роботи)	17,3	18,5
Експлуатаційні витрати (8 476 год/рік)	154,4	197,5
• електроенергія	51,0	56,8
• коксовий газ	54,5	77,6
• Mg(OH) ₂	29,9	29,9
• інше (каталізатор, NH ₃ , хімічні речовини для WWTP (установки з очищення стічних вод), комунальні послуги, пара)	19,0	33,2
(1) Загальні витрати для мокрої системи у випадку 1 на рівні 110 % (це значення прив'язане до 100 %, як показано в табл. 3.31 з п. 3.3.2.7.3). Примітка: — Витрата газу 1,5 млн нм ³ /год, температура газу 120 °C, SO ₂ на вході: 373 мг/нм ³ , NO _x на вході: 454 мг/нм ³ . — Мокрий процес з Mg(OH) ₂ та SCR. — Мокру десульфурацію можна також проводити з мокрим скруббером (див. п. 3.3.2.4). Джерело: [268, SHI, 2006].		

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

У табл. 3.27 наведені параметри роботи агломераційних установок, на яких застосовується мокра десульфурація.

Таблиця 3.27: Установки мокрої десульфурації на аглофабриці

Компанія	Завод	Установка	Кількість газу, що очищується (проект) (1 x 10 ⁶ нм ³ /год)	Реакційний агент
Nippon Kokan KK	м. Фукуяма		0,76	Гідроксид амонію
	Агломерація Кейхін		1,2 – 1,3	
Kawasaki Steel Corporation	м. Тіба	Агломераційна установка № 4	0,62 – 0,75	Гашене вапно
	м. Тіба	Агломераційна установка № 3	0,32	
	Міцусіма	Три агломераційні установки	0,75 ; 0,75 ; 0,9	
Kobe Steel Ltd.	м. Какогава		1	CAL (*)
	м. Кобе		0,35	
Sumitomo Metal Industries	м. Вакаяма	Агломераційна установка № 5	0,4	Гашене вапно та крейда
	м. Касіма	Дві агломераційні установки	0,88; 0,2	Гашене вапно та крейда
	м. Кокура	Установка	0,32	Гідроксид магнію
(*) CAL: Хлорид кальцію і гашене вапно. Примітка: На одній установці технологія була в експлуатації в ЄС, до моменту, коли фабрику закрили. Причиною стало те, що технологію вдалося успішно впровадити за допомогою інтеграції заходів до процесу, що запобігало поширенню міжсередовищних наслідків, таких як стічні води та тверді відходи. Джерело: [65, InfoMil, 1997] [313, Eurofer, 2007].				

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [249, Нідерланди, 2007] [251, Eurofer 2007] [268, SHI, 2006] [295, Харпрі та ін., 2006] [313, Eurofer, 2007]

Таблиця 3.28: Експлуатаційні та економічні показники для трьох аглофабрик з установками мокрої десульфурації

		Одиниці вимірювання	Nippon Kokan KK-Keihin	Nippon Steel Corp. Wakamatsu/Yawata	Sumitomo Metal Ind. Wakayama
Виробництво агломерату	Проект	т/год	500	1000	NA
	Фактично		NA	600	185
Загальні витрати відхідних газів	Проект	10 ⁶ м ³ /год	1,2 – 1,3	2	NA
	Фактично		NA	1	0,4
Основність агломерату		CaO/SiO ₂	1,8	1,92	2,2
Потужність десульфурації	Проект	10 ⁶ м ³ /год	1,2 – 1,3	1 (часткова deSO _x)	NA (часткова deSO _x)
	Фактично		NA	0,45 – 0,51 (часткова deSO _x)	0,2 (часткова deSO _x)
Попереднє знепилювання	Тип	мг/м ³	Сухий ESP	Циклон	Сухий ESP
	Чистий газ		50	NA	40
Реакційний агент			NH ₄ OH	Гашене вапно	Гашене вапно та крейда (50:50)
Концентрація SO ₂ на вході	Проект	мг/м ³	NA	1 140	1 830
	Фактично		560 – 840	513 – 684	730 – 940
Концентрація SO ₂ на виході	Проект	мг/м ³	NA	<110	370
	Фактично		3 – 9	6 – 29	NA
Ефективність десульфурації	Проект	%	NA	90	80
	Фактично		>99	95 – 98	NA
Побічний продукт	Тип	кг/т агломерату	Сульфат амонія	Гіпс	Гіпс
	Кількість		NA	1,0 – 1,34	4,5
	Переробка		Продаж	Продаж	Переважно депонування
Потреба в енергії		ГДж/т агломерату	NA	0,0061 – 0,0072 (електроенергія) (<0.3 % від загального рівня споживання енергії)	NA
Інвестиції ⁽¹⁾		10 ⁶ євро	NA	NA	19,4 (у 1976 році)
Експлуатаційні витрати ⁽¹⁾		євро/т агломерату	NA	0,016 (у 1986 році);Тільки обслуговування	0,62 (у 1986 році);Без обслуговування, без амортизації

⁽¹⁾ Для цього прикладу валюта була конвертована в єкю у 1996 році та переглянута на євро.
Примітка: NA – немає даних.
Джерело: [65, InfoMil, 1997].

3.3.2.7.3 Регенеративний процес десульфурації та зниження викидів NO_x за допомогою активованого вугілля (RAC)

Опис

Технології сухої десульфурації засновані на адсорбції SO_x активованим вугіллям. Регенераційний процес із використанням активованого вугілля (RAC) застосовують для регенерації активованого вугілля з великою кількістю поглиненого SO₂. В цьому випадку можна використовувати високоякісне дороге активоване вугілля, як побічний продукт вийде H₂SO₄. Шар регенерується або з водою, або термічно. Ця технологія застосовується в установках для спалювання муніципальних відходів, на нафтопереробних заводах, в електростанціях та агломераційних установках.

У деяких випадках використовується активоване вугілля на основі лігніту. У такій ситуації активоване вугілля з поглиненим SO₂ зазвичай спалюється в контрольованих умовах. Ця технологія застосовується для «точного налаштування» установки десульфурації в кінці технологічного процесу.

Процес RAC (продемонстрований на рис. 3.19) допомагає видаляти кілька компонентів із відхідних газів: SO₂, HCl, HF, ртуть, пил, PCDD/F та факультативно NO_x. Система може бути розроблена як одностадійний або двостадійний процес. В одностадійному процесі газу проходять через шар активованого вугілля, тоді як забруднюючі речовини адсорбуються активованим вугіллям. Видалення оксидів азоту відбувається тільки тоді, коли вдувається аміак (NH₃) в потік газу перед шаром каталізатора.

У двостадійному процесі газу проходять через два шари активованого вугілля. Аміак може вдуватися перед шаром для зниження викидів NO_x.

В регенераторі PCDD/F розкладається в температурному діапазоні від 400 до 450 °С.

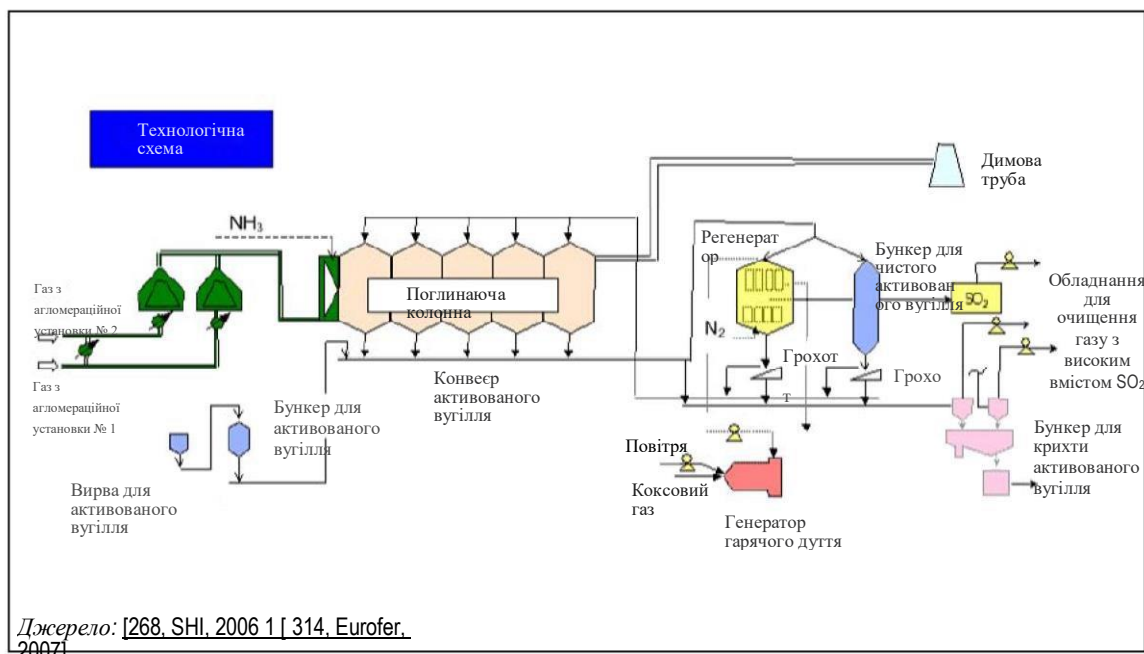


Рис. 3.19. Регенеративний процес із використанням активованого вугілля (RAC)

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Можлива високоефективна десульфурація (> 95 %). Ефективність очищення від NO_x може досягати 80 – 90 % залежно від робочих температур, додавання NH₃ і конструкції.

Ці дані щодо ефективності не враховують просту установку і припускають безперервну цілодобову експлуатацію. Отже, реальні показники ефективності повинні бути значно нижче.

Таблиця 3.29: Концентрація компонентів відхідних газів

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Витрата відхідних газів	нм ³ /хв.	14200
Температура	К	414 – 415
Волога	об.-%	6,9
O ₂	об.-%	14,7
CO ₂	об.-%	7,9
CO	об.-%	1,2
NO _x	мг/нм ³	266 – 322
SO _x	часток/млн	7 – 127
SO ₃	часток/млн	0,1
Пил	мг/нм ³	6 – 10
Примітка: Установка для очищення від оксидів сірки має обладнання для гідроксилування магнію. Якщо ця система не працює, викиди можуть зрости до 168 ppm Система складається із циклону, електрофільтру та установки сухої десульфурації. Джерело: [261, Касама та ін., 2006].		

Таблиця 3.30: Досягнуті показники агломераційної установки під час застосування деревного активованого вугілля

Забруднююча речовина	Показники, яких можна досягнути	Одиниці вимірювання	Коментарі
SO ₂	95 – > 98 ⁽¹⁾	%	
	На вході: 572 – 858	мг/нм ³	
	На виході: 20 – 30	мг/нм ³	
NO _x	>40 або 60 ⁽²⁾	%	У випадках, коли потрібно досягнути ефективності > 60 %, необхідний двостадійний процес
	На вході: 300 – 520	мг/нм ³	
	На виході: 120 – 200	мг/нм ³	
PCDD/F	На вході: 0,03 – 3	нг I-TEQ/нм ³ -сухі	На вході 1 – 2
	На виході: 0,000001 – 0,1		
Пил	На вході: 10 – 140	мг/нм ³	На вході < 1 . Погіршення характеристик пов'язане із розподілом частинок за розмірами
	На виході: 2 – 20		
Hg	95 – > 99	%	Показники не гарантовані
	На вході: 20 – 30	мкг/нм ³	
(1) Дані засновані на безперервному моніторингу протягом одного місяця на двох наявних установках і демонструють високу ефективність.			
(2) Дані, засновані на безперервному моніторингу протягом одного місяця на трьох наявних установках, показують зміну ефективності від 40 до 60 % для одностадійної системи та від 62 до 75 % для двостадійної системи.			
Джерело: [268, SHI, 2006].			

У процесі РАС рівні пилу знижуються з 80-100 мг/нм³ до менш ніж 20 мг/нм³. Викиди діоксинів знижуються з 3 до менш ніж 0,3 нг/нм³.

Міжсередовищні наслідки

Коли застосовується процес РАС, загальне споживання енергії на тонну агломерату зростає, і утворюється невелика кількість води.

На металургійному заводі з повним циклом потік води може бути очищений на наявній установці для очищення стічних вод, якщо вона є та зручно розміщена. За її відсутності доведеться нести додаткові витрати для належного очищення стічних вод. Як побічний продукт утворюється сірчана кислота.

У процесі РАС не утворюються тверді відходи, оскільки активоване вугілля регенерується і частково спалюється. Споживання електроенергії складає 1 200 кВт, або 8,6 МДж/т агломерату (близько 0,4 % від загального споживання енергії на спікання).

Коли застосовується процес без регенерації, загальне споживання енергії на тонну агломерату зростає, і утворюються забруднені тверді відходи, які необхідно належно переробляти.

Пил, що утворюється в процесі очищення, є дуже тонкодисперсним та містить важкі метали (можуть також бути радіоактивні матеріали). Такий пил не може піддаватися рециклінгу на металургійних агрегатах, в такий самий спосіб, як інший пил, що містить залізо.

Експлуатаційні дані

Агломераційна установка № 3 компанії Nippon Steel на заводі в м. Нагоя має продуктивність 12 тис. т агломерату на добу, з витратою відхідних газів 900 тис. $\text{нм}^3/\text{год}$. Основність агломерату становить 1,72 – 2,1 в 1991 році. Процес РАС був спроектований у вигляді двох паралельних одностадійних поглинаючих колон, кожна потужністю 450 тис. $\text{нм}^3/\text{год}$. Перед десульфуризацією пил видаляється в циклоні, а потім в електрофільтрі (концентрація в очищеному газі: 20-30 $\text{мг}/\text{нм}^3$). Були проведені вимірювання, в ході яких концентрація SO_2 на вході склала 360 $\text{мг}/\text{нм}^3$, а ефективність десульфурації – 97 %. Відповідна концентрація на виході склала 11 $\text{мг}/\text{нм}^3$. Тоді як концентрації пилу – 15 – 20 $\text{мг}/\text{нм}^3$ (розмір часток 2 – 4 $\mu\text{м}$; 60 % вуглецю).

Зниження викидів NO_x з РАС застосовувалося тільки на одній з двох поглинаючих колон, з вдуванням NH_3 . Загальна ефективність видалення NO_x була низькою – на рівні 15 % (або 30 % на одній поглинаючій колоні із вдуванням NH_3).

Активоване вугілля з поглиненням SO_2 регенерується за допомогою термічної обробки за температури 380 – 430 °С. Вугілля побічно нагрівається за допомогою нагрівального елемента, що опалюється коксовим газом. Додається азот (N_2) (500 $\text{м}^3/\text{год}$). Насичений водою газ із високим вмістом SO_2 (15 %) спрямовується на установку для отримання сірчаної кислоти при очищенні коксового газу. Регенероване вугілля просіюється і направляється знову в адсорбуючі шари. Частинки вугілля невеликого розміру використовуються як шихта для агломераційної установки. Такі характеристики є показовими тільки для цієї установки та їх не можна застосувати для інших установок. Споживання активованого вугілля становить до 150 $\text{кг}/\text{год}$., споживання пари (40 бар) – 600 $\text{кг}/\text{год}$, а споживання води – 0,08 $\text{м}^3/\text{год}$.

Особливу увагу слід приділяти температурі відхідних газів повторного використання при регенерації на вході (<140 °С) та концентрації пилу на вході (максимум 50 $\text{мг}/\text{нм}^3$). Пристрій для вловлювання пилу (наприклад, електрофільтр або серія циклонів з високими показниками) має бути встановлено перед процесом РАС для зниження концентрації пилу на вході.

Можливість застосування

Процес РАС можна застосовувати як технологію в кінці виробничого процесу, як на нових, так і на наявних установках. Процес зазвичай призначений для одночасного видалення кількох компонентів з відведених газів (наприклад, SO , HF , HCl , NO_x , але також пилу та PCDD/F).

Зазвичай схема розміщення обладнання та вимоги до місця є важливими факторами при розгляді технології, особливо, коли є більше однієї агломераційної стрічки.

Під час написання довідника (2010 рік) не було прикладів застосування процесу RAC на агломераційних установках у Європі. Через високі інвестиційні та експлуатаційні витрати, особливо, якщо використовуються високоякісні, дорогі, активовані типи вуглецю та потрібна установка для отримання сірчаної кислоти, процес RAC не застосовується в Європі. Хоча це можливо на нових установках при одночасному очищенні від SO_x, NO_x, пилу та PCDD/F або в обставинах, коли не дотримуються природоохоронних нормативів щодо шкідливих викидів.

Економічні дані

Інвестиції (включаючи установку для виробництва сірчаної кислоти та для очищення стічних вод) у 1987 році становили приблизно 21 млн євро. У 1991 році капітальні витрати компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія, склали приблизно 73 млн євро для установки RAC.

Експлуатаційні витрати (за винятком витрат на обслуговування та амортизацію) склали 0,75 євро/т агломерату в 1991 році. Витрати на обслуговування оцінювалися в 0,17 євро/т агломерату (750 тис. євро на рік). Відзначимо, що ці дані представлені для установки RAC, призначеної для сумісного очищення від SO₂ і NO_x.

(1) Для всіх прикладів валюта була конвертована в єкю у 1996/1997 роках та переглянута на євро.

У табл. 3.31 наведені загальні інвестиційні та експлуатаційні витрати для системи сухої десульфурації з одночасним зниженням викидів NO_x для двох різних випадків. Якісне порівняння сухого та мокрого процесів десульфурації представлено тільки для агломераційних установок (див. табл. 3.26).

Таблиця 3.31: Оцінка витрат системи з активованим вугіллям

Необхідна ефективність очищення	deSO _x : 95 % deNO _x : 40 %	deSO _x : 95 % deNO _x : 80 %
Початкові витрати:	110 ⁽¹⁾	136,1
• основний об'єкт	60,8	86,2
• початкове заповнення активованого деревного вугілля	8,8	16,2
• установка для побічного продукту (H ₂ SO ₄)	8,5	8,5
• інше (трубопроводи, WWTP, електроенергія та контрольні-вимірні прилади, цивільні об'єкти, інженерно-технічні роботи)	21,9	25,2
Експлуатаційні витрати (8 476 год/рік)	100	166,8
• активоване деревне вугілля	57,7	115,4
• електроенергія	29,8	35,3
• NH ₃ (для deNO _x)	10,4	14,0
• інше (коковий газ, комунальні послуги, пара, NaOH)	13,6	13,6
• H ₂ SO (на ринок) ⁽²⁾	-11,5	-11,5
(1) Загальні витрати для сухої системи становлять 100 % (це значення прив'язане до 110 %, як показано в табл. 3.26 з п. 3.3.2.7.2).		
(2) Компенсаційні витрати від виробленої сірчаної кислоти.		
Примітка: Витрата газу: 1,5 млн нм ³ /год; температура газу: 120 °C; SO ₂ на вході: 373 мг/нм ³ ; NO _x на вході: 454 мг/нм ³ .		
Джерело: [268, SHI, 2006].		

Інвестиції для регенеративного активованого вугілля оцінені приблизно в 60 млн євро на агломераційній установці з площею спікання 500 – 600 кв. м, а експлуатаційні витрати оцінені приблизно в 1 євро/т (Arcelor).

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Принаймні на восьми агломераційних установках впроваджена ця технологія з використанням активованого вугілля в Японії, Кореї та Австралії. Процес RAC, призначений для очищення від SO_x , застосовується на агломераційній установці № 3 на заводі Nagoya Steelworks компанії Nippon Steel Corporation в Японії, із серпня 1987 року. У 1999 році агломераційні машини № 1 і 2 на заводі Nagoya Steelworks були оснащені системами видалення SO_x , NO_x та пилу для витрати відхідних газів 1,3 млн $nm^3/год$. Інші підприємства, що повідомляли про встановлення цієї системи або її варіації процесу, включають:

- BlueScope Steel, Port Kembla Works, Австралія, агломераційна машина № 3, на якій відбувається очищення 1 552 000 $nm^3/год$ відхідних газів від пилу та PCDD/F (пуск у червні 2003 року);
- Nippon Steel Corporation, Oita Works, Японія, агломераційна установка № 1, на якій очищується 1,3 млн $nm^3/год$ відхідних газів від SO_x , NO_x , пилу і PCDD/F (пуск у 2003 році);
- POSCO, Pohang Steelworks, Корея, агломераційні машини № 3 і 4, на яких очищується 1,35 млн $nm^3/год$ відхідних газів від SO_x , NO_x , пилу і PCDD/F (пуск у листопаді 2004 року);
- Nippon Steel Corporation, Kimitsu Steelworks, Японія, агломераційна установка № 4, на якій очищується 1,7 млн $nm^3/год$ відхідних газів від SO_x , NO_x та пилу (пуск у 2004 році);
- Kobe Steel Corporation, Kakogawa Steelworks, Японія, агломераційна установка № 1, на якій очищується 1,5 млн $nm^3/год$ відхідних газів від SO_x , NO_x , пилу та PCDD/F (пуск у 2007 році).

Технологія фільтрувального шару з вугілля була перевірена на пілотній установці в Австралії (BHP Steel) і застосовується на деяких агломераційних установках у Японії. В Європі не експлуатуються агломераційні установки з використанням процесу регенованого активованого вугілля (RAC).

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [215, BSS, 2007] [252, Франція, 2007] [254, Eurofer, 2007] [261, Касама та ін., 2006] [268, SHI, 2006] [314, Eurofer, 2007]

3.3.2.8 Скорочення викидів NO_x **3.3.2.8.1 Основні заходи для зниження викидів NO_x**

При використанні антрациту можна знизити викиди NO_x , але це залежить від доступності антрациту зі зниженим вмістом азоту (порівняно із коксовим дріб'язком).

Додатковий захід, який також можна розглянути, хоч він і менш значущий, це використання для горна пальників із низькими викидами NO_x .

Ще одним варіантом зниження викидів NO_x є застосування технології утилізації відхідних газів, описаної в п. 3.3.5.2.

3.3.2.8.2 Селективне каталітичне відновлення (SCR)

Опис

У цьому процесі NO_x в газах піддаються каталітичному відновленню за допомогою аміаку (NH_3) або сечовини до N_2 і H_2O . У ролі каталізатора часто використовують п'ятиоксид ванадію (V_2O_5) або оксид вольфраму (WO_3) на підкладці з діоксиду титану (TiO_2). Іншими можливими каталізаторами є оксид заліза і платина. Повні робочі температури знаходяться в діапазоні від 300 до 400 °С.

SCR можна застосовувати як систему в таких випадках: із високим навантаженням за пилом, із низьким навантаженням за пилом і з очищеним газом. У кожному випадку із власними характеристиками. До теперішнього часу на агломераційних установках застосовується тільки система для очищеного газу.

Особливу увагу слід приділяти дезактивації каталізатора, накопиченню вибухонебезпечного нітрату амонію (NH_4NO_3), проскакування аміаку та утворенню корозійного SO_3 . Зазвичай гази повинні нагріватися перед надходженням до системи SCR для досягнення необхідної робочої температури.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

На агломераційних установках була досягнута ефективність очищення від NO_x на рівні 80 %. Вона залежить від типу каталізатора, що використовується, робочої температури та додавання NH_3 . Значення концентрації на виході знаходяться в діапазоні від 56 до 120 мг/нм^3 (за концентрації O_2 15 %) (значення на вході становили від 180 до 600 мг/нм^3).

Міжсередовищні наслідки

Оскільки SCR стосується сухої технології, немає стічних вод. Відходи утворюються тільки під час дезактивації каталізатора. Їх може переробити його виробник. Цей спосіб передбачає зберігання і використання аміаку, але необов'язково у вигляді рідкого аміаку; можна також використовувати сечовину або розчини аміаку.

Загальне споживання енергії зростає, так як гази повинні нагріватися перед вступом у контакт із каталізатором. Це знижує можливість утилізації фізичного тепла від процесу спікання. Крім того, сама система SCR споживає електроенергію.

Використання SCR демонструє, що викиди N_2O складають менше 8 частинок на 1 млн. Повідомлялося про проскакування аміаку на двох агломераційних установках (<1-3 частинок на 1 млн).

Експлуатаційні дані

На агломераційній установці компанії Kawasaki Steel Corporation, на заводі в м. Тіба (Chiba Works), Японія, в 1975 році встановили SCR для зниження викидів NO_x . Продуктивність агломераційної установки становила 7 тис. т агломерату/добу, а витрата відхідних газів – від 620 до 750 тис. $\text{нм}^3/\text{год}$. Викиди NO_x були знижені з 450 до 37 мг/нм^3 на каталізаторі з платини, і, в такий спосіб, була досягнута ефективність очищення >90 %. SCR працює як система очищеного газу, тобто встановлена після знепилювання і десульфурзації.

Система SCR може працювати або за 260 °С, або за 400 °С. За 260 °С каталізатор повинен відновлюватися кілька разів на рік за допомогою теплової обробки. За цієї температури ефективність 90 % досягається тільки за умови додавання NH_3 в кількості, що перевищує в 1,2 рази стехіометричне співвідношення. У цій ситуації відбувається проскакування аміаку. Після трьох років експлуатації за 260 °С був встановлений конвертор оксиду вуглецю перед системою SCR. У цьому конверторі відбувається каталітичне спалювання CO у відхідних газах, і утворюється тепло. Конвертор CO підвищує температуру газу приблизно з 400 до 480 °С. Ефективність видалення NO_x складає близько 90 %, що було досягнуто за умови додавання NH_3 при стехіометричному співвідношенні 0,9. Не відбувалося проскакування аміаку. Падіння тиску через шар каталізатора (1 м) склало 140 мм (вод. ст.).

На агломераційній установці компанії Nippon Kokan, на заводі Keihin Works, Японія, була встановлена система SCR в 1979 році. Вона працювала як система очищеного газу, після знепилювання і десульфурації. Агломераційна установка мала продуктивність 12 тис. т агломерату на добу, при витраті відхідних газів 1,2 – 1,3 млн нм³/год.

В SCR у ролі каталізатора використовується руда великими шматками (бурий залізняк та колчедан з Азії). Відпрацьований каталізатор просіюється та використовується за сировину в доменній печі або на агломераційній установці.

Відхідні гази надходять в SCR після підігріву до температури 340 °С при концентрації NO_x 410 мг/нм³. Концентрація в очищеному газі складає 100 – 120 мг/нм³, що еквівалентно ефективності SCR 70 – 75 %.

Падіння тиску в пристрої SCR становить 60 – 70 мм (вод. ст.). В теплообміннику падіння тиску досягає 80 мм (вод. ст.).

Споживання NH₃ становить 120 г/т агломерату. Споживання електроенергії – 0,014 ГДж/т агломерату, або <1 % від загального споживання енергії на спікання.

Згідно з отриманою інформацією, система SCR працювала без жодних проблем.

Коксовий газ використовується для підігріву під час роботи установки deNO_x на агломераційних установках № 1, 3 і 4 компанії China Steel, Тайвань. Система SCR для агломераційних установок 3 і 4 була встановлена в червні 1997 року, а на установці № 1 – у червні 1999 року. Викиди NO_x знизилися до 52 – 100 мг/нм³ (концентрація O₂: 15 %). Ефективність очищення складала близько 80 %. Коксовий газ використовується для підігріву при роботі установки deNO_x. Витрати відхідних газів для цих установок такі:

- агломераційна установка № 1: витрата відхідних газів близько 464 тис. нм³/год.;
- агломераційна установка № 3: витрата відхідних газів близько 850 тис. нм³/год; обсяг каталізатора 193,2 м³;
- агломераційна установка № 4: близько 1 164 000 нм³/год (19 400 нм³/хв).

Проскакування аміаку через каталізатор для агломераційних установок № 1 та 3 менше 1 частини на 1 млн, а для агломераційної установки № 4 від 1,5 до 3 частинок на 1 млн.

Можливість застосування

Цю технологію можна застосовувати як технологію в кінці виробничого процесу, як на нових, так і на наявних установках. На агломераційних установках в експлуатацію здаються тільки системи з очищенням газу, після знепилювання та десульфурації. Важливо, щоб у газі був низький вміст пилу (<40 мг пилу/нм³) і важких металів, оскільки при наявності частинок пилу та важких металів поверхня каталізатора стає неефективною. Окрім того, може знадобитися десульфурація перед каталізатором. Ще однією попередньою умовою є мінімальна температура відхідних газів близько 300 °С. На це буде потрібна додаткова енергія.

Під час написання довідника (2010 рік) не було прикладів застосування SCR на агломераційних установках у Європі. Внаслідок високих капітальних та експлуатаційних витрат, а також необхідності відновлення каталізатора, споживання NH₃ і можливості його проскакування, потрібна додаткова енергія для підігріву, що може зменшити можливості для утилізації фізичного тепла від процесу спікання, а тому технологія SCR не застосовувалася в Європі, Однак, вона може бути застосована у випадках, коли не дотримуються природоохоронних норм.

Економічні дані

Витрати для агломераційної установки компанії Kawasaki Steel Corporation, на заводі в м. Тіба (Chiba Works), Японія, включають:

- інвестиції: 27 млн євро в 1975 році;
- витрати на обслуговування: 0,08 євро/т агломерату в 1992 році (200 тис. євро/рік);
- експлуатаційні витрати: 0,40 євро/т агломерату в 1992 році (1 млн євро/рік), включаючи витрати на підігрів.

Витрати для агломераційної установки компанії Nippon Kokan, на заводі в Токійсько-Йокогамському промисловому районі, так званій агломерації Кейхін (Keihin Works), Японія, включають:

- інвестиції: 50 млн євро в 1979 році;
- витрати на обслуговування: 0,57 євро/т агломерату в 1992 році (900 тис. євро/рік);
- експлуатаційні витрати: 0,75 євро/т агломерату в 1992 році.

Повідомлялося про такі витрати для SCR [65, InfoMil, 1997]:

- інвестиційні: 25 – 45 млн євро;
- експлуатаційні: 0,7 – 0,9 євро/1000 очищених нм^3 .

Для агломераційної установки з продуктивністю 4 млн т/рік, з витратою відхідних газів 1 млн $\text{нм}^3/\text{год}$ та 8 640 год роботи на рік будуть такі витрати:

- інвестиційні: 25 – 45 млн євро;
- експлуатаційні: 1,5 – 2,0 євро/т агломерату.

Для цих двох прикладів валюта була конвертована в єкю у 1996 році та переглянута на євро.

У 1997 році витрати відповідно до оцінки, що наводилися для установки SCR м. Еймьойден, Нідерланди (компанія Corus), становили приблизно в 30 млн євро, включаючи систему підігріву відхідних газів 630 тис. $\text{нм}^3/\text{год}$.

Вирішальними факторами для витрат є використання каталізатора, споживання аміаку, та, за необхідності, витрати на підігрів відхідних газів.

Під час написання довідника (2010 рік) жодна агломераційна установка з системою deNO_x такого типу не працювала в Європі.

Стимули для впровадження

Дослідження показали, що ані методи запобігання утворенню NO_x як часткової заміни кокосового дріб'язку зі шлаком із високим вмістом у ньому заліза, пропану, DRI та нафтового коксу, ані використання розчину аміаку або карбонату аміаку як домішок до суміші, не передбачають практичного рішення для зниження викидів NO_x від агломераційних установок.

Приклади установок

1. Kawasaki Steel Corporation, завод Chiba Works, Японія
2. Nippon Kokan, завод Keihin Works, Японія
3. Агломераційні установки 3 і 4 компанії China Steel, Тайвань (встановлені в червні 1999 року та в червні 1997 року).

Нові установки розміщені на Тайвані та в Кореї. В Японії з 1997 року не було встановлено жодної нової системи SCR.

Була інформація, що одна установка запланована компанією Voestalpine Stahl GmbH в м. Лінц, Австрія; однак станом на 2008 рік в ЄС не було в експлуатації жодної установки SCR. У 2008 – 2009 роках система SCR для 1/10 відхідних газів повинна була використовуватись як демонстраційна установка. Було заплановано на 2011 рік за результатами роботи цієї установки оцінити перспективність її застосування.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [387, Фішер та ін., 2005] [277, Вісенбергер, 2007]

3.3.3 Пиловлловлювання і зниження викидів пилу від вторинних джерел

Опис

Вторинні викиди можна вловлювати за допомогою систем вторинного знепилювання (використовується також термін «знепилювання приміщень» щодо агломераційних установок). Ця технологія враховує різні джерела викидів, такі як укладання сировини на агломераційній стрічці, зона вивантаження зі стрічки з дробленням та грохоченням та пункти перевалки конвеєра агломерату. Гази, що видаляються, зазвичай очищуються пристроями для знепилювання, на зразок електрофільтру або рукавного фільтра. Роботи виконуються в закритому приміщенні, що додатково допомагає в уловлюванні розсіяних/неорганізованих викидів.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Є приклад агломераційної установки, де велика частина потоків газу, що видаляються з таких операцій та з пунктів перевалки, збирається та знепилюється у трьох встановлених паралельно електрофільтрах. Викиди пилу постійно вимірюються, щорічна кількість становить 270 т, а загальна витрата газу – близько 815 тис. м³/год. Концентрація пилу становить приблизно 35 мг/м³.

На одній німецькій установці з використанням рукавних фільтрів досягнуто знепилювання приміщень на аглофабриці <4 мг пилу/м³ як середньорічне значення [342, GWAA в м. Бремен, 2005]. На іншій німецькій установці ефективність знепилювання приміщення склала <21 мг пилу/м³ і <18 мг пилу/м³, заміри виконувалися після охолоджувача агломерату. В обох випадках застосовувались електрофільтри, і значення стосувалися півгодинних середніх, при безперервному вимірюванні. На третій німецькій агломераційній установці було відмічено значення <19 мг пилу/м³ під час знепилювання після гарячої дробарки із застосуванням електрофільтру (середньодобове значення). На ще одній німецькій установці знепилювання приміщень проводилось із використанням електрофільтру та для частини відхідних газів від охолодження агломерату із тканинним/рукавним фільтром (FF). Відповідно були досягнуті такі концентрації викидів: 25 для електрофільтра та <15 мг пилу/м³ для рукавного фільтра [244, Плікерт, 2007].

На австрійській установці знепилювання приміщень проводилось з допомогою електрофільтра та рукавного фільтра. Відхідні газы, що утворюються при вивантаженні агломерату, грохоченні та транспортуванні агломерату, змішувалися, і була досягнута концентрація викидів <16 мг пилу/м³ (півгодинні середні значення). Ще на одній австрійській установці ефективність знепилювання досягала значення 3 мг пилу/м³ [211, Ремус, Райнер, 2008].

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Вторинне знепилювання використовується для всіх елементів підготовчих та допоміжних процесів, результатом яких є викиди забруднюючих речовин у повітря, включаючи пункти перевалки, змішування або підготовки шихти для спікання та охолодження агломерату, операції змішування, просіювання і дроблення.

Економічні дані

Для згаданого прикладу із витратою газу 815 тис. м³/год. інвестиційні витрати для рукавного фільтра склали 12 млн євро, а щорічні експлуатаційні витрати – 3,25 млн євро.

Стимули для впровадження

Різні види операцій на агломераційних установках типу шихтування, дроблення, охолодження та просіювання, а також транспортування (перш за все, на пунктах перевалки між конвеєрними стрічками) і рециклінгу агломерату між цими різними операціями є джерелом викидів пилу. Склад пилу такий: 75 % РМ₁₀ і 35 % РМ_{2.5}.

Приклади установок

На агломераційній установці компанії Voestalpine Stahl в м. Лінц, Австрія, проводиться вловлювання та очищення пилу для частини димових газів (375 000 м³/год.). Інша частина димових газів (160 000 м³/год) знепилюється в рукавному фільтрі.

На агломераційній установці в Нідерландах гази із зони вивантаження знепилюються за допомогою рукавного фільтра. Викиди із зони вивантаження, дроблення та просіювання, від конвеєрів та охолоджувача уловлюються і знепилюються електрофільтрами [114, Ремус, Райнер, 2008].

Компанія ArcelorMittal в м. Айзенгюттенштадт, Німеччина, проводить знепилювання викидів від охолодження стрічки та інших вторинних джерел із використанням електрофільтру.

Установка компанії Thyssen Krupp Stahl в м. Дуйсбург має внутрішній охолоджувач, розташований поруч із межею металургійного заводу. За допомогою вимірювань доведено, що викиди від охолоджувача роблять певний внесок до відкладень пилу на території за межами заводу. З цієї причини була встановлена система знепилювання охолоджувача, яка введена в експлуатацію у квітні 2003 року. Пил, що утворюється під час транспортування, маніпулювання та охолодження агломерату, збирається. Повітря з пилом від охолоджувача, грохочення з підігрівом та деяких інших місць установки відділяється і направляється на новий електрофільтр. Розсіяні викиди від зони охолодження значно знижуються за допомогою оптимізації швидкості повітряного потоку в системі знепилювання в різних точках відбору, із забезпеченням порівняно високої затрати повітря (300 000 нм³/год) в зоні вивантаження стрічки. Встановлений електрофільтр очищує загальну кількість викидів порядку 1,4 млн нм³/год, і він спроектований для досягнення вмісту частинок на виході близько 30 мг/нм³, вимірюваних як півгодинне середнє значення. Пил, уловлений в електрофільтрі, направляється за допомогою ланцюгового конвеєра до проміжного бункера. Після цього він зволожується та направляється до шару пилоподібної руди за допомогою конвеєрних стрічок.

Довідкова література

[128, Шпоренберг, 2006] [241, Польща, 2007] [249, Нідерланди, 2007] [342, GWAА в м. Бремен, 2005]

3.3.4 Використання відходів і побічних продуктів виробництва на агломераційній установці

Опис

Використання відходів є важливою функцією агломераційної установки на металургійних заводах із повним циклом. Утворені відходи складаються, переважно, із залізної окалини від прокатних станів і широкого спектру пилу і шламів, зокрема і від систем очищення відхідних газів. Будь-які види такого пилу, шламів і прокатної окалини мають достатньо високий вміст заліза або вуглецю (або інших мінеральних складових, наприклад вапна, оксиду магнію), і їх можна використовувати як сировину на агломераційній установці. Матеріали з високим вмістом вапна, наприклад багато видів металомістких шлаків, також можуть бути використані, знижуючи додаткове надходження вапна і вапняку. Можливі обмеження технологічного процесу щодо використання залишкових матеріалів на агломераційних установках, пов'язані із впливами між середовищами, про які повідомляється нижче. Ці обмеження пояснюються негативним впливом, який деякі елементи чинять на безперерйну роботу доменної печі. Тому залежно від шихти доменної печі обмеження можуть застосовуватися до вмісту в агломераті цинку, свинцю і хлоридів, тим самим обмежуючи частку використання відходів на агломераційній установці. Під час написання довідника (2010 рік) майже всі агломераційні установки у світі використовують деякі види пилу, шламів і прокатної окалини. На більшості установок в ЄС на них припадає 5-6 % шихти агломерату, хоча їхня частка може доходити до 10-20 %. Принаймні на двох установках використовується 100 % пилу, шламів, шлаків та домішок.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Кількість зекономлених сировинних матеріалів дорівнює кількості шламів, пилу і прокатної окалини, що використовуються. Крім того, вдається уникнути проблем із розміщенням цих відходів.

Міжсередовищні наслідки

У деяких відходах технологічних процесів містяться значні кількості нафтопродуктів, що може призвести до підвищених викидів деяких легких органічних сполук (наприклад, вуглеводнів, PCDD/F). Використання відходів із високим вмістом легких важких металів (наприклад, Hg, Cd), може призвести до зростання викидів цих металів. Рециркуляція деяких відходів може призвести до зростання концентрації цих металів у газах. Крім того, небажані компоненти, такі як луки і хлориди також можуть накопичуватись у процесі спікання. В результаті може відбутися зростання їх викидів у газах (наприклад, зростання навантаження за твердими частками в обладнанні для очищення димових газів). Для запобігання появі цих проблем займаються вдосконаленням відповідного обладнання (наприклад, поліпшені технології рукавних фільтрів або вдосконалені/модернізовані електрофільтри), для того щоб була можливість максимального використання відходів/залишків [247, Нідерланди, 2007] [248, Eurofer, 2007] [302, Eurofer, 2007].

Рециклінг, тобто переробка осадженого пилу після спікання може вплинути на зростання викидів PCDD/F внаслідок рециклінгу діоксинів від процесу вторинного синтезу і хлору [224, Ексеруе, 2002] [255, Касаї та ін., 2001]. Пил від рукавних фільтрів/електрофільтрів, який забруднений PCDD/F, повертається до шару, що спікається. Він не викликає зростання концентрації PCDD/F в пилу рукавних фільтрів/електрофільтрів [255, Касаї та ін., 2001].

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Описана технологія може застосовуватися на нових та наявних установках.

Економічні дані

За допомогою описаних способів економляться витрати на сировинні матеріали та на розміщення відходів (включаючи попередню обробку).

Стимули для впровадження

Найголовнішим стимулом для впровадження цих способів є максимальне використання відходів в інтересах сталого споживання. Тим самим досягається мінімізація використання вихідних сировинних матеріалів і в багатьох випадках обмежуються витрати на розміщення відходів [302, Eurofer, 2007].

Приклади установок

Майже всі агломераційні установки в усьому світі використовують шлами, пил і прокатну окалину, що утворюються на металургійних заводах із повним циклом. Агломераційна установка компанії DKR Recycling в м. Дуйсбург, Німеччина, була спеціально спроектована для переробки відходів виробництва від металургійних агрегатів. Вона була інтегрована до циклу роботи доменної печі для утилізації цінних компонентів на основі заліза (разом із пилом із високим вмістом цинку і свинцю), а також може використовуватися в кольоровій металургії.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [116, Рентц та ін., 1996] [224, Експе, 2002] [247, Нідерланди, 2007] [248, Eurofer, 2007] [255, Касаї та ін., 2001] [302, Eurofer, 2007] [317, Ендеманн, Г. та ін., 2006]

3.3.5 Утилізація тепла в процесі спікання

3.3.5.1 Утилізація тепла при спіканні і охолодженні агломерату

Опис

Два види вторинних енергоресурсів, що потенційно можна повторно використовувати, скидаються з агломераційних установок:

- a) фізичне тепло основних відхідних газів від агломераційних машин;
- b) фізичне тепло охолоджуваного повітря від охолоджувача агломерату.

Що стосується позиції (а), то за нормальних робочих умов використання теплообмінника для утилізації тепла від відхідних технологічних газів буде призводити до проблем, таких як неприйнятна конденсація та корозія. Ці обмеження означають, що утилізація тепла від відхідних газів за допомогою теплообмінника не практикується.

Часткова рециркуляція відхідних газів є особливим випадком утилізації тепла, і про це йдеться в п. 3.3.5.2. Фізичне тепло передається знову до шару агломерату за допомогою рециркуляції гарячих газів. Під час написання (2010 рік) це був єдиний практичний метод утилізації тепла відхідних газів.

Що стосується позиції (б), то фізичне тепло гарячого повітря від охолоджувача агломерату може утилізуватися за допомогою таких способів:

- генерація пари в котлі-утилізаторі для використання на підприємствах металургійної промисловості;
- отримання гарячої води для районного тепlopостачання;
- попередній підігрів повітря для горіння в пальнику машини для спікання (див. рис. 3.20);
- попередній підігрів шихти для агломерату;
- використання газів охолоджувача агломерату в системі рециркуляції відхідних газів.

Кількість утилізованого вторинного тепла залежить від конструкції агломераційної установки і системи утилізації тепла.

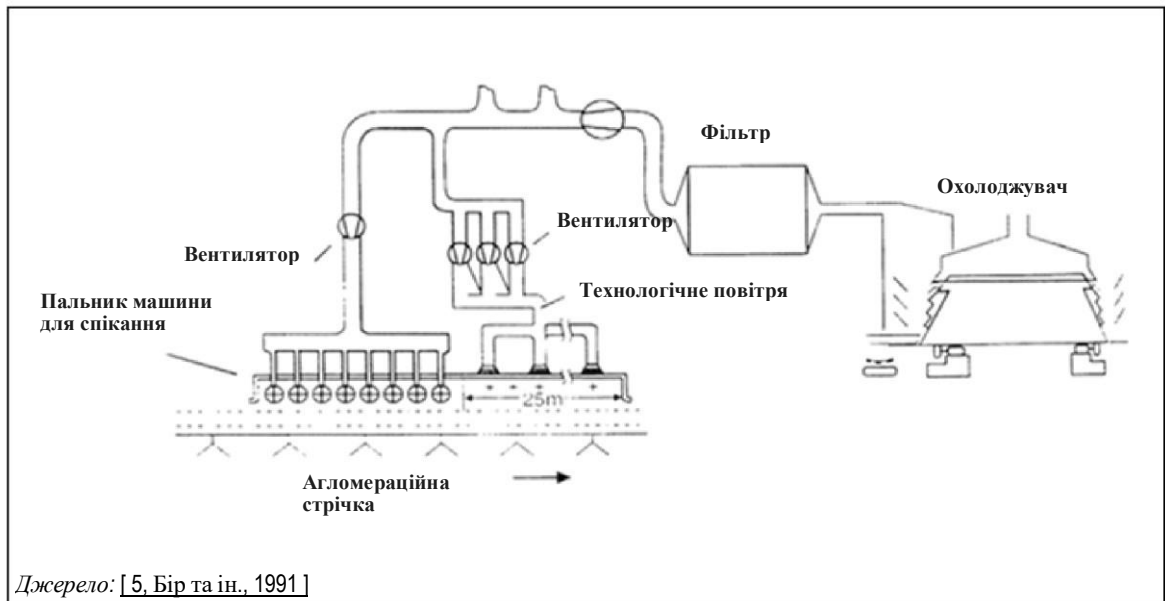


Рис. 3.20. Утилізація тепла від охолоджувача агломерату

Нижче наведено п'ять прикладів утилізації тепла.

1. Утилізація тепла відхідних газів охолоджувача агломерату зі звичайним спіканням

Фізичне тепло гарячого повітря від охолоджувача агломерату використовується для виробництва пари в котлі-утилізатори для підігріву повітря в паливнику машини для спікання.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Повідомлялося про частку утилізації енергії в кількості 18 % від загальної енергії, що споживається для котла-утилізатора, і 2,2 % від загальної енергії, що споживається для рециркуляції щодо паливника машини для спікання [65, InfoMil, 1997].

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

2. Охолоджувач агломерату та утилізація тепла відхідних газів із рециркуляцією частини відхідних газів

На агломераційній установці № 3 компанії Sumitomo Heavy Industries в м. Кокура, Японія, застосовується часткова рециркуляція відхідних газів. Перед рециркуляцією гази спрямовуються крізь котел-утилізатор. Гази від охолоджувача агломерату також спрямовуються крізь котел-утилізатор.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Повідомляються дані про утилізацію енергії на цій установці за допомогою цієї системи – 23,1 % від енергії, що споживається.

Експлуатаційні дані

Було вироблено 120 кг пари/т агломерату з температурою 273 °C і тиском 9 бар [123, SHI, 1987].

3. Утилізація тепла відхідних газів від охолоджувача агломерату за допомогою процесу EPOSINT

На агломераційній установці № 5 компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія, утилізація тепла відхідних газів досягається за допомогою процесу EPOSINT (див. п. 3.3.5.2.1). Коли застосовується система рециркуляції відхідних газів, гаряче повітря від охолоджувача можна використовувати замість додавання свіжого повітря для підвищення вмісту кисню в газах, що рециркулюють і повертаються до шару, що спікається. За цих обставин тепло, що міститься в охолоджувальних газах агломерату, утилізується в процесі спікання. Частина гарячого повітря від охолоджувача використовується для підігріву повітря для запалювання в машині для спікання.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Було досягнуто зниження питомого споживання коксу 2 – 5 кг/т агломерату компанією Voestalpine в м. Лінц, Австрія.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

4. Охолодження стрічки та утилізація тепла відхідних газів при частковій рециркуляції відхідних газів

На агломераційній установці № 4 компанії Sumitomo Heavy Industries у м. Вакаяма, Японія, охолоджувач агломерату був інтегрований в агломераційну стрічку (охолодження стрічки). На цій установці гази як від спікання, так і з зони охолодження на решітці прямували крізь котел-утилізатор і згодом були рециркульовані на стрічку.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Кількість утилізованого тепла становить 30 % від теплової енергії, що поступає.

Експлуатаційні дані

Виробництво пари становить приблизно 120 кг/т агломерату при тиску 25 бар і температурі 375 °С. Установка спроектована на виробництво 10 тис. т агломерату/добу і має площу спікання 360 м² [123, SHI, 1987]. Якщо система буде застосовуватися на наявній установці, що працює в режимі максимальної продуктивності, то це може негативно позначитися на її продуктивності.

5. Утилізація тепла охолоджувача агломерату для районного теплопостачання

На агломераційній установці № 3 компанії ArcelorMittal в м. Дюнкерк, Франція, гаряче повітря після охолодження агломерату збирається і продається партнеру, який перетворює це тепло на гарячу воду з температурою 105 °С та постачає її трубопроводами до системи міського районного теплопостачання.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Утилізується приблизно 15 кВт-год/т агломерату.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Можна запобігти викидам CO₂ за допомогою заміни викопних палив, якщо гази використовуються для виробництва енергії в системі районного теплопостачання.

Міжсередовищні наслідки

У деяких випадках знижуються викиди пилу завдяки попередньо встановленим пристроям для відділення грубого пилу. Використання відхідних газів після охолоджувача агломерату в системі рециркуляції відхідних газів має привести до зниження розсіяних викидів пилу від охолоджувача агломерату.

Можливість застосування

Утилізація тепла відхідних газів з димової труби або охолоджувача агломерату може застосовуватися як на нових, так і на наявних установках. Визнано, однак, що інвестиції нижче для нових установок, для яких запроваджуються системи утилізації тепла на стадії планування. На деяких наявних установках поточна конфігурація може привести до надмірних витрат. У 1995 році повідомлялося, що 64 % японських агломераційних установок мали систему утилізації тепла від охолодження агломерату, а 43 % японських агломераційних установок використовували утилізацію тепла відхідних газів із димової труби.

Економічні дані

Інвестиції будуть залежати від конкретних умов. Однак у разі застосування утилізації відхідних газів знижуються експлуатаційні витрати.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Утилізація тепла від охолодження агломерату часто застосовується в країнах-членах ЄС (наприклад, компанія Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, компанія Riva в м. Таранто, Італія, компанія Thyssen Krupp в м. Дуйсбург, Німеччина).

Утилізацію тепла від охолоджувача агломерату у вигляді гарячого повітря практикує компанія ArcelorMittal в м. Дюнкерк, Франція, на агломераційній установці № 3 з 1991 року. На трьох установках компанії Corus у Сполученому Королівстві утилізуватиметься тепло від охолоджувача агломерату.

На агломераційній установці № 5 компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія, утилізація тепла відхідних газів проводитиметься як частина процесу EPOSINT з квітня 2005 року.

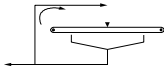
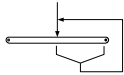
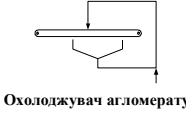
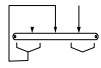
Довідкова література

[1, Аріміцу, 1995] [65, InfoMil, 1997] [103, OECD, 1988] [123, SHI, 1987] [305, Eurofer, 2007] [241, Польща, 2007]

3.3.5.2 Часткова утилізація відхідних газів

За умов часткового використання відхідних газів деяка частина їх рециркулює для процесу спікання. Частка відхідних газів, яка рециркулює до стрічки, проходить через гарячий агломерат і фронт горіння (див. рис. 3.3). Були розроблені різні процеси для застосування часткової рециркуляції відхідних газів у промисловому масштабі. Деякі технології включені до табл. 3.32 у цьому розділі:

Таблиця 3.32: Технології з частковою рециркуляцією відхідних газів, що включені в цей розділ

Розділ	Фірмова назва технології	Приклад установки	Принципова схема (стрілочками вказані потоки газів)
3.3.5.2.1 Часткова утилізація відхідних газів від всієї агломераційної стрічки	Викиди при оптимізованому спіканні (EOS)	Компанія Corus в м. Еймьойден, Нідерланди	
3.3.5.2.2 Утилізація відхідних газів від всієї агломераційної стрічки в поєднанні з теплообміном	Процес спікання з низькими викидами та оптимізацією споживання енергії (LEEP)	Компанія НКМ, Німеччина	
3.3.5.2.3 Утилізація відхідних газів від частини торця агломераційної стрічки та використання відхідних газів при охолодженні агломерату	Екологічний оптимізований процес спікання (EPOSINT)	Компанія Voestalpine в м. Лінц, Австрія	
3.3.5.2.4 Утилізація частин відхідних газів для різних частин агломераційної стрічки		NSC, агломераційна установка №2 в м. Тобата в Японії	

Джерело: [307, Eurofer, 2007].

Загальні міркування щодо можливості застосування

Застосування технології залежить від конкретних умов. У кожній ситуації необхідно враховувати супроводжуючі заходи для забезпечення того, щоб якість агломерату (тут мається на увазі механічна міцність у холодному стані) та продуктивність стрічки не знижувалися. Залежно від місцевих умов, ці заходи можуть бути порівняно незначними і легко здійсненними, або ж навпаки, вони можуть бути більш фундаментальними, затратними та складними для впровадження. У будь-якому випадку повинні бути перевірені робочі умови в тих випадках, коли намічено впровадження технології.

Важливі аспекти при визначенні можливості застосування цієї технології включають:

- початкову конфігурація стрічки (наприклад, подвійна або одинарна вакуумна камера, наявність місця для нового обладнання, і, за необхідності, подовження стрічки);
- початкову конструкцію наявного обладнання (наприклад, вентилятори, обладнання для очищення газу, просіювання агломерату та охолодження);
- початкові умови експлуатації (наприклад, сировинні матеріали, висота шару, тиск всмоктування, відсоток негашеного вапна в суміші, питома витрата, відсоток повернення з установки, що повертається до шихти);
- існуючі показники з погляду продуктивності та споживання твердого палива;
- показник основності агломерату та склад шихти в доменній печі (наприклад, відсоток агломерату порівняно із окатишами в шихті, вміст заліза в цих компонентах).

Впровадження цієї технології може змінити експлуатаційні параметри стрічки. Насправді, значні зміни у складі сировинних матеріалів або умовах експлуатації можуть суттєво змінити характеристики викидів уздовж стрічки, а, отже, порушити рівноважні умови для рециркуляції газів. У той час як ця технологія може сприяти зниженню викидів на агломераційній установці (з погляду навантаження за забруднюючими речовинами), концентрація деяких речовин може зрости (наприклад, кислі сполуки) у рециркулюючих і відхідних газах. У питанні кислих сполук важливим є жорсткий контроль температури, вологості та кислотної точки роси для запобігання надмірній корозії.

Всі згадані міркування засновані на досвіді трьох компаній; в цих конкретних випадках застосування рециркуляції відхідних газів, яке описане нижче, домоглися успіху в подоланні вищезгаданих обмежень за допомогою контрзаходів.

3.3.5.2.1 Часткова утилізація відхідних газів від всієї агломераційної стрічки

Опис

Концепція цього способу полягає в поверненні на агломераційну стрічку частки змішаних відхідних газів від всієї агломераційної стрічки (рис. 3.21). Ступінь повернення цих відхідних газів від спікання становить близько 40-45 %, що відповідає концентрації кисню в 14-15 % у суміші відхідних газів із повітрям у пальнику машини для спікання. В результаті відбувається зниження викидів відхідних газів в атмосферу на 45-50 %.



Джерело: [104, те Ліндерт та ін., 1997]

Рис. 3.21. Агломераційна стрічка з накриттям відповідно до процесу EOS (викиди при оптимізованому спалюванні)

Відхідні гази знепилюються в циклоні перед поверненням до циклу за допомогою додаткового вентилятора в пальник над стрічкою. За цих умов продуктивність стрічки не змінюється, і витрата коксового дріб'язку знижується на 10-15 % порівняно зі звичайною практикою компанії Cogus в м. Еймьойден, Нідерланди. Якість агломерату, визначена за зниженням руйнування, залишається постійною, вміст FeO в агломераті збільшується на 1,5 %, зростає здатність до відновлення, трохи знижується міцність на холодне стиснення, а середній діаметр залишається приблизно 17 мм.

Використання агломерату в доменній печі не призвело до будь-яких негативних впливів, але слід зазначити, що на цей агломерат доводиться тільки близько 50 % шихти, внаслідок високого відсотка окатишів, використаних у доменних печах компанії Corus в м. Еймбойден, Нідерланди. В інших ситуаціях рівень використаного в доменній печі агломерату може бути набагато вище (до 95 %).

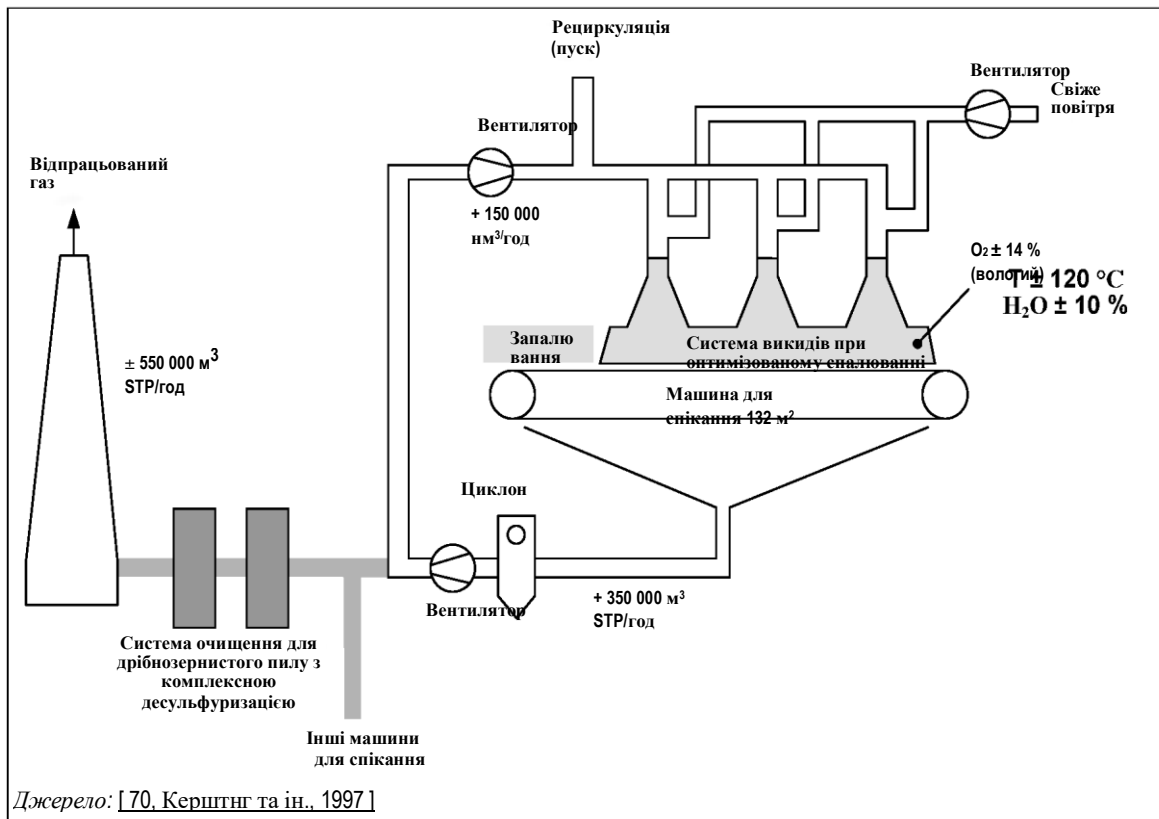


Рис. 3.22. Схема оптимізованого процесу спікання з мінімізацією викидів (EOS)

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Часткове повернення відхідних газів з усієї стрічки було розроблене здебільшого для зниження витрати відхідних газів, і, отже, викидів пилу і PCDD/F. Вигоди полягають у тому, що додаткове обладнання для подальшого очищення димових газів перед скиданням в атмосферу буде використовуватися для очищення менших обсягів, тобто з економією капітальних та експлуатаційних витрат. Перед встановленням такої системи на заводі в м. Еймбойден, Нідерланди, технологією остаточного очищення був циклон, і було очевидно, що потрібно також додаткове обладнання для очищення (див. п. 3.3.2.4). Результати роботи цієї установки з частковим поверненням відхідних газів для агломерату з високою основністю ($\geq 1,7 \text{ CaO/SiO}_2$) вказують, що успішне впровадження цієї технології можливе (див. табл. 3.33). Результати для агломерату з низькою основністю є подібними.

Таблиця 3.33: Порівняння характеристик і значень викидів звичайного спікання і викидів оптимізованого спікання на агломераційній установці компанії Corus в м. Еймбойден, Нідерланди

Компонент	Одиниці вимірювання	Звичайне спікання		Викиди при оптимізованому спіканні (EOS)	
		липень 1994 року	жовтень 1994 року	липень 1994 року	жовтень 1994 року
Загальна витрата газу	м ³ /год	394 000	372 000	328 000	328 000
Потік рециркуляції	м ³ /год	0	0	153 000	120 000
Викиди газу в атмосферу	м ³ /год	394 000	372 000	175 000	208 000
Температура	°C	164	114	155	149

Вологість	%	10	11	16	19
Точка роси кислоти	°C	46±5	ND	71±5	ND
Пил ⁽¹⁾	г/т агломерату	500	ND	170	ND
O ₂	%	15	15	11,5	12,1
CO ₂	%	7,5	7	11,7	11,2
CO	%	1	1,2	1	1
SO ₂	г/т агломерату	1 430	890	840	680
NO _x	г/т агломерату	630	570	300	410
C _x H _y	г/т агломерату	200	145	95	83
PCDD/F	мкг I-TEQ/ т агломерату	2	ND	0,6	ND

⁽¹⁾ У 1994 році викиди твердих частинок придушувалися тільки з використанням циклонів.
Примітка: — Площа всмоктування дорівнює 132 м², а продуктивність – 4 700 т агломерату на добу з високою основністю.
— ND = Немає даних.
Джерело: [104, те Ліндерт та ін., 1997].

Показники зниження викидів (за масою) в результаті застосування цієї технології на установці компанії Cogus в м. Еймьойден наведені в табл. 3.34.

Таблиця 3.34: Показники зниження викидів (за масою) для оптимізованого спікання (EOS) компанії Cogus, м. Еймьойден, Нідерланди

Параметр	Зниження викидів ⁽¹⁾ (мас. %)	
	Агломерат із низькою основністю	Агломерат із високою основністю
Витрата відхідних газів	40	40 – 50
Пил	50	60
Монооксид вуглецю (CO)	45	50
SO ₂	NA	15 – 20
NO _x	35	30 – 45
Вуглеводні (C _x H _y)	NA	50
PCDD/F	70	65

⁽¹⁾ Зниження викидів виражається як зниження масової витрати компонента. Це необов'язково передбачає зниження концентрації.
Примітка : NA – немає даних.
Джерело: [104, те Ліндерт та ін., 1997].

Ця технологія дає можливість знизити споживання коксового дріб'язку з 60 до 48 кг/т агломерату. На нідерландській установці технологія дала економію теплової енергії, яка не обов'язково буде досягнута на інших установках внаслідок того, що вони вже можуть працювати при низькому споживанні теплової енергії від застосування твердих палив у результаті оптимізації технологічного процесу. Дані обстеження Європейського комітету з доменних печей, що стосуються експлуатаційних даних для агломераційних установок (1996 рік), чітко демонструють, що багато європейських установок вже працюють за умов значно нижчих рівнів споживання енергії.

Застосування EOS вимагає установки насосів і потужних витяжних вентиляторів. Це викликає необхідність у додатковій встановленій електричній потужності у 200 – 400 кВт, що еквівалентно підвищенню питомого споживання енергії на 3 – 8 МВт/т агломерату, що досить низько порівняно із загальною потенційною економією.

Міжсередовищні наслідки

Технологія дає можливість знизити як викиди в повітря, так і споживання енергії в процесі спікання. Додаткові витяжні вентилятори викликають зростання споживання електроенергії, але воно дуже мале порівняно з економією коксового дріб'язку. Особливу увагу слід приділяти вмісту оксиду вуглецю (CO) в газах, що рециркулюють, для запобігання можливості отруєння робітників чадним газом.

Експлуатаційні дані

Ця технологія вперше була застосована в ЄС у травні 1994 року на агломераційній стрічці 31 компанії Cogus в м. Еймьойден, Нідерланди. На сьогодні EOS використовується на всіх трьох агломераційних стрічках на заводі. До цього часу коефіцієнт використання обладнання був > 95 %. У разі несправностей система автоматично перемикається на режим звичайного спікання.

Можливість застосування

Ця технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних установок. Визнано, що капітальні витрати нижче в разі впровадження технології на нових установках на стадії планування, ніж на наявних, де витрати можуть бути значно вищими через конструктивні особливості установки. На наявних установках неможливо ввести частковий рециклінг відхідних газів внаслідок обмеженого місця. Застосування рециркуляції відхідних газів вимагає особливих зусиль для забезпечення належної якості агломерату та продуктивності установки (див. п. 3.3.5.2).

Економічні дані

Інвестиції, необхідні для впровадження цієї технології на агломераційній установці компанії Cogus в м. Еймьойден, за умов звичайних витрат відхідних газів приблизно 1,2 млн м³/год на трьох агломераційних стрічках, дорівнювали 17 млн євро. Експлуатаційні витрати знизилися порівняно зі звичайним спіканням завдяки зниженому споживанню коксового дріб'язку. Оцінена економія експлуатаційних витрат склала 2,5 млн євро/рік. Ця інформація базується на зменшеному споживанні коксового дріб'язку на 6 кг/т агломерату, при ціні 100 євро/т коксового дріб'язку і при виробництві 4,2 млн т агломерату на рік. Ці дані, можливо, виняткові, та не можуть бути досягнуті на багатьох інших агломераційних установках в ЄС, перш за все на тих, які вже працюють за умов значно нижчого споживання твердого палива, ніж тих, на яких застосовуються технології компанії Cogus, м. Еймьойден, Нідерланди (див. вище). Слід також підкреслити, що оцінена середня ціна коксового дріб'язку, що використовується на інших агломераційних установках у ЄС, на 40 % дешевше, внаслідок чого будь-яка можлива економія коксового дріб'язку стає економічно менш привабливою. Однак, чим менше обсяг відхідних газів, що викидаються з агломераційної стрічки, пов'язаний із застосуванням їхньої рециркуляції, тим меншими будуть витрати на очисне обладнання.

Для всіх прикладів валюта була конвертована в єкю у 1996 році та переглянута на євро.

Стимули для впровадження

Найважливішим стимулом для впровадження є жорсткі вимоги та жорсткі стандарти на викиди, встановлені компетентними органами.

Приклади установок

Компанія Cogus, м. Еймьойден, Нідерланди. Все виробництво агломерату під час написання цього довідника (2010 рік) здійснювалось із застосуванням цієї технології. Є й інші приклади впровадження цієї технології за межами ЄС (такі як США).

Довідкова література

[49, Говерд та ін., 1995] [104, те Ліндерт та ін., 1997] [252, Франція, 2007] [254, Eurofer, 2007] [307, Eurofer, 2007]

3.3.5.2.2 Утилізація відхідних газів від всієї агломераційної стрічки в поєднанні з теплообміном

Опис

Внаслідок особливості процесу спікання концентрація різних компонентів відхідних газів виявилася рівномірно розподіленою по всій довжині агломераційної стрічки (див. рис. 3.5, 3,7 і 3.12). Перша половина процесу здебільшого пов'язана з випаровуванням вологи з рудної суміші. У другій половині відзначені підвищені концентрації оксидів сірки, сполук хлору і PCDD/F. Кількості монооксиду вуглецю і діоксиду вуглецю, а також оксиди азоту рівно розподілені між двома половинами агломераційної стрічки. Після видалення вологи на другій половині агломераційної стрічки температура відхідних газів зростає до досягнення максимального рівня в зоні температури спікання.

На відміну від інших способів рециклінгу відхідних газів, у рамках згаданої технології всі гази збираються з другої половини стрічки. Вони рециркулюють у систему по всій довжині агломераційної стрічки. Кисень, що залишається в цьому газі, забезпечує горіння палива. Коли відходить рециркуляція відхідних газів, пил, що міститься в шарі, що спікається, та PCDD/F частково руйнуються, а оксиди сірки і сполуки хлору адсорбуються. Окислення монооксиду вуглецю в газі, що рециркулює у фронті горіння, супроводжується передачею тепла в систему, допомагаючи знизити рівень споживання твердого палива.

Внаслідок рециркуляції відхідних газів від другої секції агломераційної стрічки тільки гази від першої половини зі зниженими концентраціями основних забруднювачів залишають процес через димову трубу. Це значно знижує кількість відхідних газів і обсяг викидів. Через те, що газ, який рециркулює, проходить через фронт горіння, концентрації викидів визначаються ефективністю засвоєння пилу в шарі агломерату, адсорбцією таких сполук, як хлориди і оксиди сірки, і окислюванням деяких видів (наприклад, CO, PCDD/F).

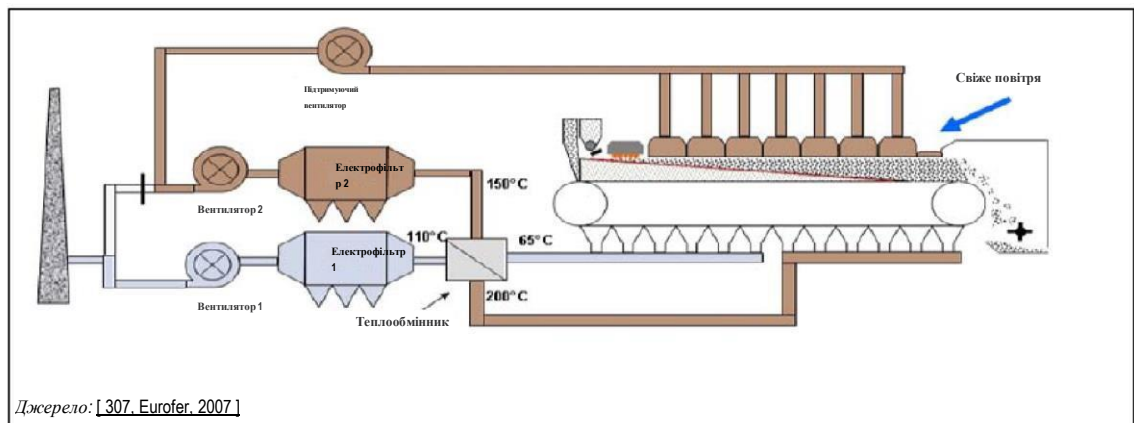


Рис. 3.23. Процес спікання з низькими викидами і оптимальним споживанням енергії (LEER), розроблений компанією Hüttenwerke Krupp Mannesmann (Німеччина)

Перед надходженням в один з електрофільтрів два газових потоки проходять через газогазовий теплообмінник. Вирівнювання температур газового потоку (перед теплообмінником: 200/65 °C, після теплообмінника: 150/110 °C) дає можливість витяжним вентиляторам працювати в тому ж режимі експлуатації, що й під час звичайного процесу спікання. Крім того, зона, де холодніший газ із першої секції стрічки досягає точки роси, обмежена газовими трубами, розташованими перед теплообмінником. Температурні рівні у всіх додаткових газових трубках перевищують кислотну точку роси. Охолодження циркулюючих гарячих газів до температури близько 150 °C також гарантує підтримку якісних показників агломерату.

Після того, як гази проходять через електрофільтри і витяжні вентилятори, технологічний газ, що рециркулює, повертається на агломераційну стрічку за допомогою додаткового підтримуючого вентилятора з регульованою швидкістю. Відхідні гази з першої секції стрічки викидаються в атмосферу через димову трубу.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

З використанням технології LEEP можна досягнути зниження деяких викидів, як це показано в табл. 3.35.

Таблиця 3.35: Деякі екологічні переваги, що досягаються за допомогою LEEP (низький рівень викидів та оптимальне споживання енергії), порівняно зі звичайним процесом спікання

Параметр	Зниження
Питомий обсяг відхідних газів на тонну агломерату	Приблизно 50 % у димовій трубі
Викиди пилу з агломераційної стрічки	50 – 55 %
Викиди SO ₂	27 – 35 %
Викиди NO _x	25 – 50 %
Викиди CO	50 – 55 %
Викиди HF	50 %
Викиди HCl	50 %
Викиди PCDD/F	Приблизно 75 – 85 %
Тверде паливо	Приблизно 5-7 кг/т агломерату дає зниження викидів CO та CO ₂
Примітка: Енергія, що міститься в коксовому дріб'язку, яка економиться, еквівалентна вмісту енергії в газі, що рециркулює. Для роботи підтримуючого вентилятора потрібно 10 МДж/т агломерату електричної енергії, що приводить до загального зменшення потреби в енергії на 213 МДж/т агломерату або на 12,5 %. Джерело: [307, Eurofer, 2007] [374, Айзен, Х.-П., та ін., 2004].	

Міжсередовищні наслідки

Відзначається невелике зростання використання електроенергії додатковим вентилятором. Особлива увага повинна бути приділена вмісту CO в газах, що рециркулюють, для запобігання можливості отруєння робочих чадним газом.

Експлуатаційні дані

Коли ця технологія тільки впроваджувалася, спостерігалось зниження продуктивності. Під час написання довідника (2010 рік) досягався той самий рівень продуктивності, що й при звичайному спіканні. У майбутньому очікується можливість підвищення продуктивності в результаті таких факторів: змін у запальному горні, додавання кисню, підвищення основності агломерату та зниження обсягу повітря, що підсмоктується. Порівняно з агломератом, що виготовляється звичайним способом, якість агломерату із системою LEEP показує, що той самий рівень розмірів зерен, міцності та можливості відновлення, а також інші високі показники досягаються за нижчої температури.

Агломераційна установка компанії Hüttenwerke Krupp Mannesmann площею 420 м² має два основні потоки відхідних газів, які переміщуються паралельно їй. Для того, щоб розділити дві зони спікання, була встановлена перегородка для повного відділення одного потоку відхідних газів від тильної області агломераційної стрічки, забезпечуючи умови для того, щоб цей основний потік захоплював повітря з першої половини стрічки. Затвори відділяють вакуум-камери передньої секції стрічки від другого потоку, в результаті чого в цьому потоці збирають гази від тильної секції стрічки.

Отже, умови експлуатації можуть змінюватися, чотири вакуум-камери (із загальної кількості 29) в середній секції агломераційної стрічки можна додатково інтегрувати або в циркуляційний контур, або в контур відхідних газів.

Можливість застосування

Ця технологія може бути впроваджена на нових та наявних агломераційних установках. На наявних установках неможливо ввести частковий рециклінг відхідних газів внаслідок обмеженого місця. Якщо наявна агломераційна установка має два основні димоходи відхідних газів, то не буде переваг використання нової схеми. Як ілюструється компанією Hüttenwerke Krupp Mannesmann, тоді вихідні основні повітродувки та електрофільтри можна зберегти. Застосування рециркуляції відхідних газів вимагає особливих зусиль для забезпечення належної якості агломерату та продуктивності установки (див. п. 3.3.5.2).

Економічні дані

При інвестиціях в 14 млн євро споживання твердого палива знизилося на 5-7 кг твердого палива/т агломерату (12,5 % потреби в паливі) з відповідною економією експлуатаційних витрат.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Ця технологія використовується з грудня 2001 року на заводі в м. Дуйсбург, район Хукінген, Німеччина, що належить компанії Hüttenwerke Krupp Mannesmann.

Довідкова література

[277, Вісенбергер, 2007] [295, Хартіг та ін., 2006] [307, Eurofer, 2007]

3.3.5.2.3 Утилізація відхідних газів від частини торця агломераційної стрічки та використання відхідних газів при охолодженні агломерату

Опис

Селективна рециркуляція відхідних газів у процесі EPOSINT (екологічний процес оптимізованого спікання) має переваги внаслідок того факту, що викиди твердих частинок та інших видів із шару агломерату більше концентруються в тих вакуум-камерах, які направлені до розвантажувальної стороні агломераційної стрічки, де спостерігається швидке зростання температури відхідних газів (див. рис. 3.7, наприклад). Ці вакуум-камери обрані для утилізації відхідних газів, коли відбувається пропалювання шихти поблизу дна шару. Було встановлено, що температура утилізованого газу повинна бути така ж, як і температура газу, що проходить крізь димову трубу. Це умова необхідна для запобігання проблем корозії від утворюючих газів за температур нижче кислотної точки роси. На агломераційній установці компанії Voestalpine Stahl в м. Лінц, вакуум-камери з 11 по 16 нової подовженої стрічки виявилися найбільш влучними для утилізації відхідних газів. Це схематично зображено на рис. 3.24. Для підтримання необхідного тиску всмоктування для спікання встановлений другий витяжний вентилятор паралельно наявному. Другий вентилятор спроектований для того, щоб гази, що відходять з обраних вакуум-камер, проходили через електрофільтр до системи рециркуляції газу до запального пристрою.

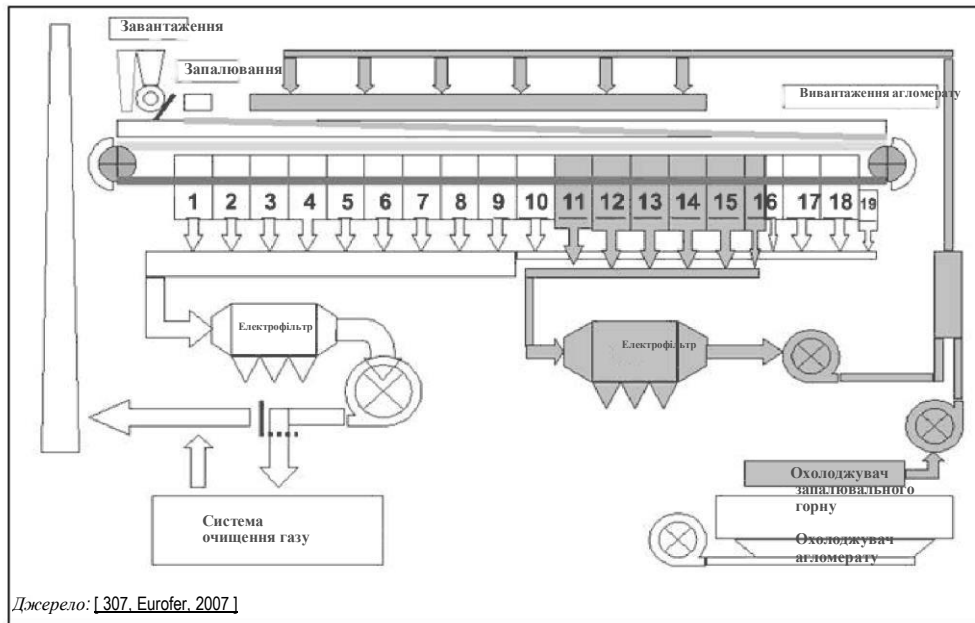


Рис. 3.24. Схематична діаграма технології рециклінгу газу EPOSINT (екологічно оптимізований процес спікання), встановленої на агломераційній стрічці № 5 фірми Voestalpine, м. Лінц, Австрія

Область, в якій зростає температура, може змінюватися по довжині стрічки залежно від складу шихти та інших експлуатаційних параметрів. Особливістю цього процесу є можливість відведення димових газів від індивідуальних вакуум-камер, з 11 по 16, незалежно до димової труби або до запалювального горна рециркуляції. Ця особливість допомагає забезпечити високу гнучкість процесу.

Для вирішення проблеми дефіциту кисню в газах, що рециркулюють, гарячі гази від охолоджувача агломерату повертаються в камеру системи газу та систему рециркуляції пристрою запалювання за допомогою іншого вентилятору. Це не тільки чинить вплив на підвищення рівня вмісту вуглецю в системі рециркуляції пристрою запалювання для підтримки якості агломерату, але також і на підвищення потенціалу для зниження рівня витрат коксу завдяки підвищенню температури газу і зниженню розсіювання викидів твердих частинок від охолоджувача.

Конструкція системи запалювання охоплює всю ширину стрічки, і вона ущільнена до бічних стінок стрічкового транспортера за допомогою безконтактного лабіринтового ущільнення, що запобігає ненавмисному викиду газу, що рециркулює, та частинок пилу. В зв'язку з тим, що вся конструкція стрічкового транспортера не закрита, пускові колеса транспортера тощо можуть працювати в чистій атмосфері, запобігаючи зносу/пошкодженню від доступу пилу до підшипників. Ущільнення забезпечує безпеку щодо витoku рециркульованого газу, що містить CO. Передбачено спеціальні заходи для запобігання таким витокам внаслідок відмов у роботі установки або контрольно-вимірювального обладнання. Конструкція пристрою запалювання не проходить через всю довжину смуги (див. рис.3.24) і дає холодному повітрю змогу прокачуватися через шар агломерату в останні кілька вакуум-камер. Це допомагає забезпечувати адекватне охолодження агломерату на стрічці перед охолоджувачем і полегшує роботу зі стрічковим транспортером при його обслуговуванні.

Деякі характеристики застосування EPOSINT включають такі особливості:

- рециркуляцію частини відхідних газів із зони підвищеної температури, де всі викиди вище ніж середні значення;
- рециркуляція приводить до зниження споживання коксового дріб'язку і об'єму відхідних газів;
- парасоль рециклінгу газу охоплює всю ширину агломераційної стрічки;
- парасоль рециклінгу газу не охоплює всю область всмоктування;
- поєднання системи ущільнення з високою надійністю пристрою запалювання. Це робиться для мінімізації присмоктувань неорганізованого повітря і додаткового повітря з охолоджувача агломерату. Для запобігання негативним впливам на виробництво агломерату та його якість, мінімальна концентрація кисню в газі, що рециркулює, (тобто повітрі для спалювання) повинна дорівнювати 13 %.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Деякі екологічні переваги цієї технології полягають у зниженні таких параметрів: споживання енергії, обсягу відхідних газів до 40 % і споживання коксу. Рециркуляція відхідних газів від спікання (використовується також у разі технологій, описаних в п. 3.3.5.2.1 та 3.3.5.2.4) знижує викиди NO_x і PCDD/F в результаті їх розкладу в шарі агломерату. SO_x також адсорбується або фільтрується шаром агломерату, а CO використовується як паливо. З цією технологією рециркуляції газу досягається не тільки значне зниження обсягу відхідних газів, але також зниження викидів твердих частинок і газоподібних компонентів, крім того реалізується пригнічення (придушення) розсіяних викидів пилу від охолоджувача агломерату. У табл. 3.36 наведено переваги від застосування обраної технології рециркуляції відхідних газів для деяких параметрів.

Таблиця 3.36: Основні екологічні переваги від застосування технології рециркуляції відхідних газів

Параметр	Зниження
Обсяг відхідних газів на тонну агломерату	Приблизно на 25-28 % в димовій трубі
Загальний викид пилу ⁽¹⁾	На 30-35 %
Викиди пилу від охолоджувача агломерату	85 – 90 %
Частинки твердих металів	Близько 30 – 35 % ⁽⁵⁾
Викиди SO_2	Близько 25 – 30 %
Викиди NO_x ⁽²⁾	Близько 25 – 30 %
Викиди PCDD/F ⁽³⁾	Можуть бути знижені приблизно на 30 %
Викиди CO	Можуть бути знижені приблизно на 30 %
Споживання коксового дріб'язку ⁽⁴⁾	Приблизно 2 – 5 кг на тонну агломерату

(1) Придушення викидів вище ніж зниження обсягу газів внаслідок рециркуляції потоку газу з дуже високою концентрацією пилу та очищення цього потоку газу за допомогою електрофільтра.
(2) Потік газу, що рециркулює, має порівняно високу концентрацію NO_x , в той час як газ в торці агломераційної стрічки з високою концентрацією O_2 і низькою концентрацією NO_x очищується в димовій трубі.
(3) Концентрація в газах в останній чверті агломераційної стрічки (частина потоку газу, що веде в димову трубу) низька.
(4) Без зниження продуктивності та якості.
(5) Відповідає зниженню викидів пилу.
Джерело: [307, Eurofer, 2007].

У табл. 3.37 наведені деякі експлуатаційні дані для концентрації викидів і коефіцієнтів викидів до і після застосування системи секційної рециркуляції відхідних газів для однієї установки в Австрії.

Таблиця 3.37: Експлуатаційні дані агломераційної установки до і після застосування системи рециркуляції відхідних газів (2007 рік, застосування системи AIRFINE для придушення/зменшення викидів)

Параметр	Одиниці вимірювання	До застосування системи	Після застосування системи рециркуляції відхідних газів
Виробництво агломерату	т/добу	6350	8300 (максимум 8500)
Витрати палива	кг/т агломерату	45	41
Газ для розпалювання	МДж/т агломерату	50	40
Загальне споживання електроенергії (включаючи очищення відхідних газів)	кВт·год/т агломерату	40	40
Викиди після очищення відхідних газів:			
Викиди пилу	мг/м ³	46	38
	г/т агломерату	104	66
Викиди SO ₂	мг/м ³	420	390
	г/т агломерату	952	677
NO _x	мг/м ³	240	240
	г/т агломерату	544	416
HF	мг/м ³	1	0,6
	г/т агломерату	2,3	1

Джерело: [277, Вісенбергер, 2007].

Міжсередовищні наслідки

Електроенергія, що витрачається на роботу додаткового вентилятора, відшкодовується завдяки підвищеній продуктивності та зниженню потреби в твердому паливі (в розмірі 2 – 5 кг коксу/т агломерату). Особливу увагу слід приділяти контролю вмісту вуглецю СО в газах, що рециркулюють, для того щоб запобігти можливому отруєнню робітників чадним газом.

Експлуатаційні дані

Агломераційна стрічка № 5 компанії Voestalpine Stahl в м. Лінц, Австрія, працює за цією технологією з квітня 2005 року. Параметри якості для агломерату залишалися тими ж, що і до впровадження технології. Повідомлялося про знижене споживання коксового дріб'язку на рівні 2 – 5 кг/т агломерату (з 45 до 40 кг/т агломерату). Не повідомлялося про проблеми, пов'язані конкретно з процесом. Деякі експлуатаційні переваги технології пов'язані зі зростанням виробництва агломерату на 1 м³ відхідних газів, стійкою якістю агломерату і можливостями наявних агломераційних установок для зростання – приблизно на 40 % (наприклад, за допомогою подовження машини для спікання) без будь-якого збільшення обсягу відхідних газів.

Можливість застосування

Рециркуляція відхідних газів із використанням цієї технології може бути реалізована на нових та наявних агломераційних установках. На наявних установках неможливо ввести частковий рециклінг відхідних газів внаслідок обмеженого місця. На установці в м. Лінц, Австрія, вдалося впровадити нову технологію і зберегти наявну систему відхідних газів (тобто загальний газохід, систему очищення газів, основний вентилятор і димову трубу). Застосування рециркуляції відхідних газів вимагає особливих зусиль для забезпечення належної якості агломерату та продуктивності установки (див. п. 3.3.5.2).

Економічні дані

Капітальні витрати для області спікання площею 250 м² складають близько 15 млн євро. На згаданій установці це було особливо вигідно з економічного погляду, оскільки не

робилися зміни в наявній системі відхідних газів. Зниження експлуатаційних витрат є результатом зниження споживання палива приблизно на 2 – 5 кг коксу/т агломерату та мінімізації витрат на очищення відхідних газів внаслідок меншого обсягу газу, особливо, коли використовуються дорогі системи очищення газу, такі як мокре газоочищення від тонкодисперсних частинок або рукавні фільтри з додаванням адсорбуючих речовин.

Застосування цієї технології знижує інвестиційні та експлуатаційні витрати для сучасних систем очищення газу.

У 2007 році витрати на селективну систему рециркуляції газу для агломераційної установки компанії ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія, були оцінені в 14 млн євро для установки № 1 (175 м²) та 27,3 млн євро для установки 2 (498 м²).

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Ця технологія знаходиться в експлуатації з травня 2005 року на агломераційній лінії № 5 компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія, і вона була модернізована з подовженням стрічки з 56 до 74 м.

Довідкова література

[217, Siemens-vai, 2006] [277, Вісенбергер, 2007] [295, Хартіг та ін., 2006] [307, Eurofer, 2007]

3.3.5.2.4 Утилізація частин відхідних газів для різних частин агломераційної стрічки

Опис

Концепція технології селективної рециркуляції заснована на місцевому відсмоктуванні відхідних газів від спікання на стрічці та на місцевому рециклінгу над шаром агломерату. Це селективне відсмоктування і рециклінг є головною відмінністю між цим процесом і спіканням з оптимізованими викидами (EOS). На рис. 3.25 показана схематична діаграма такої селективної рециркуляції відхідних газів, впровадженої на агломераційній установці в Японії.

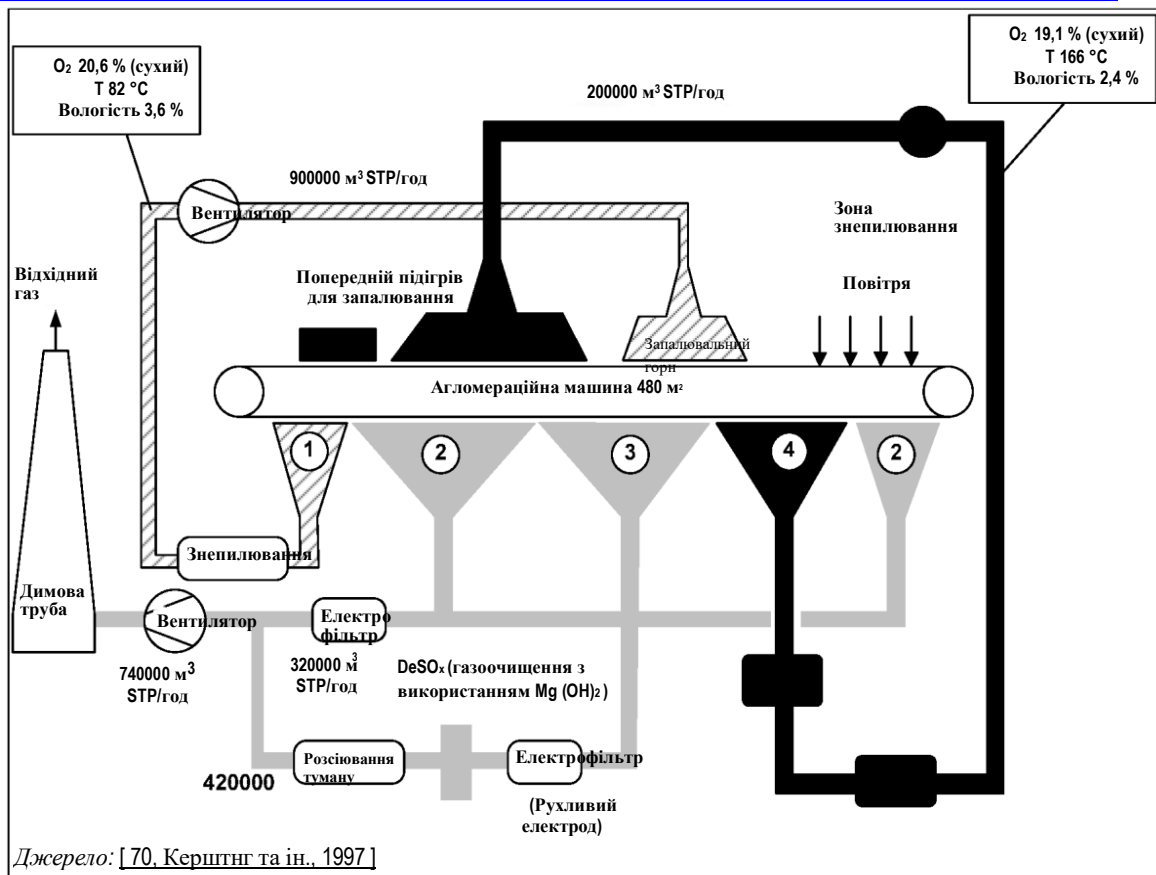


Рис. 3.25. Схематична діаграма селективної рециркуляції відхідних газів на аглофабриці № 3 японської компанії Nippon Steel Corporation, Yawata Works, м. Тобата, Японія

У цьому випадку 480 м² площі спікання розділені на чотири різні зони (див. рис. 3.5, 3.7 і табл. 3.38):

- Зона 1: газ, що відповідає секції підігріву сировинної суміші, повинен подаватися на середину стрічки (високий вміст O₂, низький вміст H₂O, низька температура);
- Зона 2: газ із низьким вмістом SO₂ повинен скидатися в димову трубу після знепилювання (високий вміст O₂, низький вміст H₂O, низька температура);
- Зона 3: газ із високим вмістом SO₂ повинен скидатися в димову трубу після знепилювання і десульфурації (газоочищення з розчином гідроксиду магнію) (високий вміст O₂, низький вміст H₂O, низька температура);
- Зона 4: газ із високим вмістом SO₂, що відповідає гарячій секції навколо фронту горіння, повинен рециркулювати у першу половину стрічки одразу після зони розпалювання (високий вміст O₂, низький вміст H₂O, дуже висока температура).

У цій процедурі концентрація кисню в утилізованих відхідних газах залишається високою (19 %), а рівень вологості – низьким (3,6 %). Досягається рівень рециклінгу в 25 % без зниження якості агломерату (RDI – показник зниження відновлюваності агломерату) залишається практично постійним, а SI (показник міцності) зростає на 0,5 %). Повідомлялося також про 6 % економії твердого палива.

Цей спосіб має дві переваги порівняно зі звичайним спіканням:

1. Кисень, що міститься в газах, можна ефективно використовувати за допомогою селективної рециркуляції.
2. Відхідні гази з різних секцій можна очищувати окремо залежно від складу газу. Отже, капітальні та експлуатаційні витрати на очищення відхідних газів значно знижуються порівняно зі звичайним спіканням, навіть порівняно із системою EOS.

В табл. 3.38 наведені характеристики потоків відхідних газів із використанням селективної рециркуляції відхідних газів на агломераційній установці № 3 компанії Nippon Steel Corporation на заводі Yawata Works.

Таблиця 3.38: Характеристики потоків відхідних газів із використанням селективної рециркуляції відхідних газів на агломераційній установці № 3 компанії Nippon Steel Corporation на заводі Yawata Works, м. Тобата, Японія

Секція потоку відхідних газів	Склад відхідних газів					Очищення відхідних газів
	Витрата, нм ³ /год	Температура, °С	О ₂ , об.-%	Н ₂ О, об.-%	SO ₂ мг/нм ³	
Вакуум-камери 1 – 3	62 000	82	20,6	3,6	0	Рециркуляція до агломераційної стрічки
Вакуум-камери 4 – 13 + 32	290 000	99	11,4	13,2	21	Викид через димову трубу після електрофільтра
Вакуум-камери 14 – 25	382 000	125	14,0	13,0	1000	Викид через димову трубу після електрофільтра десульфурації
Вакуум-камери 26 – 31	142 000	166	19,1	2,4	900	Рециркуляція до агломераційної стрічки
Димові труба	672 000	95	12,9	13,0	15	Викиди у повітря

Джерело: [119, Сакурагі та ін., 1995].

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Були досягнуті такі вигоди з погляду зниження рівня забруднень: зниження обсягу димових газів, що викидаються в атмосферу (близько 28 %) і викидів пилу (близько 56 %). Відзначимо, що сюди включається ефект від модернізації електрофільтра (який оснащується рухливими електродами) та зниження викидів SO₂ (близько 63 %, включаючи фінішну десульфурацію відхідних газів із зони 3). Повідомлялося про невелике зниження викидів NO_x (близько 3 %). У табл. 3.39 порівнюються викиди до і після застосування секційної рециркуляції відхідних газів.

У табл. 3.39 дається порівняння кінцевого складу відхідних газів до і після модернізації із селективною рециркуляцією відхідних газів на агломераційній установці № 3 компанії Nippon Steel Corporation на заводі Yawata Works в м Тобата, Японія.

Таблиця 3.39: Порівняння кінцевого складу відхідних газів до і після реконструкції з введенням селективної рециркуляції відхідних газів на установці для спікання № 3 компанії Nippon Steel Corporation, Yawataworks, м. Тобата, Японія

Характеристика / компонент	Одиниці вимірювання	Звичайне спікання (з установкою десульфурації)	Спікання із селективною рециркуляцією відхідних газів	Удосконалення
Витрата відхідних газів	нм ³ /год	925 000	665 000	28 %
Пил ⁽¹⁾	мг/нм ³	50	30 ⁽²⁾	56 % за масою
SO _x ⁽³⁾	мг/нм ³	26	14	63 % за масою
NO _x	мг/нм ³	408	559	3 % за масою
Нетто споживання енергії	ГДж/т агломерату	1,662	1,570	6 % ⁽⁴⁾

(1) Відхідні гази очищуються за допомогою електрофільтра.
(2) Зниження викидів пилу частково досягається обслуговуванням електрофільтра.
(3) Частина відхідних газів очищується в установці для десульфурації.
(4) Це зниження нетто споживання електроенергії слід розглядати щодо вимог продуктивності та якості в Японії, також на агломераційних установках у країнах СС.

Джерело: [119, Сакурагі та ін., 1995].

Міжсередовищні наслідки

Установка додаткових вентиляторів призводить до більшого споживання електроенергії. Однак це зростання дуже мале порівняно зі зниженням споживання коксового дріб'язку.

Експлуатаційні дані

Система, що використовує селективну рециркуляцію відхідних газів, була встановлена на агломераційній установці № 3 у м. Тобата на заводі Yawata Works компанії Nippon Steel Corporation у жовтні 1992 року. Відхідні гази поділяються на чотири частини, кожна з яких очищується окремо. Система працює без збоїв, а рециклінг відхідних газів не впливає на якість агломерату. Однак останнє твердження не повинне розглядатися щодо згадуваної японської установки із меншою продуктивністю порівняно з багатьма агломераційними установками в країнах ЄС.

Можливість застосування

Селективна рециркуляція відхідних газів може застосовуватись як для нових, так і для наявних установок. Визнано, що капітальні витрати нижче в разі впровадження технології на нових установках на стадії планування, ніж на наявних, де витрати можуть бути значно вищими через конструктивні особливості установки. На наявних установках неможливо ввести частковий рециклінг відхідних газів внаслідок обмеженого місця. Застосування рециркуляції відхідних газів вимагає особливих зусиль для забезпечення належної якості агломерату та продуктивності установки (див. п. 3.3.5.2).

Економічні дані

В Європі капітальні витрати для системи рециклінгу газу становили 8 – 10 млн євро в 1997 році, виключаючи обладнання для придушення оксидів азоту, сірки та інших компонентів. Конфіденційно повідомлялися дані щодо експлуатаційних витрат. Повідомлялося про зниження споживання коксу на 6 %.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Є п'ять установок в Японії з використанням цієї технології. Дані, наведені тут, стосуються агломераційної установки № 3 на заводі Yawata Works компанії Nippon Steel Corporation.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [119, Сакагурі та ін., 1995]

4 УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ОКАТИШІВ

[208, Ліндфорс та ін., 2006] [318, Eurofer, 2007]

Як згадувалося в пункті 3.1.1, грануляція та спікання залізної руди є додатковими маршрутами технологічного процесу для підготовки сировини з оксидів заліза для виробництва чавуну. Кожен має свої переваги і недоліки. Обидва вони знаходяться під сильним впливом місцевих умов, таких як доступність і тип сировинних матеріалів. З різних причин агломерат практично завжди виготовляється на металургійному заводі: це дає можливість проводити рециклінг твердих відходів; коксовий дріб'язок є в наявності на металургійних заводах для використання його як палива; агломерат схильний до погіршення властивостей під час транспортування і поводження. Окаатиші виробляються із сировинних матеріалів – пілоподібної руди та домішок із розмірами <math><0,05\text{ мм}</math> із отриманням сфер діаметром 9 – 16 мм за умов використання дуже високих температур, і такий процес зазвичай проводиться на місці видобутку руди або в порту відправлення. У країнах ЄС є тільки один металургійний завод із повним циклом, в якому є установка для отримання окаатишів (у Нідерландах). У 2007 році Швеція мала п'ять автономних установок для отримання окаатишів. Виробництво окаатишів на цих шести установках (включаючи Нідерланди) в 2007 році склало 27 млн т/рік. Споживання окаатишів у країнах ЄС-25 становить близько 43 млн т.

4.1 Процеси і технології, що застосовуються

Окаатиші – це дрібні, кристалізовані гранули сферичної форми із залізної руди розміром 9 – 16 см. На рис. 4.1 показаний барабанний окомковувач, який є частиною установки для отримання окаатишів.



Джерело: [200, Європейська Комісія, 2001] [318, Eurofer, 2007].

Рис. 4.1. Барабанний окомковувач як частина установки для отримання окаатишів, на яку виходять сирі окаатиші

Процес отримання окаатишів складається з подрібнення та сушіння або зневоднення, зволоження та змішування, обкомкування та затвердіння з подальшими грохоченням та обробкою (див. рис. 4.2).

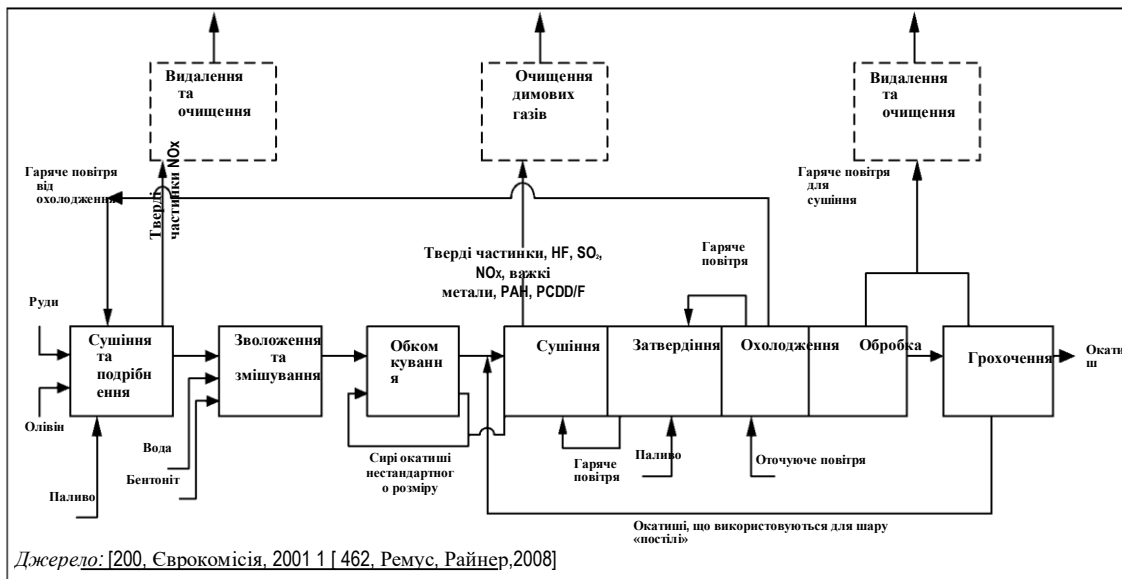


Рис. 4.2. Схема установки для отримання окатишів у Нідерландах

4.1.1 Дроблення та сушка/зневоднення

[208, Ліндфорс та ін., 2006]

Шведські установки для отримання окатишів зазвичай розташовуються на місці видобутку руди та її збагачення, включаючи магнітну сепарацію, яка проводиться перед процесом отримання окатишів. Через те, що ці процеси проводяться мокрим способом, кінцеве подрібнення перед обкомкуванням також проводиться мокрим способом (див. рис. 4.3). Домішки (олівін, доломіт, кварцит та/або вапняк залежно від кінцевого продукту) подрібнюються, а потім додаються до рудного шламу, зазвичай при рівні 3 – 3,5 %, перед сушінням. На стадії змішування додається сполучна речовина перед процесом обкомкування.

На відміну від цього, нідерландська установка працює на імпортованих рудах, які змішуються перед процесом подрібнення (якщо тільки руда не була достатньо подрібненою, коли вона може обійтися без стадії подрібнення і приєднатися до технологічної схеми на стадії зволоження і змочування) (див. рис. 4.2). Руди сушаться і подрібнюються одночасно, разом із сумісними флюсами, такими як олівін. Тепло для сушіння зазвичай отримується за допомогою природного або доменного газу, а кисень для паливника і додаткове тепло постачаються зі стадії охолодження окатишів. Температура становить приблизно 100 °С.

Млини для сухого подрібнення окатишів компанії Cogus в м. Еймьойден працюють у замкнутому циклі із системою повітряного класифікатора. Подрібнена руда, що видаляється з млинів, розділяється на дві фракції за допомогою повітряного класифікатора, фракція завищеного розміру повертається до млина для додаткової обробки, в той час як фракція належного розміру направляється далі на стадію зволоження та змішування. Частинки з дуже малим розміром уловлюються в електрофільтрі та повертаються до потоку продукту, а електрофільтр є складовою частиною системи класифікації.

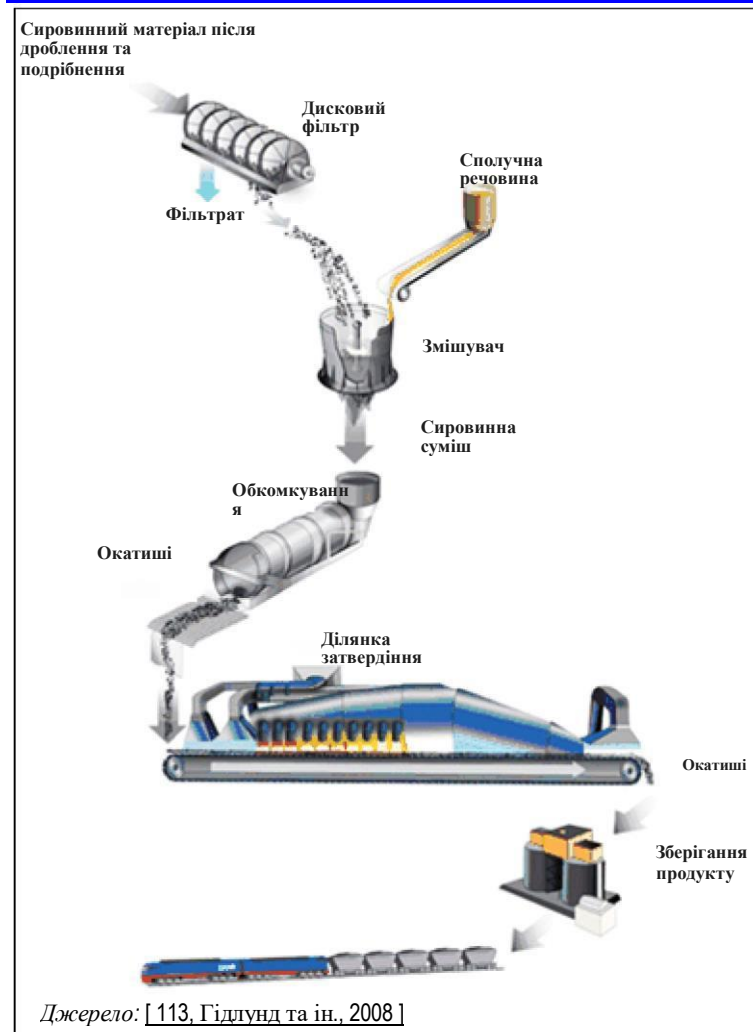


Рис. 4.3. Схема установки для отримання окатишів із мокрим подрібненням

4.1.2 Приготування сирих окатишів

[318, Eurofer, 2007]

Після гарячого дроблення в матеріал вводяться домішки перед повторним зволоженням в окремій стадії зволоження і проводиться змішування зі сполучною речовиною (бентоніт або органічна сполучна речовина залежно від типу окатишів). При змішуванні та на стадії зволоження на нідерландській установці робляться домішки ретельно сортованого за розмірами твердого палива (коковий дріб'язок та/або антрацит) разом зі сполучною речовиною з бентоніту.

Як на шведських, так і на нідерландській установках рівень вологості суміші для виробництва окатишів, що спрямовується на стадію обкомкування, становить від 7 до 9 %.

Концентрат залізної руди з регульованою вологістю (сировинна суміш) потім переробляється на установці для отримання сирих окатишів. Вона зазвичай оснащена чотирма-сімома системами обкомкування, що складаються з бункерного живильника, барабанного окомковувача, барабаних грохотів і конвеєрів для циркулювання матеріалів. Барабаний окомковувач нахилений на $6 - 8^\circ$ щодо горизонтальної площини. Для отримання структурованих сирих окатишів, зазвичай в діапазоні від 9 до 16 мм, фракція, що проходить через грохот, і фракція більшого розміру відокремлюються грохоченням і рециркулюють на стадію обкомкування.

4.1.3 Випал

[208, Ліндфорс та ін., 2006]

Випал, який представляє собою термічну обробку, складається із сушіння, нагрівання та охолодження, і проводиться в двох різних системах: у процесі «випалу з прямолінійним рухом» або у процесі «випалу в трубчастій печі» (агрегат решітка - трубчаста піч). Протягом термічної обробки магнетит майже повністю окислюється до гематиту. Оскільки окислення магнетиту – це екзотермічний процес, ця реакція може постачати до 60 % енергії, необхідної для затвердіння окатишів. Суміш руд, що переробляються на нідерландській установці, має менший вміст магнетиту (максимум 25 %), а реальна кількість буде залежати від обставин на світовому ринку, де відчувається нестача магнетитових руд. Додавання коксового дріб'язку та/або антрациту робиться для нідерландських окатишів, для того, щоб компенсувати нижчий вміст магнетиту порівняно із ситуацією у Швеції (див. табл. 4.1 або інформацію щодо потреб в енергії та паливі).

4.1.3.1 Процес випалу з прямолінійним рухом

[114, Ремус, Райнер, 2008] [318, Eurofer, 2007]

Процес випалу з прямолінійним рухом решіток складається з рухомої решітки, розділеної на ряд різних секцій для сушки, підігріву, гартування та охолодження сирих окатишів (див. рис. 4.4).

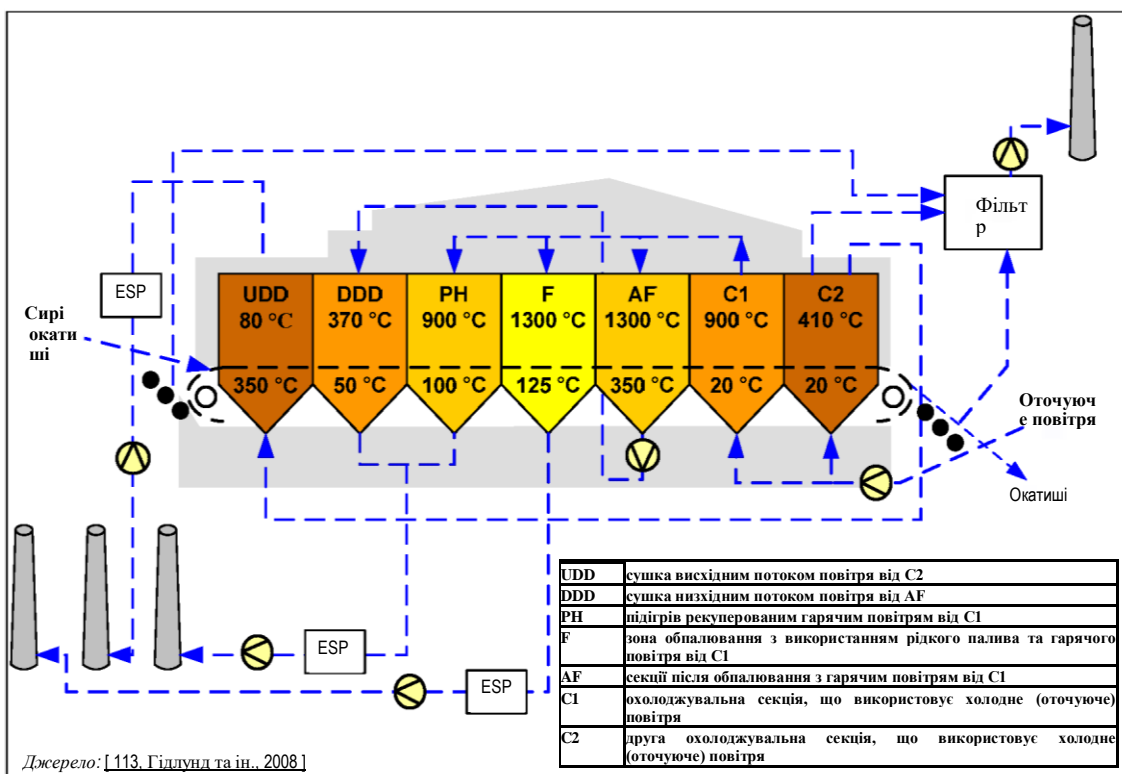


Рис. 4.4. Схема процесу випалу з прямолінійним рухом

Перед тим як сирі окатиші потраплять на колосникову решітку, прутки колосникової решітки покриваються шаром «постілі» з обпалених окатишів товщиною 5 – 10 см. Потім сирі окатиші завантажуються на верхню частину шару «постілі» з утворенням газопроникного шару із загальною товщиною 40 – 55 см. Сирі окатиші повинні бути

нагріті приблизно до 1 300 – 1 350 °С протягом окислення та спікання для отримання окатишів із високою міцністю.

Це може бути досягнуто за допомогою серії пальників з кожного боку рухливої решітки, які зазвичай працюють на рідкому паливі або газі. На нідерландській установці на металургійному заводі у пальниках використовується коксовий газ, водночас додається коксовий дріб'язок / антрацит до окатишів, забезпечуючи додатковий внутрішній підігрів (як у випадку окислення магнетиту в шведській практиці отримання окатишів). У кінці випалювальної стрічки фракція випалених окатишів, піддається рециклінгу для використання її як шару «постілі».

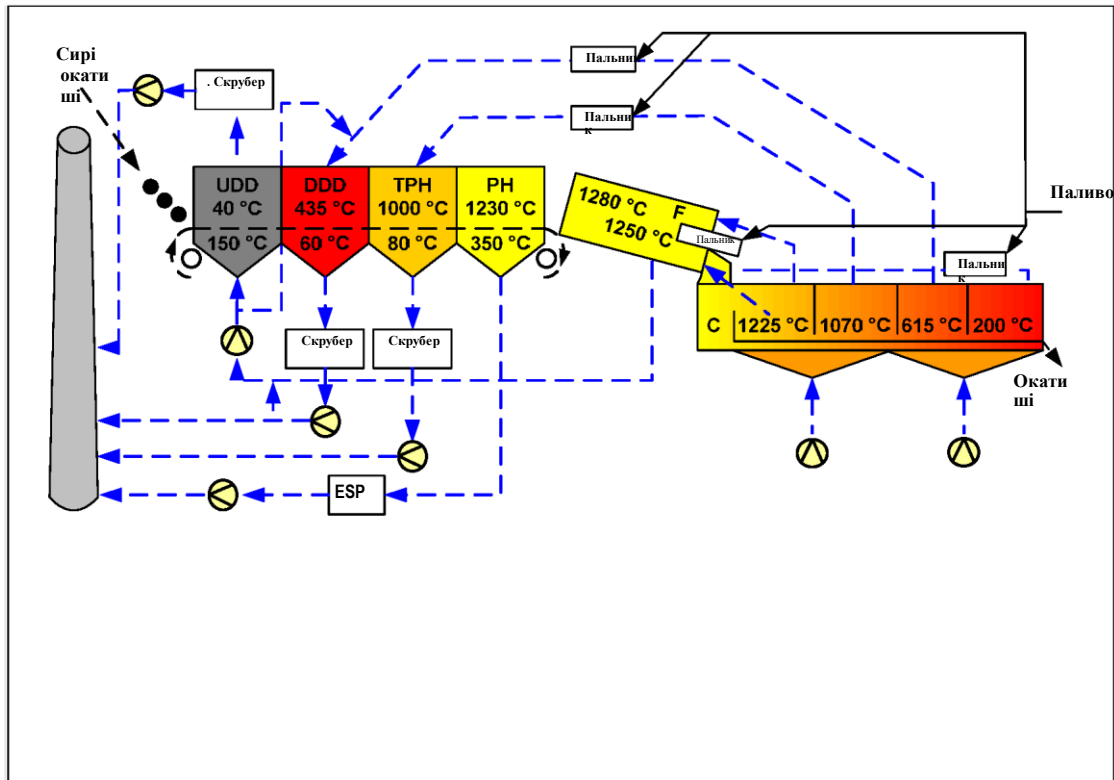


Рис. 4.5. Схема процесу випалу в трубчастій печі

4.1.3.2 Процес випалу в агрегаті решітка – трубчаста піч

[318, Eurofer, 2007]

Процес випалу в трубчастій печі складається з рухомої колосникової решітки, подібно до процесу випалу з прямолінійним рухом. Випал відбувається в трубчастій печі, а охолодження проводиться в окремому кільцевому охолоджувачі.

Рухома решітка складається з нескінченного ланцюга колосникових решіток, які з'єднані газошільним способом із вакуум-камерами. Сирі окатиші подаються безпосередньо на колосникові решітки для створення шару товщиною близько 20 – 25 см. Після попередньої обробки на решітці окатиші завантажуються через жолоб в трубчасту піч. Піч має один пальник, що працює на рідкому паливі або вугіллі у сторони вивантаження, і він працює за температури близько 1 250 °С. Кільцевий охолоджувач має загатроване дно, яке дає можливість холодному повітрю проникати в шар окатишів. Стіни поділяють охолоджувач на секції так, що гаряче повітря поставляється на більш ранніх стадіях процесу.

Коли переробляються руди на основі магнетиту, має місце окислення до гематиту та спікання на наступній стадії підігріву рухомої колосникової решітки, в зонах випалу та охолодження.

4.1.4 Грохочення і обробка

[318, Eurofer, 2007]

Наприкінці лінії затвердіння окатиші збираються і піддаються грохоченню. Окатиші, що проходять через грохот, або зруйновані окатиші можуть бути піддані рециклінгу, наприклад як шари «постілі» (див. рис. 4.2). Можуть відбуватися значні викиди пилу.

Для автономних установок у Швеції термооброблені окатиші зберігаються в накритих бункерах перед відвантаженням у відкриті залізничні вагони для транспортування в порти Нарвік і Лулео. Під час відвантаження на судно грохоченням відділяється 2 – 3 % матеріалу як такого, що проходить через грохот і продається як подача аглошихта. Як і для будь-яких матеріалів доменної печі (кокс, агломерат, окатиші та шматкова руда), кінцеве грохочення проводиться на ділянці доменної печі.

4.2 Поточний рівень викидів і споживання

4.2.1 Огляд основних потоків і даних споживання та виробництва

На рис. 4.6 наведено огляд вхідних і вихідних масових потоків на установці для отримання окатишів. Цей огляд можна використовувати для збору даних від окремих установок для отримання окатишів.

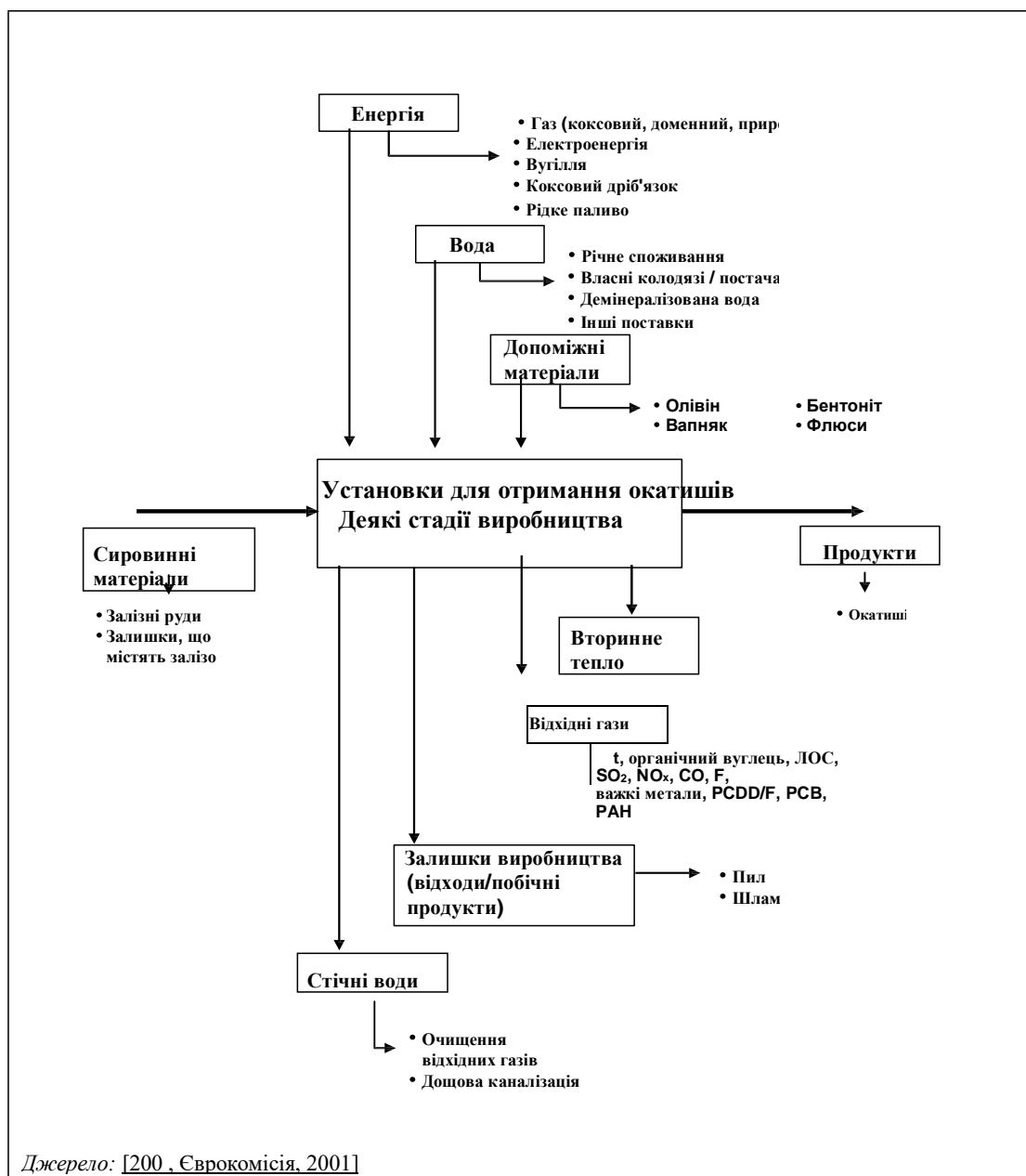


Рис. 4.6. Загальне уявлення про масові потоки на установці для отримання окатишів

Для установок отримання окатишів були визначені питомі вхідні фактори і коефіцієнти викидів. Значення цих факторів і коефіцієнтів від трьох установок для отримання окатишів у країнах ЄС наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1: Дані щодо входу/виходу від трьох установок для отримання окатишів у країнах ЄС-25

Вхід			Вихід		
Сировинні матеріали			Продукти		
Залізна руда	кг/т	935 – 965	Окатиші	кг/т	1 000,00
Бентоніт	кг/т	4,1 – 6,8			
Олівін ⁽¹⁾	кг/т	0 – 27,6	Викиди		
Вапняк	кг/т	0 – 5	Витрата відхідних газів	нм ³ /т	1 940 – 2 400
Доломіт ⁽²⁾	кг/т	0 – 13,5	Пил	г/т	14 – 150
Кварцит	кг/т	0 – 20	Пил	мг/нм ³	7 – 70
Енергія			Cd	мг/т	0,02 – 2,2
COG/BOF ⁽³⁾	МДж/т	306	Cr	мг/т	5,1 – 22,4
Природний газ ⁽³⁾	МДж/т	14	Cu	мг/т	1,5 – 6,7
Коксовий дріб'язок ⁽³⁾	МДж/т	342	Hg ⁽⁴⁾	мг/т	0,4 – 24,2
Вугілля ⁽⁵⁾	МДж/т	223	Mn	мг/т	5,1 – 64,3
Нафтопродукти ⁽⁵⁾	МДж/т	43 – 186	Ni	мг/т	6,5 – 12,7
Електроенергія	МДж/т	54 – 99	Pb	мг/т	15,6 – 70,8
Вода			Pt	мг/т	0,6 – 3,0
	м ³ /т	0,11 – 1,25	V	мг/т	13,4 – 15,1
			Zn	мг/т	3 – 1 300
			HF ^{(6) (7)}	г/т	1,8 – 5,8
			HCl ^{(6) (7)}	г/т	2,4 – 41
Стиснене повітря			SO _x ^{(8) (7)}	г/т	11 – 213
	нм ³ /т	6,2 – 12,8	NO _x	г/т	150 – 550
			NO _x	мг/нм ³	73 – 283
			CO	г/т	<10 ⁽⁵⁾ – 410
			CO ₂	кг/т	17 – 193
			VOC ⁽⁹⁾	г/т	<5 ⁽⁵⁾ – 40 ⁽³⁾
			PAH ⁽¹⁰⁾	мг/т	0,7 – 1,1
			PCDD/F ⁽⁴⁾	нг I-TEQ/т	8,2 – 196
			PCDD/F ⁽⁴⁾	нг I-TEQ/нм ³	0,005 – 0,1
			Залишки виробництва (відходи/побічні продукти)		
			Пил	кг/т	–

(1) У разі виробництва окатишів для доменних печей.
(2) У разі виробництва окатишів для прямого відновлення.
(3) Коли установка є частиною заводу з повним циклом (зокрема, Нідерланди). Дані з [200, Єврокомісія, 2001].
(4) Ртуть переважно в елементній формі. Навантаження залежить від руди, що переробляється.
(5) У разі автономної установки у Швеції (магнетитові руди). Дані з [200, Єврокомісія, 2001].
(6) Нижче значення, якщо застосовується технологія для видалення кислих газів.
(7) Розраховано з масового балансу.
(8) Нижче значення, якщо застосовується технологія десульфурації.
(9) Невідомий метод вимірювання.
(10) Інформація про те, чи визначалося за методом Borneff, EPA або для бензопірену, відсутня
Примітка: Дані за 2004 рік, вони стосуються трьох установок, на яких вироблялося майже 13 млн т окатишів у 2004 році, що становило близько 63 % виробництва в країнах ЄС-25.
Джерело: [208, Ліндфорс та ін., 2006] [318, Eurofer, 2007].

4.2.2 Екологічні проблеми для процесу виготовлення окатишів

Установка для виробництва окатишів є, перш за все, джерелом викидів у повітря твердих частинок і газів. Коли застосовуються технології боротьби із забрудненнями для зниження викидів, відбуваються взаємодії між середовищами. У наведених нижче пунктах

4.2.2.1 та 4.2.2.5 описані найважливіші екологічні проблеми щодо установок для виготовлення окатишів.

4.2.2.1 Викиди у повітря

[208, Ліндфорс та ін., 2006] [300, Eurofer, 2007]

Викиди у повітря від подрібнення

У відпрацьованих газах після повітряного класифікатора містяться великі кількості пилу. Цей пил складається переважно із заліза, і він відображає склад сировинного матеріалу. Рівень викидів можна знизити за допомогою електрофільтрів.

Пил від грохочення та обробки

Грохочення та обробка мають місце на стадії окомкування на початку процесу, коли всі матеріали вологі. Може бути деякий викид пилу, але він не має особливого значення, і це відбувається переважно в зоні окомкування установки. Наприкінці випалювальної машини окатиші збираються і піддаються грохоченню. Окатиші, що проходять крізь грохот, або роздроблені окатиші можна піддавати рециклінгу. Значному рівню викидів пилу в цій зоні можна запобігти за допомогою застосування різних заходів. На установці в м. Еймьойден окатиші зволожуються (3 % вологості) для запобігання появі викидів пилу, а деякі позиції завантаження-відвантаження піддаються місцевому знепилюванню.

Пил і газоподібні викиди від ділянки випалу

Викиди газу і пилу мають місце в зоні випалу ділянки випалу. Вони відбуваються безперервно, і з ними потрібно боротися за допомогою ефективних електрофільтрів, рукавних фільтрів або газоочищення.

Викиди NO_x від випалу і сушіння

Викиди NO_x утворюються під час спалювання за допомогою двох механізмів. Під час окислення сполук азоту у вуглеводневому паливі утворюються «паливні NO_x ». Інший, більш важливий механізм, пов'язаний з утворенням NO_x у процесі отримання окатишів в результаті наявності високих температур. Це призводить до того, що азот повітря та кисень реагують з утворенням «термічних NO_x ». Дані, наведені в табл. 4.1, відображають значні відмінності в утворенні NO_x . Іноді коксовий дріб'язок заміщують антрацитом, що може привести до зниження викидів NO_x на 25 %. Ще одним способом зниження викидів NO_x , який застосовується, є впорскування води для зниження пікових температур.

Викиди SO_2 від випалу

Діоксид сірки (SO_2) утворюється під час процесу випалу. Джерелами сірки є переважно вугілля, а також нафтопродукти і, меншою мірою, руди і домішки коксового дріб'язку та/або антрациту. У табл. 4.1 показано, що викиди SO_2 приблизно в десять разів вищі, коли не застосовуються методи очищення.

Викиди HCl і HF

Установка для отримання окатишів є також джерелом викидів фтористо-водневої кислоти (HF) та соляної кислоти (HCl). Ці компоненти утворюються протягом затвердіння мінералів (апатиту), які знаходяться в руді та містять фториди і хлориди. У табл. 4.1 вказано, що викиди HF і HCl приблизно в десять разів вищі без застосування технологій очищення.

Відомо, що шведські руди відрізняються високим вмістом фторидів (див. пункт 3.2.2.1).

Поліхлоровані дібензо-п-діоксини та дібензофурани (PCDD/F)

[318, Eurofer, 2007]

PCDD і PCDF утворюються протягом високотемпературних процесів, і зазвичай вони пояснюються за допомогою двох різних механізмів.

1. Неповне руйнування PCDD/F, що знаходяться в сировинних матеріалах/паливі;
2. Синтез de novo з джерел вуглецю і хлору.

Протягом спалювання на установці для отримання окатишів частково утворюються види вуглеводнів із кільцевою структурою (попередники) як проміжні продукти спалювання. При наявності хлору вони можуть реагувати з утворенням PCDD/F.

Попередники включають дібензофурани або поліциклічні ароматичні сполуки (ПАН), які утворюються внаслідок неповного спалювання. Сажа є ще одним джерелом утворення діоксинів, адже окислення може сприяти утворенню не хлористих попередників. Реакції мають місце в зонах охолодження, ймовірно, в діапазоні від 300 до 400 °С.

У табл. 4.1 вказані значні відмінності в утворенні діоксинів. Результати прямих вимірювань вказують на розкид від 8,2 до 196 нг I-TEQ/т окатишів. Причину такого розкиду можна пояснити тим фактом, що викиди PCDD/F пов'язані з аспектами, що вказані нижче:

- утворення: чим менше знаходиться попередників, тим менше утворюється діоксинів. За високого вмісту кисню в димових газах знижується можливість наявності попередників вуглецю, саме тому повинно утворюватися менше сполук PCDD/F;
- способи зменшення забруднення: якщо димові гази піддаються гартуванню за низьких температур (<80 °С), сполуки PCDD/F, що утворюються, будуть конденсуватися на частинках пилу, так що викиди PCDD/F будуть відповідати викидам пилу;
- ефективні заходи зниження викидів пилу за низьких температур сприятимуть ефективному видаленню PCDD/F.

4.2.2.2 Потоки води

Коли використовуються скрубери для видалення забруднюючих речовин, будуть утворюватися стічні води. Ці стічні води необхідно зливати внаслідок наявності HF. Цей злив порівняно невеликий, коли стічні води піддаються рециклінгу і застосовуються домішки NaOH. У деяких випадках ця вода, що зливається, очищується на установках для видалення арсену (застаріла назва: миш'як).

Крім того, стічні води скидаються з установок та обладнання для вологого промивання. На установці компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, 100 % цієї води піддається рециклінгу, а її витрата складає близько 0,04 м³/т окатишів. Охолоджуюча вода може виходити на секціях подрібнення та сушки, а також від ділянки затвердіння. Для вищезгаданої нідерландської установки питома витрата становить 0,16 м³/т окатишів від подрібнення і сушки та 0,05 м³/т окатишів від затвердіння.

Для шведської установки ситуація певною мірою відрізняється. Частина рудникових вод використовуються як технічна вода для скруберів і мокрих електрофільтрів на стадіях очищення. Промислові стічні води, зливні стоки та рудні води проходять через відстійник, з якого вода далі спрямовується до ставка-відстійника, де відбувається попереднє освітлення. Звідти вода прямує до ставка-освітлювача, де відбувається додаткове осадження.

На новій установці для отримання окатишів МКЗ на підприємстві в м. Мальмбергет (Швеція) проводиться безперервне вимірювання забруднення води. У табл. 4.2 показані значення концентрації, що досягаються для установки, розміщеної на підприємстві в м. Мальмбергет, Швеція.

Таблиця 4.2: Експлуатаційні дані щодо очищення стічних вод на руднику Мальмбергет та в м. Кіруна (Швеція)

	Мальмбергет 2006	Мальмбергет 2007	Кіруна 2006	Кіруна 2007	Одиниці вимірювання
Параметр	Концентрація				
Зважені тверді частинки	9,12	10,9	4,13	2,33	мг/л
Загальний азот	39,5	41	19,8	17,5	мг/л
Фосфор	41,4	48,7	0,039	0,028	мкг/л
Кадмій	0,018	0,011	0,025	0,014	мкг/л
Кобальт	3,63	6,23	0,35	0,37	мкг/л
Хром	0,70	0,35	0,05	0,1	мкг/л
Мідь	2,30	3,73	2,68	4,03	мкг/л
Ртуть	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	мкг/л
Свинець	0,20	0,14	0,13	0,24	мкг/л
Цинк	6,87	5,95	0,63	4,56	мкг/л
Нікель	13,7	16	1,83	2,39	мкг/л
Арсен	3,34	1,47	3,56	0,7	мкг/л

Джерело: [113, Гідлунд та ін., 2008] [166, Лундквіст, А., 2009].

4.2.2.3 Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти

Сама по собі установка для отримання окатишів не є основним джерелом твердих відходів, але вони утворюються під час сортування та збагачення сировинних матеріалів. Крім того, тверді відходи утворюються, коли пригнічуються викиди пилу. Осаджений пил опиняється у шламах на установці для очищення стічних вод.

4.2.2.4 Споживання енергії [318, Eurofer, 2007]

Питоме споживання енергії успішно знижувалося протягом останніх десятиріч. Зниження стало можливим завдяки систематичному удосконаленню процесу. У 2005 році питоме споживання енергії знаходилося в діапазоні від 186 до 662 МДж/т окатишів.

Існують деякі відмінності між різними типами установок, коли йдеться про вид енергії, що використовується, і вид енергії, що споживається. У процесі випалу в трубчастій печі переважно використовується вугілля, в той час як у процесі з рухомими колосниковими ґратами використовується рідке або газоподібне паливо.

На більшості установок для отримання окатишів у світі, як і у випадку Нідерландів, вуглецевмісні домішки до окатишів дають додаткове тепло, що вимагається для спікання. Цей випадок стосується верхнього діапазону зовнішнього споживання енергії.

Шведські автономні установки здебільшого використовують руди з магнетитових родовищ, які мають велику перевагу завдяки окисленню магнетиту. Фактично приблизно 60 % необхідної теплової енергії постачається за допомогою окислення магнетиту, отже підсумкове споживання зовнішньої теплової енергії знаходиться в нижньому кінці згаданого діапазону.

Для економії енергії тепло, яке постачається від окислення магнетиту і з паливом, утилізується в процесі отримання окатишів. Основна частина надлишкового тепла від секцій охолодження машини рециркулює в гарячі зони, в такий спосіб знижується необхідність у зовнішньому споживанні енергії. На деяких промислових ділянках відпрацьоване тепло утилізується в системі внутрішнього нагріву. Коли є практична можливість, відпрацьоване тепло також передається в мережі муніципального опалення.

4.2.2.5 Шум

Млини для сухого подрібнення компанії Cogus в м. Еймьойден заповнюються 150 т залізних окатишів і обертаються зі швидкістю 2 обороти на секунду (швидкість обертання встановлюється для досягнення оптимальної ефективності подрібнення). При роботі цих млинів можуть утворюватися значні шумові викиди близько 85 дБА, і з цієї причини вони повністю закриваються в шумопоглинаючих корпусах. Млини із мокрим подрібненням не утворюють такого рівня шуму, і зазвичай не виникає необхідності у використанні для них шумопоглинаючих корпусів.

4.3 Технології, що розглядаються при визначенні НДТМ для установок для отримання окатишів

У цьому розділі описані технології (або їх поєднання) і пов'язаний з ними моніторинг, які спрямовані на досягнення високого рівня захисту навколишнього середовища в економічній діяльності у контексті тематики цього документа.

Він включає технології, інтегровані в процес, і заходи, які передбачають очищення в кінці виробничого циклу. Запобігання утворенню відходів та управління ними, включаючи мінімізацію відходів та процедури рециклінгу, також будуть розглянуті. Крім того, в документі описані технології для зниження споживання сировинних матеріалів, води та енергії.

У Додатку III до Директиви перерахований ряд критеріїв для визначення ВАТ (НДТМ), власне, інформація в цьому розділі стосується саме цих міркувань. Наскільки можливо, використана стандартна структура, наведена в табл. 4.3, для загального уявлення про інформацію, зібрану щодо кожної технології, з метою порівняння технологій та їх оцінки на основі визначення ВАТ згідно з Директивою.

Цей розділ необов'язково дає вичерпний перелік технологій, які можна застосовувати в секторі. Можуть існувати інші технології для конкретної установки, які можна було б розглянути для визначення НДТМ.

Таблиця 4.3: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі

Тип розглянутої інформації	Основний зміст інформації
Опис	Короткий технічний опис із використанням за необхідності малюнків, діаграм і технологічних схем
Екологічні переваги, яких можна досягнути	Основні потенційні екологічні вигоди, що досягаються за допомогою реалізації технології (включаючи економію енергії, води, сировини, а також зростання виходу продукції, ефективності використання енергії тощо)
Міжсередовищні наслідки	Вплив на навколишнє середовище та інші середовища внаслідок реалізації технології, включаючи детальні дані щодо впливу на навколишнє середовище технології порівняно з іншими (переваги та недоліки, що підтримуються даними, якщо вони є) для оцінки впливу технології на навколишнє середовище в цілому. Це може включати такі питання, як: <ul style="list-style-type: none"> • споживання сировини і води;

Тип розглянутої інформації	Основний зміст інформації
	<ul style="list-style-type: none"> • споживання енергії та внесок у зміну клімату; • потенціал руйнування озонового шару; • фотохімічний потенціал утворення озону; • підкислення в результаті викидів у повітря; • тверді частинки в навколишньому повітрі (включаючи мікрочастинки та метали); • евтрофікація ґрунтів і водойм (в результаті викидів у повітря або скидів у воду); • потенціал виснаження кисню у воді; • стійкі/токсичні/біоаккумуляовані компоненти у воді або ґрунті (включаючи метали); • утворення або зниження (відходів) відходів; • можливість повторного використання або рециклінгу (відходів) залишків; • шум та/або запах; • ризик аварій.
Експлуатаційні дані	Реальні технічні дані (включаючи порівняльні умови, періоди моніторингу та методи моніторингу) про рівні викидів, споживання ресурсів (сировини, води, енергії) і кількості відходів, що утворюються. Будь-яка інша корисна інформація про те, як працює, обслуговується або контролюється технологія.
Можливість застосування	Вказівка щодо типу установок або процесів, в яких технологія може або не може застосовуватися, а також обмеження для реалізації в певних випадках, з урахуванням, наприклад, віку установки (нова або наявна), факторів, пов'язаних із модернізацією (наприклад, наявність місця), розміру установки (велика або невелика), вже впроваджених технологій і типу або якості продукції.
Економічні дані	Витрати (капітальні експлуатаційні) і будь-яка можлива економія (наприклад, зниження споживання сировини або енергії, платежів за розміщення відходів) або доходи, зокрема детальний опис того, як вони були розраховані/оцінені. Економічна інформація, важлива для нового будівництва та модернізації наявних установок. Все це дає змогу ідентифікувати, там, де це можливо, спільний економічний вплив технології.
Стимули для впровадження	Особливі місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи безпеки) або не екологічні механізми (наприклад, зростання продуктивності, підвищення якості продукції), які регулюють або стимулюють реалізацію технології до теперішнього часу.
Приклади установок	Посилання на установку (установки), для яких була впроваджена технологія, і по якій була зібрана інформація і використана при написанні розділу. Вказівка щодо ступеню використання технології в Європі чи у світі.
Довідкова література	Література або інший довідковий матеріал (наприклад, книги, звіти, дослідження, вебсайти), які були використані при написанні розділу і в яких міститься більш докладна інформація щодо технологій.

4.3.1 Електрофільтри на дробарках (сухе подрібнення)

Опис

Після подрібнення тверді частинки поділяються за допомогою повітряної класифікації. Великі частинки піддаються рециклінгу на млинах, а частинки потрібного розміру подаються на стадію змішування. Повітря, що використовується для повітряної класифікації, містить велику кількість пилу, яка повинна бути уловлена. Характеристики цього пилу такі, що він може бути ефективно уловлений з використанням електрофільтра.

Уловлений матеріал можна подавати безпосередньо на стадію змішування, адже він має такий самий склад, що й сировинний матеріал (приблизно 1,1 % ваги коксового дріб'язку, приблизно 1,3 % ваги олівіну (FeO , MgO , SiO_2), а решта – суміш руд, якими є магнетит (FeO) і гематит (Fe_2O_3)).

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Електрофільтр більшою чи меншою мірою працює як складова частина системи повітряної класифікації. Досягаються концентрації викидів <20 мг/м³. Електрофільтри сучасної конструкції можуть досягти меншого рівня викидів, і, отже, також утилізувати сировинні матеріали.

Міжсередовищні наслідки

Осад з електрофільтра повністю використовується як сировинний матеріал у барабанно-кульовому млині. Під час роботи електрофільтра споживається енергія. За витрати відхідних газів 300 000 м³/год та продуктивності 4 млн т/рік споживання енергії становить приблизно 1 МДж/т окатишів.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Електрофільтри можна застосовувати для нових та наявних установок.

Економічні дані

Електрофільтр є складовою частиною конструкції установки: частина сировинних матеріалів зі стадії повітряної класифікації утилізується з допомогою електрофільтра. Однак можна вважати, що для сухого електрофільтра з метою очищення потоку відхідних газів з витратою 300 000 м³/год будуть потрібні інвестиції приблизно в 2 млн євро (в цінах 1996 року). Експлуатаційні витрати можна прийняти за 0,03-0,05 євро/т окатишів (в цінах 1996 року) для установки для виробництва окатишів із річним виробництвом 4 млн т/рік і витратою відхідних газів при сушінні у млині 300 000 м³/год.

Стимули для впровадження

Стимулами для впровадження технології є повна утилізація сировинних матеріалів, і, отже, економія ресурсів.

Приклади установок

Установка для отримання окатишів компанії Cogus в м. Еймьойден, Нідерланди.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [318, Eurofer, 2007] [247, Нідерланди, 2007].

4.3.2 Індивідуальне або спільне зниження вмісту твердих і газоподібних забруднюючих речовин із зон сушіння та затвердіння

Опис

На установках для отримання окатишів використовують кілька технологій для видалення пилу. Основними технологіями, що застосовуються, є механічні пиловловлювачі (для великих часток), мультициклони, мокрі скрубери, рукавні фільтри та електрофільтри (ESP). ESP та рукавні фільтри забезпечують високу ефективність очищення, але вони можуть працювати тільки в обмеженому діапазоні температур та вологостей. Мокрі скрубери, в зв'язку з цим, використовуються також на установках для отримання окатишів для видалення пилу. Скрубери можуть бути дуже ефективними для видалення пилу. Вода скрубєрного циклу збирається і очищується за допомогою механічного очищення (освітлювачі). Тверді речовини знову повертаються до процесу.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Ефективність видалення пилу для перерахованих способів зазвичай буває >95 %, а в деяких випадках

>99 %. Викиди пилу можуть бути <10 мг/нм³ (див. табл. 4.1). Наприклад, на останній шведській установці ККЗ в м. Кіруна концентрація пилу в газах після зони сушки і затвердіння була нижче 10 мг/нм³, а загальні викиди пилу з установки в цілому були нижче 100 г/т окатишів, в разі застосування скрубера для очищення від викидів після зони сушки і електрофільтра для очищення від викидів після зони затвердіння.

Перевагою мокрих скруберів є те, що видаляються також SO_x, HF і HCl. Досягається концентрація викидів у повітря (мокрый скрубер із додаванням NaOH) для SO₂ <30 – 50 мг/нм³, а для HF і HCl – <1 – 3 мг/нм³. Окрім того, уловлюються також дим та аерозолі. За умови використання скруберів викиди SO₂ були знижені більш ніж на 95 % на установці для отримання окатишів LKAB Kiruna в 1995 році [114, Ремус, Райнер, 2008].

Міжсередовищні наслідки

Зазвичай зібраний пил піддається рециклінгу в процесі отримання окатишів. У разі скруберів деяка частина надлишкової води повинна скидатися після належної обробки.

Застосування рукавних фільтрів після мокрого скрубера вимагає, щоб відхідні гази підігрівалися після скруберів.

Експлуатаційні дані

Невідомо про конкретні проблеми.

Можливість застосування

Описана технологія в кінці технологічного процесу може застосовуватись як на нових, так і на наявних установках.

Економічні дані

Було проведено дослідження на одній установці із застосуванням рукавного фільтра після скрубера. Через те, що необхідно підігрівати потік відхідних газів після скруберів, інвестиційні та експлуатаційні витрати включають у себе пункт щодо витрат для підігріву. Інвестиції для рукавних фільтрів включають обладнання для підігріву та складають 25 млн євро. Експлуатаційні витрати високі – 8 млн євро/рік, здебільшого внаслідок витрат на підігрів [249, Нідерланди, 2007].

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Установки для отримання окатишів ККЗ та Kiruna (Швеція); компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [114, Ремус, Райнер, 2008] [169, LKAB, 2004] [208, Ліндфорс та ін. 2006] [249, Нідерланди, 2007] [251, Eurofer, 2007] [318, Eurofer, 2007].

4.3.3 Адсорбер за принципом випадання газової суспензії (GSA)

Опис

GSA – це напівсухий процес. Вологе вапняне молоко впорскується в гази у реактор киплячого шару. Вода з вапняного молока випаровується, а гашене вапно реагує з домішками (HF, HCl і SO₂). Висока концентрація пилу в газах підвищує продуктивність GSA, і оскільки збільшується реакційна поверхня, пил осідає в розчині гашеного вапна.

Після реактора з киплячим шаром газу проходять через циклони. Частина сухого продукту (вапно та пил, що прореагували) тут відділяється і рециркулює до реактора, щоб зберегти високу концентрацію пилу у реакторі. Кінцеве очищення відхідних газів виконується з використанням електрофільтра.

Рівень впорскування гашеного вапна пропорційний концентрації SO₂ у відхідних газах.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Робочі характеристики GSA на установці для отримання окатишів наведені в табл. 4.4. Ці дані були представлені шведською компанією LKAB, яка експлуатує GSA для очищення відхідних газів від ділянки затвердіння на установці для отримання окатишів ККЗ. Відхідні газу від зони сушіння на ділянці затвердіння проходять через скруббер Вентурі для видалення пилу перед викидом в атмосферне повітря.

Значення в табл. 4.4 демонструють низький рівень загальних викидів з цієї установки.

Таблиця 4.4: Експлуатаційні дані адсорбера за принципом випадіння газової суспензії, тобто суміші газу з краплями рідини або твердими частинками (GSA)

Компонент	Перед GSA, мг/м ³	Після GSA, мг/м ³	Ефективність очищення (%)
Оксиди сірки (SO ₂)	300	9,6	96,8
Флуоридна (плавикова) кислота (HF)	78	<0,1	99,9
Хлоридна (соляна) кислота (HCl)	133	0,6	99,5
Пил	1 400	2	99,9
Примітка: Установа для отримання окатишів ККЗ, Кіруна, Швеція, 1995 рік. Джерело: [200, Єврокомісія, 2001].			

Можна подати такі дані для цієї установки: установка була здана в експлуатацію в грудні 1995 року та мала продуктивність 4,5 млн т/рік. Реальне виробництво в 1995 році склало 2,8 млн т окатишів. Ця установка оснащена двома пальниками: один пальник у зоні випалу ділянки затвердіння та один пальник для підвищення температури відхідних газів від другої секції охолодження, яка використовується для підігріву повітря в першій зоні підігріву.

Міжсередовищні наслідки

GSA є пристроєм, що працює на напівсухому принципі, з електрофільтром (ESP) як остання стадія очищення. У сухому залишку від електрофільтра містяться пил, CaSO₃, CaCl₂ та CaF₂, а також деяка кількість вапна (CaO), що не прореагувало. Сухий залишок депонується.

Споживання гашеного вапна становить 264 кг/год (за проектом), а споживання води – 10,6 м³/год (за проектом). Крім того, використовується стиснене повітря (7 бар) з витратою 690 кг/год (за проектом). Споживання енергії становить близько 0,64 МДж/т окатишів (за проектом).

Експлуатаційні дані

Невідомо про конкретні проблеми.

Можливість застосування

GSA є мірою зниження викидів, яка може застосовуватись як до нових, так і до наявних установок.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Установка для отримання окатишів ККЗ, LKAB, Кіруна, Швеція.

Довідкова література

[200, Єврокомісія, 2001] [247, Нідерланди, 2007] [248, Eurofer, 2007].

4.3.4 Інтегроване в технологічний процес очищення від оксидів азоту

Опис

Основними джерелами утворення NO_x на установці для отримання окатишів є «термічні», «паливні» та «швидкі» NO_x . NO_x , які утворюються в шарі окатишів, складаються з «паливних» та «швидких» NO_x . Обидва ці види утворюються завдяки реакції між вуглеводнями в коксовому дріб'язку, азотом у коксовому дріб'язку, а також киснем та азотом у повітрі (домішки коксового дріб'язку додають на нідерландській установці). Основними факторами для утворення «термічних» NO_x є високі температури (1 300-1 400 °C) в зоні затвердіння і висока доступність кисню в зоні пальників. Неможливо провести розрізнення між різними формами NO_x після того, як вони утворилися, немає відмінності й у хімічному складі. Для установок для отримання окатишів можна вважати, що у загальних викидах NO_x домінують «термічні» NO_x .

Найважливішим заходом є зниження утворення термічних NO_x . Це може бути досягнуто за допомогою зниження (пікової) температури у вальниках і зниження надлишку кисню в повітрі для спалювання. Крім того, нижчі викиди NO_x можуть бути досягнуті за допомогою поєднання низького споживання енергії, низького вмісту азоту в паливі (вугілля та рідке паливо) та обмеження надлишку кисню.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

На установці для отримання окатишів ККЗ компанії LKAB в м. Кіруна (Швеція) викиди NO_x в зоні випалу становлять 175 – 196 г/т окатишів або пов'язані з питомою витратою відхідних газів 2 400 $\text{nm}^3/\text{т}$ окатишів 73 – 82 mg/nm^3 . Ця установка була здана в експлуатацію в грудні 1996 року, і не використовувалися технології очищення в кінці виробничого циклу для зниження викидів NO_x . Низькі рівні NO_x були досягнуті за допомогою поєднання низького споживання енергії, низького вмісту азоту в паливі (вугілля та рідке паливо) та обмеження надлишку кисню. На установці використовуються дві великі пальника в зоні затвердіння.

На установці для отримання окатишів КК2 компанії LKAB в м. Кіруна (Швеція) використовується технологія непрямого спалювання вугілля. Викиди NO_x на цій установці склали 150 г/т окатишів. «Непряме спалювання вугілля» означає, що вугілля розмелюють, фільтрують і зберігають до того, як воно буде використовуватися в пальнику. Ця технологія робить можливим тонко регулювати споживання енергії та знижувати кількість повітря, що переноситься, і це означає, що мінімізується одна з вимог для утворення термічних NO_x .

Ситуація на установці для отримання окатишів компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, дещо інша. На установці використовується 56 довгих пальників (з яких 44 працюють одночасно).

Викиди NO_x із зони затвердіння складають приблизно 550 г/т окатишів або (при 1 940 $\text{nm}^3/\text{т}$ окатишів) 283 mg/nm^3 . Заходи для інтеграції до технологічного процесу на цій установці були ускладнені.

Нова установка для отримання окатишів МКЗ на підприємстві на руднику Мальмбергет, Швеція, оснащена додатковими пальниками в рекупераційній камері, щоб була можливість зниження температури полум'я в гирлі пальника. При використанні цієї технології можна очікувати, що можна знизити утворення NO_x. Водночас, камери пальників проєктуються, щоб була можливість формування і зміни геометрії факела. Крім того, нещодавно розпочалася багаторічна робота із розроблення нових технологій для пальників, призначених для установок для отримання окатишів, із метою зниження NO_x.

Міжсередовищні наслідки

У цьому випадку міжсередовищних наслідків не відбувається.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано

Можливість застосування

Під час будівництва нової установки заходи для інтеграції в технологічний процес для зниження утворення NO_x можна розглядати на стадії проєктування. У разі наявних установок кращими є технології придушення утворення NO_x, інтегровані до процесу. Можна розглянути заходи, не пов'язані з проєктуванням, як для нових, так і для наявних установок.

Економічні дані

Витрати для нових установок значно нижче порівняно з модернізацією.

Стимули для впровадження

Стимулами для впровадження є зниження викидів у країні для виконання національних цілей щодо зниження викидів відповідно до національних і міжнародних правил, екологічних нормативів та економічного прогресу.

Приклади установок

Установки для отримання окатишів КК2 і КК3 компанії LKAB в м. Кіруна, Швеція; установка МКЗ на підприємстві Мальмбергет, Швеція, і компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди.

Довідкова література

[114, Ремус, Райнер, 2008] [200, Єврокомісія, 2001] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [318, Eurofer, 2007]

4.3.5 Селективне каталітичне відновлення (SCR)

Опис

Див. п. 3.3.2.8.2.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Зниження викидів NO_x.

Міжсередовищні наслідки

Див. п. 3.3.2.8.2.

Експлуатаційні дані

Той факт, що SCR може бути успішно встановлено на новій установці для отримання окатишів, автоматично не означає, що установка повинна дати результат у вигляді необхідних дій за прийнятних витрат на наявних установках. Компанія LKAB вже досліджувала можливості технологій очищення в кінці виробничого циклу для наявних

установок. Взагалі, температура є занадто низькою для оптимізації придушення викидів NO_x . Тому потік газу повинен бути підігрітий саме в такій установці, що пов'язано з негативними впливами, як, наприклад, зростання споживання палива, а, отже, з підвищеними викидами і витратами.

Можливість застосування

Для наявних установок, як із прямолінійним рухом решіток, так і з випалюванням в трубчастій печі, важко отримати робочі умови, необхідні для належної роботи реактора SCR. Однак, для нової установки для отримання окатишів установка і система SCR можуть бути правильно спроектовані щодо необхідної температури реактора і помірних витрат газу. Внаслідок високих витрат зниження викидів оксидів азоту в кінці виробничого циклу має розглядатися тільки за тих обставин, коли стандарти якості навколишнього середовища не можуть бути дотримані в інший спосіб.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Стимулами для впровадження є зниження викидів у країні для виконання національних цілей щодо зниження викидів згідно з національними і міжнародними нормами.

Приклади установок

Компанія LKAB повинна була брати участь у програмі великих досліджень щодо зниження викидів NO_x до 2010 року. У цьому напрямі було прийнято рішення, що нова установка для отримання окатишів КК4 в м. Кіруна, Швеція, повинна бути оснащена установкою de NO_x .

Реактор для селективного каталітичного відновлення (SCR) компанії Alstom був установлений для проведення повномасштабних пілотних випробувань. Випробування почалися навесні 2008 року, а результати повинні були стати відомими до кінця 2009 року. Ці випробування повинні були стати першими в світі для установки для отримання окатишів із випалюванням у трубчастій печі, а мета полягає в оцінці реактора SCR на новій установці, де робочі умови для цієї технології можуть бути оптимізовані.

Лабораторні випробування щодо терміну служби SCR були проведені в невеликому масштабі, і вони дали позитивні результати. Однак все ще залишається багато невизначеностей щодо функціонування реактора SCR на установках для отримання окатишів.

Довідкова література

[318, Eurofer, 2007]

4.3.6 Очищення стічних вод на установці для отримання окатишів

Опис

Стічні води від скрубєрів піддаються нейтралізації перед тим, як вони потрапляють в циркуляційний басейн. Звідти вони прямують на додаткову обробку в осаджувальні баки. Седиментаційні властивості шламів дуже часто поліпшуються за допомогою дозування флокуляторів. Частина стічних вод із бака-відстійника повторно використовується як вода скрубєрного циклу. На установці компанії Cogus в м. Еймьойден, Нідерланди, ще одна частина спрямовується як злив на установку для очищення від арсену (див. п. 4.3.7).

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Попереднє очищення технічної води і відділення шламу дають можливість рециклінгу води в скрубєрі.

Міжсередовищні наслідки

Шлами повинні піддаватися рециклінгу або депонуванню, оскільки вони можуть містити важкі метали, такі як Ni, Cr та Cd.

Експлуатаційні дані

Невідомо про конкретні проблеми.

Можливість застосування

Жодних даних не надано.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди.

Довідкова література

[114, Ремус, Райнер, 2008]

4.3.7 Установа для видалення арсену (миш'яку)

Опис

Стічні води від очисних споруд на установці для отримання окатишів компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, містять розчинені арсенат (As^{5+}) і арсеніт (As^{3+}). Сполуки арсену знаходяться в деяких залізних рудах. Арсеніт перетворюється в арсенат за допомогою реагенту Фентона (поєднання хлориду заліза (Fe II) і пероксиду) при рН 7, після чого арсенат осідає. Після зневоднення відфільтрований залишок, в якому міститься арсен, може бути підданий рециклінгу або депонуванню. Після седиментації стічні води проходять через піщані фільтри, для того щоб видалити залишкові зважені тверді частинки, і три іонообмінних установок для регулювання рівня інших важких металів, наприклад, Cd, Cr, Cu, Ni (див. рис. 4.7).

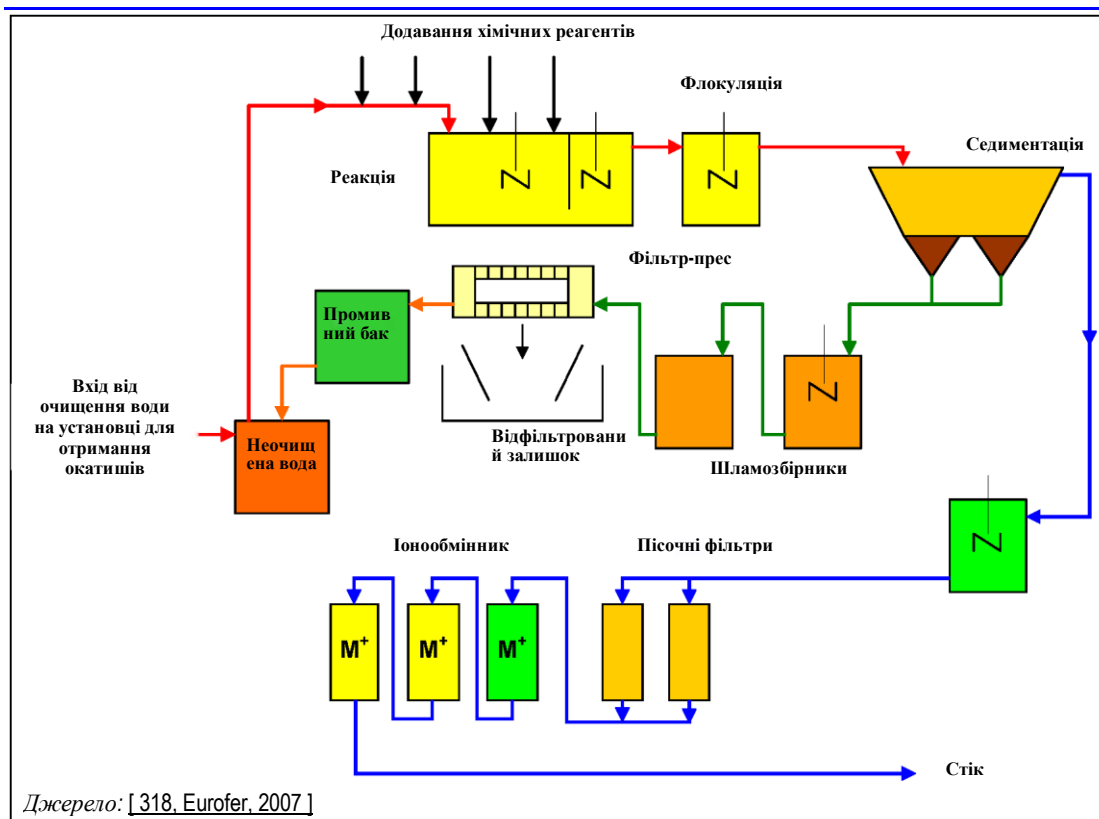


Рис. 4.7. Схема технологічного процесу установки для видалення арсену (миш'яку)

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Експлуатаційні дані з установки для видалення арсену наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5: Експлуатаційні дані з установки з видалення арсену (миш'яку) (2007 рік)

Параметр	Діапазон	Одиниці вимірювання
Зважені тверді частинки	< 10 – 95	мг/л
ГПК (COD)	56 – 81	мг/л
Азот за методом К'ельдаля	8,1 – 15	мг/л
Фториди	1 300 – 2 000	мг/л
Cd	< 1 – 1,7	мкг/л
Hg	0,25 – 2	мкг/л
As	10 – 27	мкг/л
Cr	13 – 18	мкг/л
Pb	10 – 83	мкг/л
Zn	43 – 95	мкг/л
Ni	44 – 64	мкг/л
Cu	< 1 – 19	мкг/л

Джерело: [163, InfoMil, 2009].

Міжсередовищні наслідки

Шлами з арсеном повинні піддаватися рециклінгу або депонуванню, так як вони можуть містити важкі метали, такі як Ni, Cr та Cd.

Експлуатаційні дані

Невідомо про конкретні проблеми. Не повідомлялося про споживання хімічних реагентів.

Можливість застосування

Видалення арсеніту та арсенату може проводитись як рішення в кінці технологічного процесу на всіх типах нових та наявних установок для очищення стічних вод.

Економічні дані

Капітальні витрати на установку для видалення арсену з продуктивністю 55 м³/год склали 2,6 млн євро у 2004 році. Ці витрати залежать також від граничних значень для арсену і важких металів у стоках.

Стимули для впровадження

Установка компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, була оптимізована для того, щоб дотримувалися граничні значення, встановлені відповідно до закону, і для зниження експлуатаційних витрат.

Приклади установок

Установка компанії Corus м. Еймьойден, Нідерланди, для видалення арсену експлуатується із серпня 2004 року.

Довідкова література

[318, Eurofer, 2007]

4.3.8 Утилізація фізичного тепла з ділянки затвердіння окатишів

Опис

Установка для отримання окатишів конструюється так, щоб можна було ефективно використовувати фізичне тепло відхідних газів із ділянки затвердіння окатишів. Наприклад гаряче повітря із секції первинного охолодження використовується як повітря для допалювання в секції випалу. Зі свого боку, тепло від секції випалу використовується в секції сушіння на ділянці затвердіння. Тепло від секції вторинного охолодження також використовується в секції сушіння.

Для нідерландської установки для отримання окатишів на металургійному заводі з повним циклом в секції охолодження утворюється більше фізичного тепла, ніж можна використовувати, але із середини 1980-х років це фізичне тепло використовується в камерах сушки і на установці для подрібнення. Гаряче повітря проходить через теплоізолюваний трубопровід, що називається «каналом для рециркуляції гарячого повітря».

Крізь цей канал проходить приблизно 150 000 м³/год гарячого повітря (250 °C) із секції охолодження на ділянці затвердіння до млинів у секції сушіння і подрібнення. У секції сушіння гаряче повітря (600 – 800 °C) використовується для сушіння концентратів та дрібної фракції перед подрібненням. За допомогою використання гарячого повітря від камери охолодження необхідно значно менше теплової енергії в камері сушіння.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Валове споживання енергії вищезгаданої установки для отримання окатишів становить приблизно 1,4 ГДж/т окатишів (порівняно з автономними установками у Швеції, що працюють на концентраті з магнетиту, це споживання значно вище – див. табл. 4.1 та п. 4.2.2.4). Близько 0,7 ГДж/т окатишів постачається за допомогою рекуперації тепла, в той час як приблизно 0,7 ГДж/т окатишів уводиться за допомогою палива. «Канал для рециркуляції гарячого повітря» включений в цей розрахунок, і на нього припадає утилізація енергії приблизно у розмірі 67,5 МДж/т окатишів (приблизно 4 % від валового споживання енергії).

Міжсередовищні наслідки

Використання гарячого повітря із зони охолодження в зоні випалу на ділянці затвердіння може призвести до зростання температури факела в пальниках, і, отже, до підвищення викидів NO_x.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Утилізація фізичного тепла є частиною установок для отримання окатишів, інтегрованих до технологічного процесу. Нові установки, як очікується, повинні мати більш ефективну конструкцію, ніж наявні установки. «Канал для рециркуляції гарячого повітря» можна застосовувати на наявних установках порівнянної конструкції і з достатнім постачанням фізичного тепла.

Економічні дані

Рекуперація тепла на ділянці затвердіння є складовою частиною конструкції установки, і для цього не потрібні додаткові інвестиції. «Канал для рециркуляції гарячого повітря» був уведений в експлуатацію у 1984 році. Оцінені інвестиції склали 5 млн євро. Економія у витратах на енергію становить 2,8 млн євро на рік.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Установка для отримання окатишів компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [318, Eurofer, 2007]

5 КОКСОВІ ПЕЧІ

[320, Eurofer, 2007]

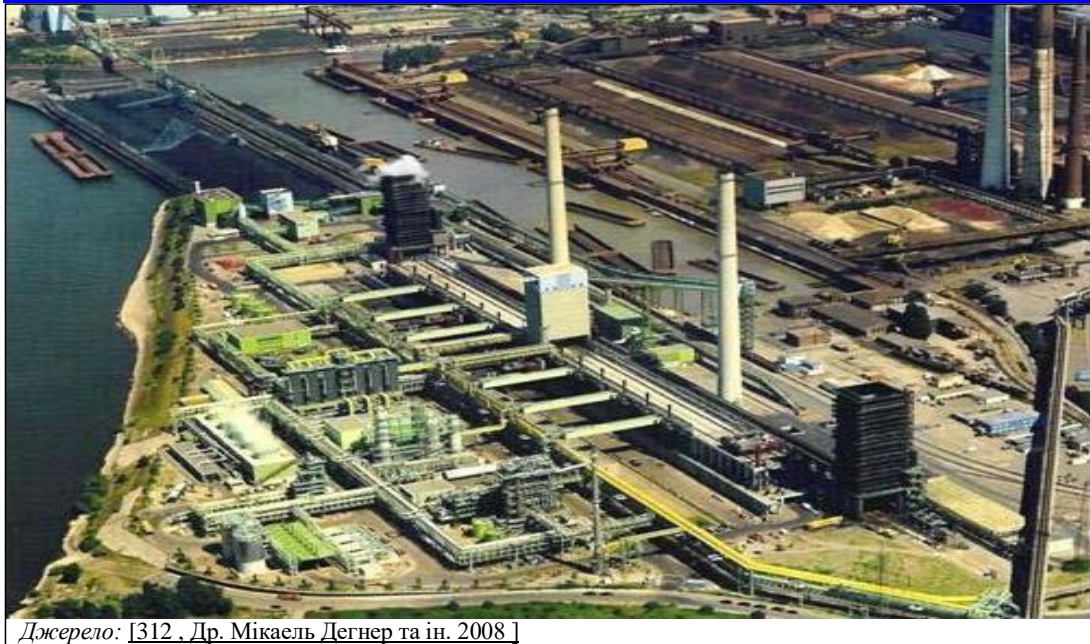
Піроліз вугілля означає нагрівання вугілля в атмосфері без кисню для виробництва коксу (твердої речовини), газів та рідин. Піроліз вугілля за високої температури називається карбонізацією. У цьому процесі температура димових газів, що утворюються при спалюванні палива, складова 1150 – 1350 °С, використовується для непрямого нагрівання вугілля до 100 – 1100 °С протягом 14 – 28 год. Тривалість залежить, наприклад, від ширини печі (в разі передачі тепла від бічних стін), щільності вугілля та якості бажаного коксу (наприклад, для використання ливарному цеху або доменних печах). Найважливішим відновлювальним агентом під час виробництва чавуну є кокс, який видаляє кисень або побічно шляхом утворення діоксиду вуглецю, або безпосередньо з використанням вуглецю, що міститься у ньому. Газифікація коксу служить також для постачання тепла, необхідного для процесу відновлення. Функції коксу полягають як у матеріалі-основі, так і в матриці, через яку газ циркулює у стовпі шихтових матеріалів. Кокс не може бути повністю вугіллям або іншими паливами.

Тільки деякі вугілля, наприклад коксівне або бітумінозне вугілля, з належними пластичними властивостями, можуть бути перетворені на кокс, і, як у випадку з рудами, деякі типи можна змішати для підвищення продуктивності доменної печі та підвищення терміну служби коксової батареї. Інші матеріали, в яких міститься вуглець, також можуть застосовуватися в невеликих кількостях (наприклад, нафтовий кокс, подрібнені утильні гумові шини) за умови, що вони не будуть чинити негативного впливу на навколишнє середовище. Нафта або нафтові залишки також додаються для кращого ущільнення вугілля.

5.1 Процеси і технології, що застосовуються

[204, Нойвірт та ін., 2003] [207, Амелінг та ін., 2004] [320, Eurofer, 2007]

До 1940-х років була розроблена основна конструкція сучасних коксових печей. Печі мали довжину близько 12 м, висоту 4 м і ширину 0,5 м, і вони були оснащені дверима з обох боків. Повітря, що постачається, підігрівається за допомогою гарячих відхідних газів; утилізація вторинного тепла дає можливість підвищення температур і коксування. З 1940-х років процес був механізований, а матеріали, що використовуються для будівництва печей, були вдосконалені без значних змін конструкції. Батареї можуть включати до 70 печей з довжиною до 14 м і висотою до 6 м. З погляду теплопередачі ширина залишалася в діапазоні від 0,3 до 0,6 м. Кожна піч у батареї вміщує до 30 т вугілля. Деякі нещодавно побудовані коксові печі мають ще більші розміри. Наприклад камери коксових печей, що використовуються в м. Дуйсбург, Німеччина (див. рис. 5.1), які були введені в експлуатацію в 2003 році, мають довжину приблизно 20 м, висоту 8,3 м і ширину 0,59 м, а кожна камера має ємність приблизно на 70 т вугілля. На рис. 5.1 показана фотографія коксогазового заводу в м. Дуйсбург, завод Швельгерн, Німеччина.



Джерело: [312, Др. Мікаель Дегнер та ін. 2008]

Рис. 5.1. Фотографія коксогазового заводу в м. Дуйсбург (Швельгерн), Німеччина

Останніми роками розроблення були зокрема націлені на мінімізацію викидів від процесів і на поліпшення умов праці для операторів.

Окрім камери горизонтальної коксової печі, описаної вище, останніми роками увага приділяється так званому виробництву коксу з «утилізацією тепла», хоча ця технологія не застосовується в Європі до цього часу. Виробництво коксу з утилізацією тепла вимагає пічних систем, які чітко відрізняються за конструкцією, порівняно зі звичайними системами із горизонтальними камерами.

Процес виробництва коксу можна розділити на:

- подачу та підготовлення вугілля;
- роботу коксової батареї (завантаження вугілля, нагрівання/випал, коксування, видача коксу, гасіння коксу);
- подачу коксу (вивантаження, зберігання, транспортування) та підготовлення;
- очищення коксового газу (COG) з утилізацією та переробкою побічних продуктів у разі звичайного коксохімічного заводу;
- утилізацію тепла від коксування та очищення димових газів у разі утилізації тепла на коксохімічному заводі.

Для того щоб був чіткіший опис очищення стічних вод (які поступають від очищення коксового газу), описані також потоки води у звичайному процесі коксування.

На рис. 5.2 показана спрощена схема всієї послідовності операцій і процесів, потрібних для виробництва коксу (показані джерела викидів). Нижче більш докладно описані основні стадії, згадані вище.

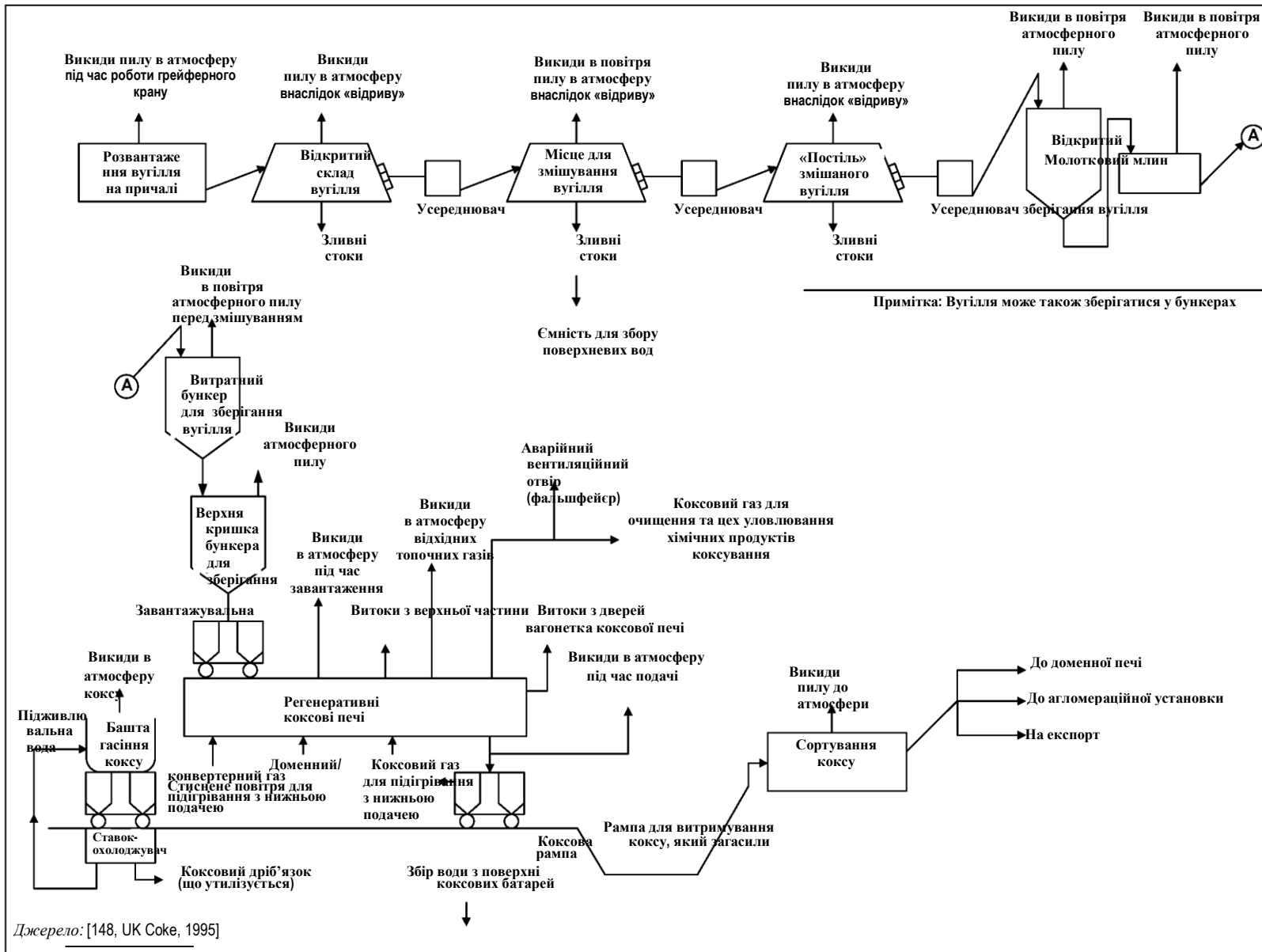


Рис. 5.2. Типова схема коксової печі з джерелами викидів

5.1.1 Подача і підготовлення вугілля

[223, USEPA, 2001] [320, Eurofer, 2007]

Подача і підготовлення вугілля складаються з таких стадій:

- вивантаження вугілля: вугілля вивантажується із суден або потягів на систему транспортування або для зберігання. Зазвичай використовуються великі грейферні крани. Вітер та операції подачі можуть викликати викиди пилу від вугілля
- зберігання вугілля: коксохімічні заводи зазвичай асоціюються з великими складами. Вітер може викликати викиди вугільного пилу. Слід приділяти увагу очищенню (седиментації) зливостоків після дощів і розпилення води
- транспортування вугілля: вугілля транспортується за допомогою конвеєра, можливі пункти перевалки за межами будівель, і слід враховувати транспортування автомобільними дорогами
- підготовлення вугілля: воно складається з дроблення і розміщення в бункер для усереднення або змішування, що може призвести до викидів пилу. Вугілля готують для коксування за допомогою пилопідготовки так, щоб 80-90 % вугілля проходило через решітку з діаметром 3,2 мм. Протягом змішування можуть додаватися речовини, що піддаються рециклінгу, такі як смола, що може призвести до викидів легких сполук
- завантаження вугільної вежі/башти (можуть відбуватися викиди пилу)
- завантаження завантажувальних вагонеток (можуть відбуватися викиди пилу)
- робота двох усереднювальних штабелів, кожен із яких може наповнюватися і випорожнюватися чергуючись. У той час, як один штабель наповнюється, з іншого здійснюється подача вугілля у вугільну вежу через затвори. Розпилювання води запобігає викидам пилу, і має місце безперервне розпилювання води та контроль висоти живильника.

5.1.2 Робота батареї коксових печей

Робота батареї коксових печей складається з:

- завантаження вугілля
- камер нагрівання/випалу коксу
- коксування
- видачі коксу
- гасіння коксу

Під час роботи домінують викиди з батареї коксових печей. Тому тут надається їх більш докладний опис, разом з інформацією про джерела викидів. На рис. 5.3 показані схема батарей та основні джерела викидів.

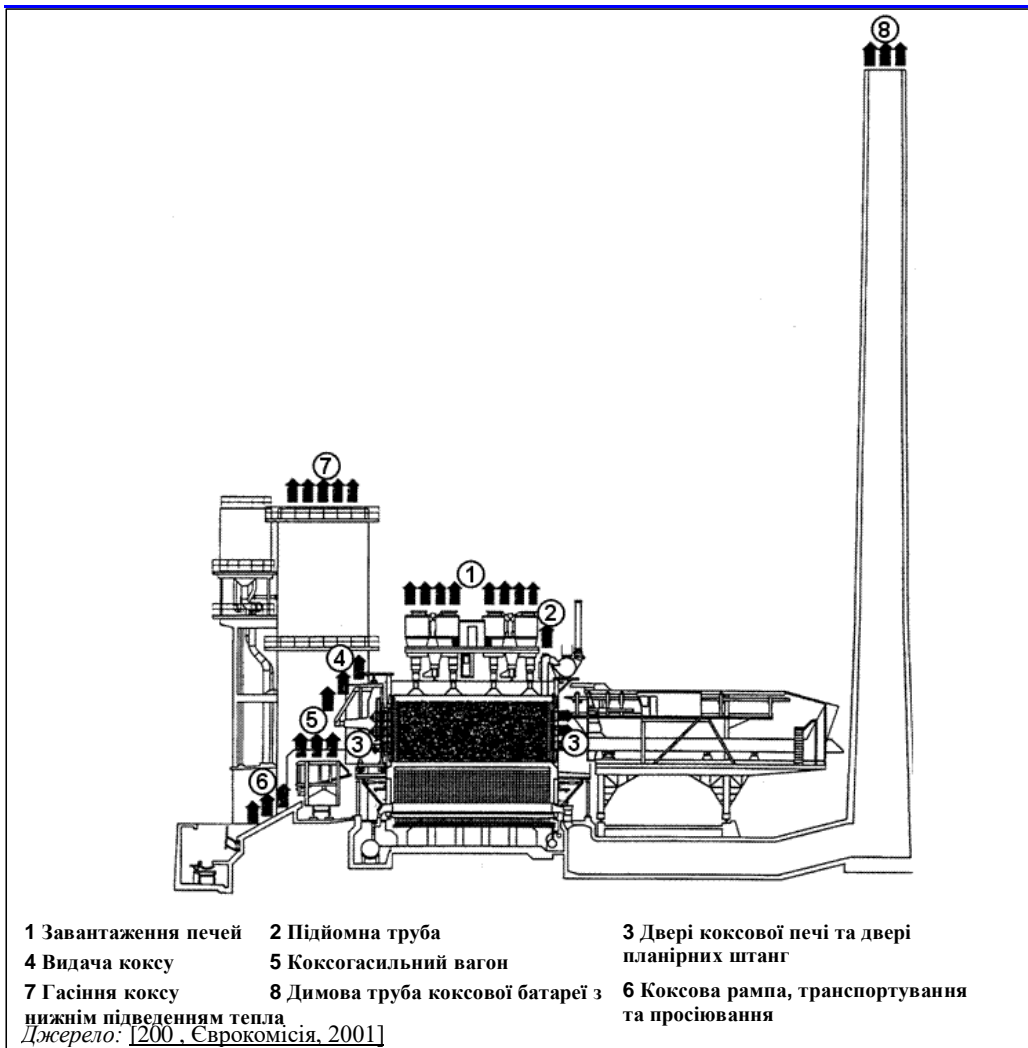


Рис. 5.3. Принципова схема батареї коксових печей з основними джерелами викидів

5.1.2.1 Завантаження вугілля

[320, Eurofer, 2007] [102, Eurofer, 2008].

Є ряд технологій для завантаження в коксові печі пилоподібного вугілля (80-90 % пилоподібного вугілля має частки з розміром $<3,2$ мм) за допомогою завантажувальних вікон. Найпоширенішим способом є завантаження самопливом за допомогою завалювальних візків (див. рис. 5.4). Процес завантаження починається з підйому кришки першого завантажувального вікна. Вся процедура займає від 2 до 3 хв, в той час як власне процес завантаження триває від 45 до 60 с, залежно від розміру камери. Це може відбуватися одночасно, послідовно або з використанням стадійного завантаження за допомогою горизонтального шнекового живильника з регулюванням швидкості або за допомогою поворотної плити. Застосовуються також інші системи типу трубопровідного завантаження із трамбуванням шихти.

У системі завантаження з трамбуванням шихти завантаження здійснюється завантажувальною машиною за допомогою відкриття дверей батареї коксових печей. Застосовуються дві системи завантаження із трамбуванням шихти для коксових печей такого типу:

- за класичного способу завантаження із трамбуванням шихти завантажувальна машина складається з вугільного бункера і завантажувального короба, який рухається після кожного завантаження. Усереднена вугільна шихта, необхідна для заповнення камери однієї коксової печі, завантажується з живильника в завантажувальний короб. У завантажувальному коробі суміш ущільнюється, а потім вивантажується в камеру коксової печі
- новий спосіб трамбування вугілля – «стаціонарне трамбування». Трамбувальний пристрій встановлюється під видатковою вежею/баштою, і він ущільнює та доставляє шихту в завантажувальний короб завантажувальної машини. Завантажувальна машина є мобільним елементом, а її головним завданням є завантаження ущільненої шихти в камеру коксової печі.

Перевагою завантаження із трамбуванням шихти є те, що навіть за умови низької якості вугілля можна отримати кокс високої якості. Трамбування вугільної шихти в завантажувальній машині займає від 4 до 17 хв. Щільність завантаження на 20-50 % вище ніж щільність вугільної шихти в системах завантаження самопливом. Крім того, «стаціонарне трамбування» дає можливість досягнення більшої ефективності роботи трамбувального пристрою, а завантажувальна машина стає менше і легше порівняно із класичними завантажувальними машинами.

Незалежно від системи необхідно контролювати витрату вугілля. Це діє для всіх систем. Заходи контролю пов'язані з досягненням «бездимного» завантаження (завантаження зі знизеними викидами).

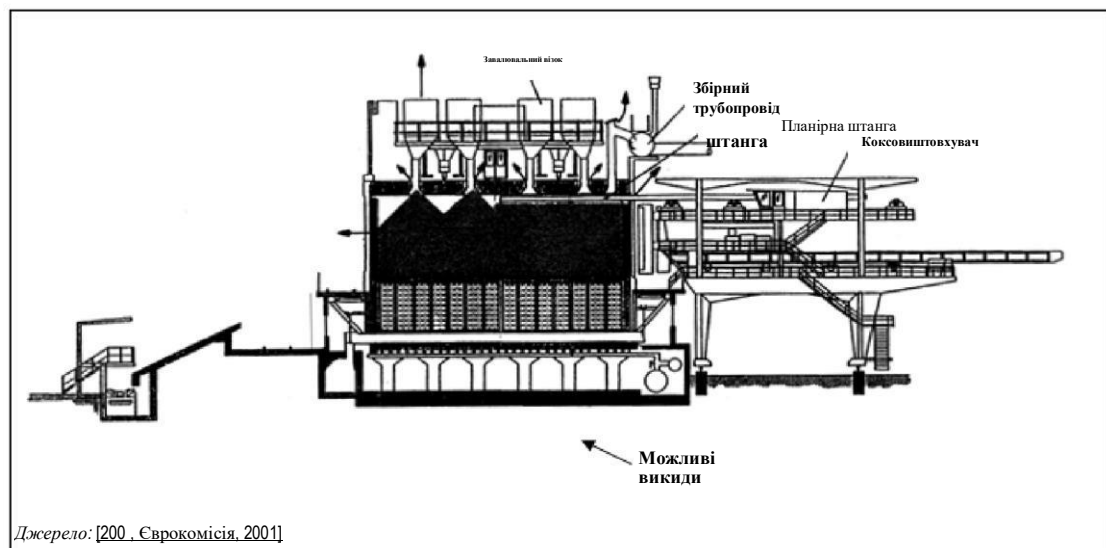


Рис. 5.4. Схема завантаження вугілля в камеру коксової печі з використанням завалочного візка із зазначенням джерел викидів

5.1.2.2 Камери нагрівання/випалу коксу

[223, USEPA, 2001] [320, Eurofer, 2007]

Окремі камери коксової печі поділяються за допомогою опалювальних простінок. Всі камери футеровані вогнетривкими цеглинами (кисла футеровка). Ці опалювальні простінки складаються з ряду топкових каналів із соплами для подачі палива та одного або більше вакуум-камер, залежно від висоти стінки коксової печі. Середня температура пустотілої цегли, що характеризує роботу топкових каналів, зазвичай встановлюється у діапазоні від 1 150 до 1 350 °С.

Найчастіше очищений коксовий газ використовується як паливо, але можуть використовуватися також інші гази, такі як (збагачений) доменний газ. Очищений коксовий газ має теплотворну здатність близько $17\,540\text{ кДж/м}^3$, тоді як змішаний топковий газ – близько $4\,200\text{ кДж/м}^3$.

Для підвищення енергоефективності безпосередньо під печами розміщують регенератори, які обмінюються теплом із димовими газами з повітрям для горіння та/або з технологічним газом. На рис. 5.5 показана схема системи нагрівання коксової печі разом із точками викидів. Якщо опалювальні простінки не є повністю газоцильними внаслідок тріщин, коксовий газ, що утворюється протягом коксування, буде потрапляти в топковий газ, і буде відбуватися неповне спалювання, що призводить до викидів у димову трубу.

Щодо механізмів і продуктів сажоутворення в результаті неповного спалювання бензолу див. інформацію в роботах [213, Бітнер та ін., 1983] та [214, Ріхтер та ін., 2000].

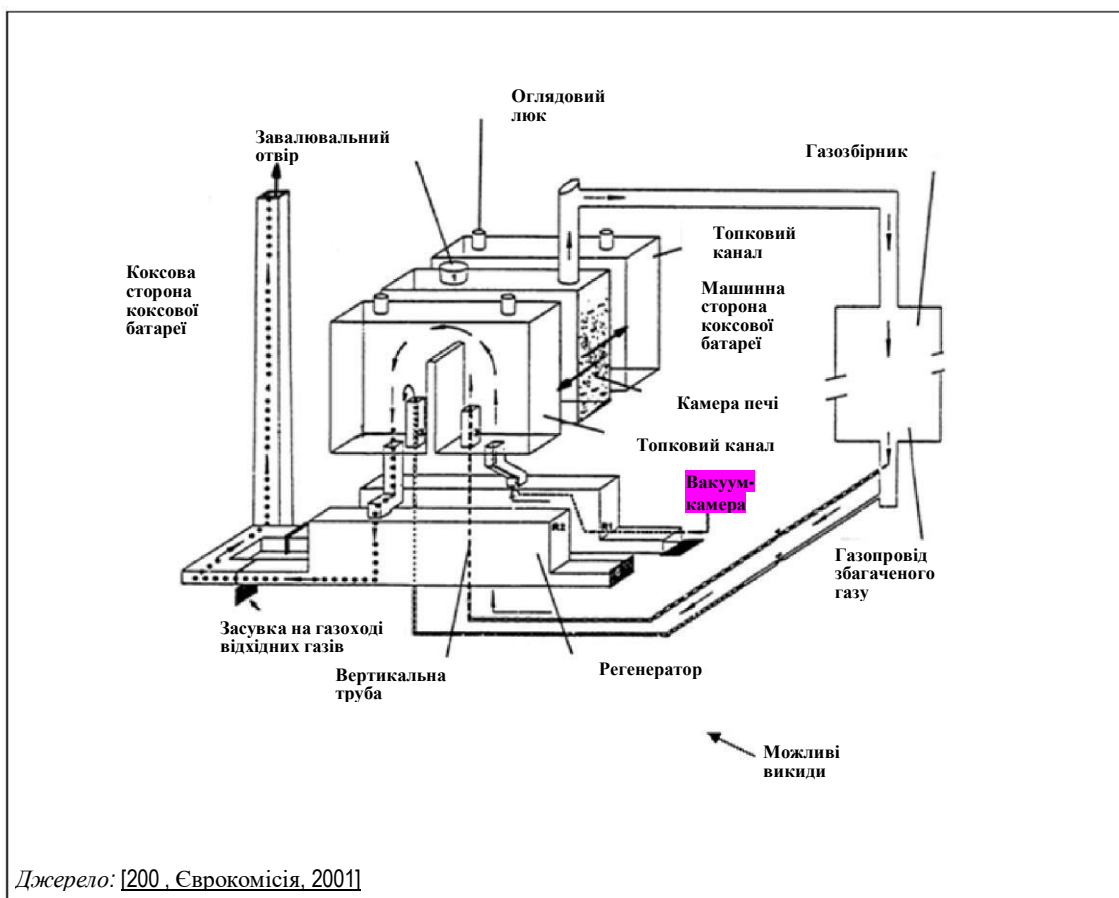


Рис. 5.5. Принципова схема системи нагрівання коксової печі із зазначенням місць викидів

Схема, представлена на рис. 5.5, стосується одностадійного спалювання, в той час як зараз найсучасніші печі мають багатостадійне спалювання; неочищений коксовий газ, що використовується як паливо, зазвичай попередньо піддається десульфуратції.

5.1.2.3 Коксування

Процес коксування починається негайно після завантаження вугілля. Вміст вологи завантаженого вугілля становить 8 – 15 %. Додатково до вологості утворюється коксовий газ. Загальна кількість летких сполук становить близько 25 % [320, Eurofer, 2007].

Цей неочищений коксовий газ виходить по підйомній трубі в газозбірник. Висока теплотворна здатність цього газу означає, що після очищення він може використовуватись як паливо (наприклад, для опалення батарей). Вугілля нагрівається в системі обігріву/випалу, що описана вище, та залишається в коксовій печі допоки температура в центрі шару вугілля не досягне $1\ 000 - 1\ 100\ ^\circ\text{C}$.

Повний процес коксування триває від 14 до 28 год, залежно від, наприклад, ширини печі (в разі бокового підведення тепла), щільності вугілля та якості бажаного коксу (наприклад, із метою використання в ливарному виробництві або в доменних печах) [207, Амелінг та ін., 2004], [223, USEPA, 2001]. Час коксування визначається вугільною сумішшю, вмістом вологи, рівнем обігріву при нижньому підведенні газу та бажаними властивостями коксу (наприклад, для ливарного коксу потрібно більше часу, ніж для коксу в доменній печі). Коли час коксування неправильний, утворюється кокс, що «не повністю закоксувався». У цього коксу погана якість, яка не влаштовує виробників коксу [223, USEPA, 2001].

На рис. 5.6 показані основні джерела викидів протягом коксування. Внаслідок позитивного тиску (10 – 15 мм вод. ст. для печей висотою 5 – 7 м) у камерах коксових печей, можуть бути викиди через двері, викиди із завалювальних отворів та підйомної труби, а також при появі тріщин на стінках, викиди від неповного спалювання коксового газу (див. п. 5.1.2.2) [320, Eurofer, 2007].

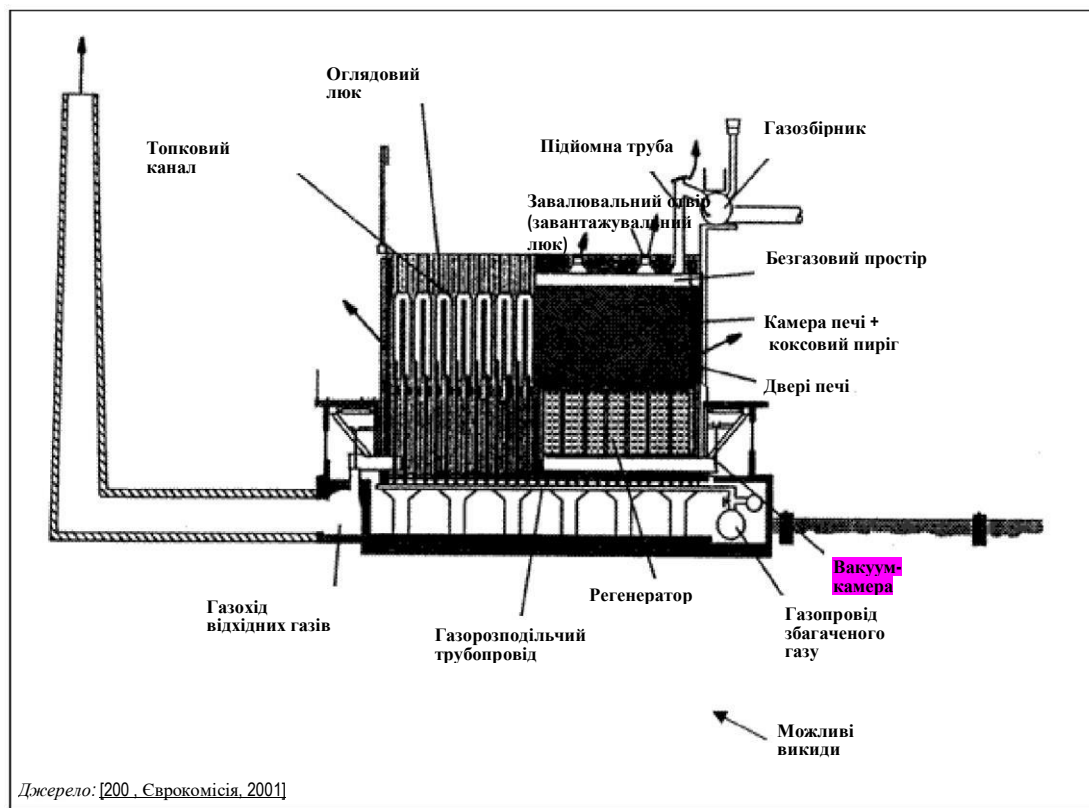


Рис. 5.6. Принципова схема камери коксової печі із зазначенням можливих місць викидів під час коксування (вказано стрілками)

Загалом, вихід коксу змінюється від 700 до 800 кг сухого коксу/сухого вугілля, а кількість газу, що утворюється, варіюється від 140 до 200 кг коксового газу/т сухого вугілля. Однак слід зазначити, що вихід коксу і утворення коксового газу, а також склад залежать, значною мірою від складу вугілля та часу коксування.

5.1.2.4 Видача коксу

Повністю карбонізований кокс виштовхується з печі в контейнер за допомогою штоку коксовиштовхувального пристрою зазвичай менш ніж за одну хв (див. рис. 5.7) [223, USEPA, 2001] до «коксогоасильного вагону». При контакті з атмосферним киснем кокс починає миттєво горіти.

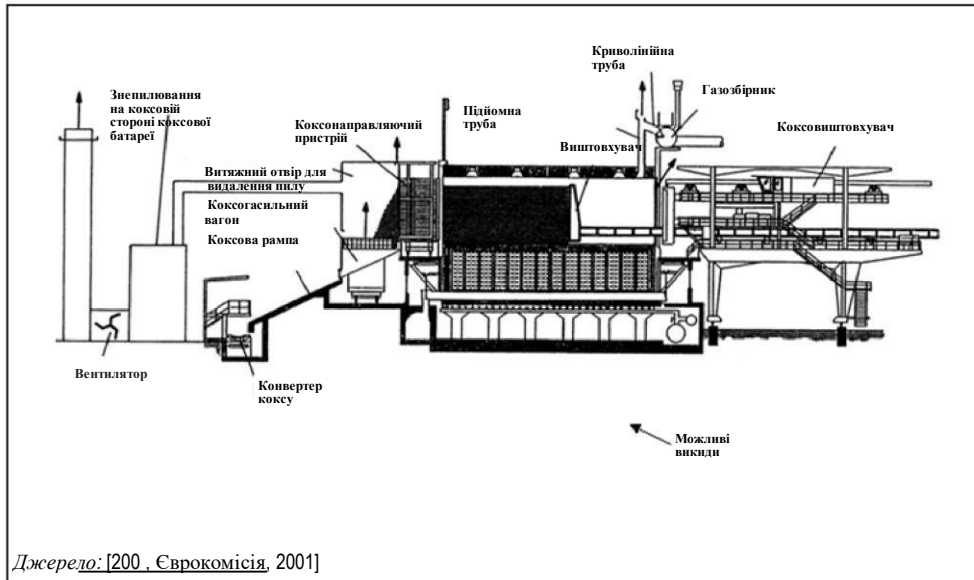


Рис. 5.7. Видача готового коксу із коксової печі в коксогасильний вагон із зазначенням викидів

5.1.2.5 Гасіння коксу

Власне є два способи гасіння гарячого коксу з коксової печі: мокре гасіння і сухе гасіння [320, Eurofer, 2007], [334, Eurofer 2007]. При застосуванні мокрого гасіння вагон для гасіння коксу транспортує кокс до башти гасіння коксу. При мокрому гасінні споживається велика кількість води. Температура коксу знижується з 1 100 до 80 °С для запобігання горіння [223, USEPA, 2001]. Фракція води, яка не випаровується, може збиратися і використовуватися в наступних партіях, завдяки чому знижується споживання води [320, Eurofer, 2007].

При застосуванні сухого гасіння вагон для гасіння коксу транспортує гарячий кокс у вертикальну охолоджувальну камеру. У камері циркулює інертний гартівний газ, який забезпечує ізоляцію від атмосфери, завдяки чому запобігають горінню при охолодженні коксу. Газ охолоджується за допомогою теплообмінника для утилізації теплової енергії.

5.1.3 Переміщення і підготовка коксу

Після гасіння кокс можна зберігати у штабелях, звідки він транспортується за допомогою конвеєрів (із пунктами перевалки), автомобільними шляхами, залізницею або комбінованим способом в окрему будівлю для дроблення і просіювання. На дні вежі мокрого гасіння осідає невелика фракція (коксівого дріб'язку) і направляється безпосередньо на агломераційну стрічку або резервується для процесу спікання [227, WB, 1998].

Великі фракції (20 – 70 мм) використовуються в доменній печі та продаються на ринку [320, Eurofer, 2007], [321, Eurofer, 2007].

Невеликі фракції (<20 мм) використовуються для процесу спікання та у сталеплавильних цехах, що допомагає підвищити рівень додавання брухту.

Згідно зі спеціальними вимогами для процесу спікання та процесу в доменній печі, ці фракції піддаються подальшому подрібненню для відповідності необхідному розміру.

5.1.4 Очищення коксового газу

[206, Дімер та ін., 2004], [223, USEPA, 2001].

Загалом, є два варіанти поводження з коксовим газом, що утворюється:

- в першому випадку відбувається повний збір коксового газу та подальша переробка за допомогою очищення та утилізації побічних продуктів. Очищений коксовий газ (після видалення економічно цінних побічних продуктів) використовується на цьому або зовнішньому металургійному заводі як паливо у батареї коксових печей, повітрянагрівачах (кауперах) доменних печей, для нагрівання в запалювальних горнах агломераційних установок, для нагрівання печей штовхального типу в прокатних цехах і для виробництва електричної енергії на електростанціях;
- у другому випадку, в процесі утилізації тепла, неочищений коксовий газ спалюється безпосередньо в джерелі, у коксовому реакторі з подачею необхідної кількості повітря, без необхідності у подальших стадіях утилізації. Вироблене тепло частково використовується для процесу коксування. Надлишкова енергія перетворюється на пару та/або електроенергію. Процес коксування з утилізацією тепла успішно використовується в США з 1998 року.

Перший випадок описаний більш детально нижче, так як це практика, що зазвичай застосовується в Європі.

Ще одна можливість використання очищеного коксового газу пов'язана із застосуванням його як сировини під час хімічного синтезу етанолу або для відділення водню. У Китаї знаходяться в експлуатації десятки тисяч установок для виробництва етанолу з продуктивністю від 70 до 200 тис. т/рік. Прикладом є установка компанії Shaanxi Hancheng Heimaо Coking Company. Синтез метанолу з коксового газу після стадії десульфурації в одну стадію з реактором із нерухомим шаром – це технологія, розроблена Другим проектним інститутом міністерства хімічної промисловості КНР (SEDIN), яка знаходиться в експлуатації з 2006 року.

5.1.4.1 Збір і очищення коксового газу (COG) з утилізацією побічних продуктів

Неочищений коксовий газ має порівняно високу теплотворну здатність внаслідок наявності водню, метану, монооксиду вуглецю і вуглеводнів. Крім того, в неочищеному коксовому газі містяться цінні продукти, такі як смола, світлі нафтопродукти (здебільшого складаються з ВТХ – бензену, толуолу і ксилолу), сірка та аміак. У табл. 5.1 наведено склад неочищеного коксового газу. З кількох причин коксовий газ повинен очищуватися перед використанням як палива.

Таблиця 5.1: Вихід неочищеного коксового газу та його склад

Неочищений газ	Значення	Одиниці вимірювання
Вихід	280 – 450	м ³ /т вугілля
Щільність	0,42 – 0,65	кг/нм ³
Нижча теплотворна здатність	17,4 – 20	МДж/нм ³
H ₂	39 – 65	об.-%
CH ₄	20 – 42	об.-%
C _x H _y ⁽¹⁾	2,0 – 8,5	об.-%
CO	4,0 – 7,0	об.-%
H ₂ S	4 – 12	г/нм ³
CO ₂	1 – 3	об.-%
BTX	20 – 30	г/нм ³
NH ₃	6 – 8	г/нм ³
PAH	NA	мг/нм ³

⁽¹⁾ C_xH_y – це переважно етилен і етан. Іншими є циклопентадієн, пропан, пропілен, бутан, ацетилен та пентен. Гудрон, дьогтьова кислота (C_xH_yOH), азотисті основи кам'яновугільного дьогтю (C_xH_yN), важкі вуглеводні та неочищені легкі фракції видаляються як рідкі продукти під час охолодження. Кисень, азот і водяні пари також з'являються у складі неочищеного коксового газу. З'являються також PAH (наприклад, нафталін, фенантрен, бензопірен), сполуки азоту (наприклад, піридин, HCN, (CN)₂ та NO₂) і сполуки сірки (наприклад, COS, CS₂, тіофен).

Примітка: — Усі наведені дані ґрунтуються на виході сухого вугілля.

— NA – немає даних.

Джерело: [65, InfoMil, 1997] [206, Дімер та ін., 2004] [223, USEPA, 2001] [276, Італія, 2007] [320, Eurofer, 2007] [322, Eurofer, 2007].

Склад коксового газу залежить від часу коксування і складу вугілля. Наведені дані стосуються сухої і беззольної маси. Смола та нафталін в неочищеному газі можуть засмічувати трубопроводи та обладнання і повинні віддалятися першими. На кожну тону виробленого коксу можна утилізувати приблизно від 25 до 45 кг смоли [223, USEPA, 2001]. Деякі продукти можуть бути утилізовані зі смоли, наприклад бітумний пек, антраценове масло, нафталінове масло, промивне масло, фенольне масло (фенол) та легкі фракції [320, Eurofer, 2007].

Сполуки сірки та аміак викликають корозію трубопроводів та обладнання, а сполуки сірки повинні викликати викиди SO₂, якщо неочищений коксовий газ використовується як паливо. На кожну тону виробленого коксу утворюється приблизно 3 кг аміаку та 2,5 кг H₂S.

У деяких випадках BTX утилізуються з неочищеного коксового газу як цінні побічні продукти. Можна утилізувати до 15 кг легких фракцій на тону виробленого коксу. Ця фракція містить бензен, толуол, ксилол, неароматичні сполуки, гомологи ароматичних сполук, фенол, піридинові основи та інші органічні сполуки, такі як поліциклічні ароматичні вуглеводні (PAH).

Рис. 5.8. В роботі наведено дані про типову установку для очищення коксового газу з відновленням побічних продуктів. Основні стадії технологічного процесу описані нижче.

Розділ 5

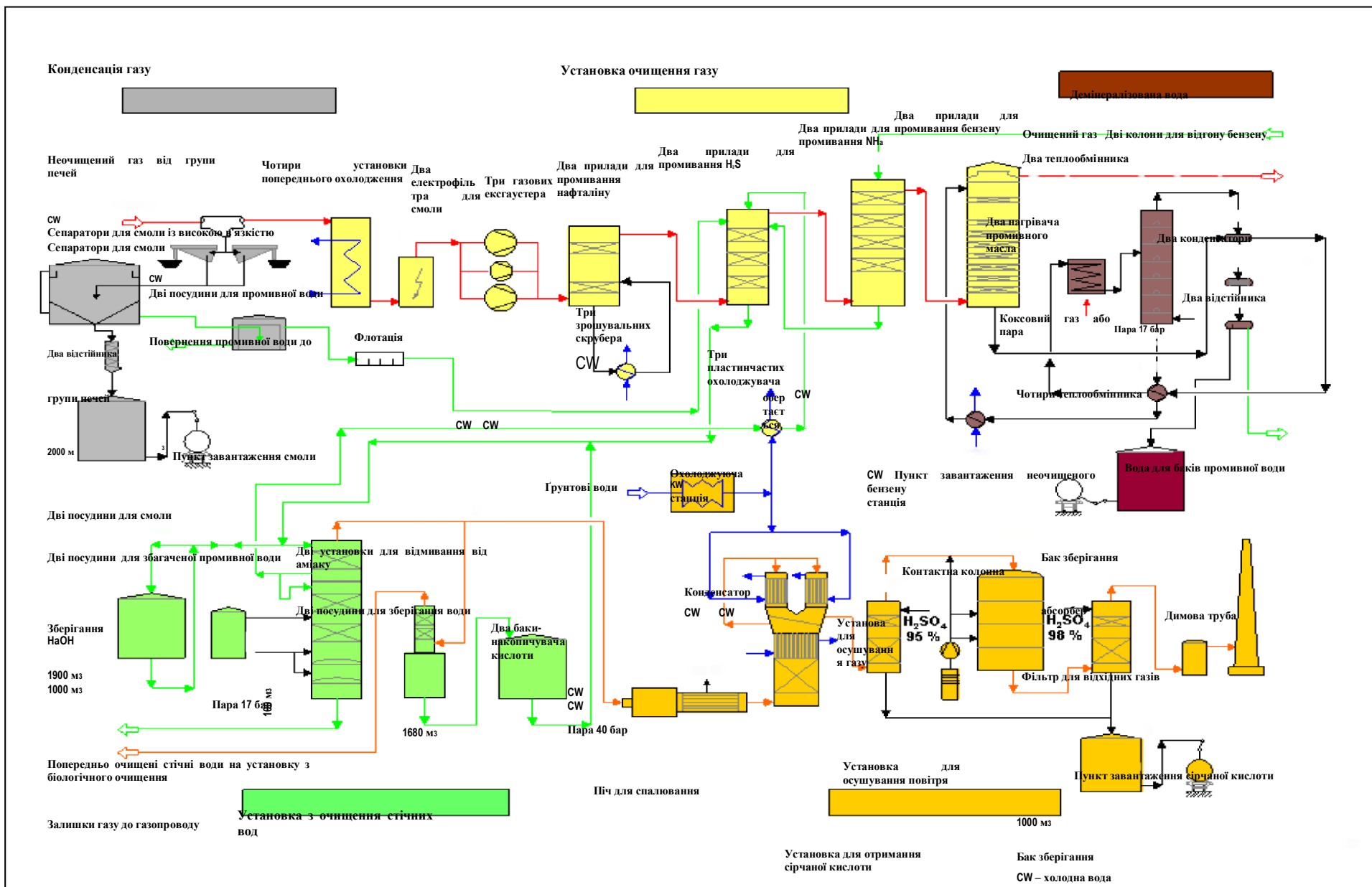


Рис. 5.8. Видача готового коксу з коксової печі в коксогальний вагон із зазначенням викидів

5.1.4.2 Охолодження газу

Гарячий неочищений коксовий газ потрапляє в підйомну трубу з температурою приблизно 1 000 С. Охолодження газу проводиться за допомогою різних рідин. На рис. 5.9 наведена принципова схема з прикладом потоків води у батареї коксових печей. Однак існує багато інших альтернативних схем.

У зігнутій S-подібній трубі газ безпосередньо охолоджується рідким водоаміачним розчином до температури насиченої пари приблизно 80 С. Для цього потрібно 2 – 4 м³ водоаміачного розчину на кожен тону карбонізованого вугілля.

Рідка фаза, яка утворюється за допомогою відпрацьованого водоаміачного розчину та конденсату вологого вугілля, а також гідратна вода подаються в сепаратор смоли та води, в той час як газова фаза подається в первинні охолоджувачі. Вона зазвичай використовується для первинних охолоджувачів, які працюють як відкриті системи. Зараз частіше застосовується непряме охолодження з використанням замкненої системи охолодження. Коли є достатня кількість охолоджувальної води з потрібною температурою, газ можна охолодити до температури нижче 20 С, з урахуванням помірної навколишньої температури. За цих умов велика частина сполук із підвищеною точкою кипіння і води з парової фракції газу буде конденсуватися [320, Eurofer, 2007].

Краплі та частинки осідають в наступних електрофільтрах для смоли перед тим, як газ буде подаватися на ділянку промивання за допомогою ексаустерів (відсмоктуючих вентиляторів). Іноді електрофільтри для смоли встановлюються після ексаустерів. Осад від електрофільтра для смоли також направляється до сепаратора для поділу смоли та води.

Пилорозділні вентилятори викликають стиснення газу, і навіть якщо вентилятори такі, що це тільки незначне стиснення, відповідне зростання температури не може бути припустимим з погляду умов подальшого технологічного процесу. Це робить важливим використання «кінцевих охолоджувачів».

Кінцеві охолоджувачі можуть бути непрямыми або прямими (безпосередніми). Коли використовується безпосереднє охолодження, охолоджувальна вода абсорбує домішки з коксового газу. Відповідно, наприкінці циклу охолодження, протягом поворотного потоку за умов використання природної тяги або охолоджувачів із вентилятором неминуче утворення викидів. Саме тому закриті системи зазвичай бувають кращими для кінцевого охолодження, хоча відкриті системи все ще експлуатуються на деяких установках [320, Eurofer, 2007].

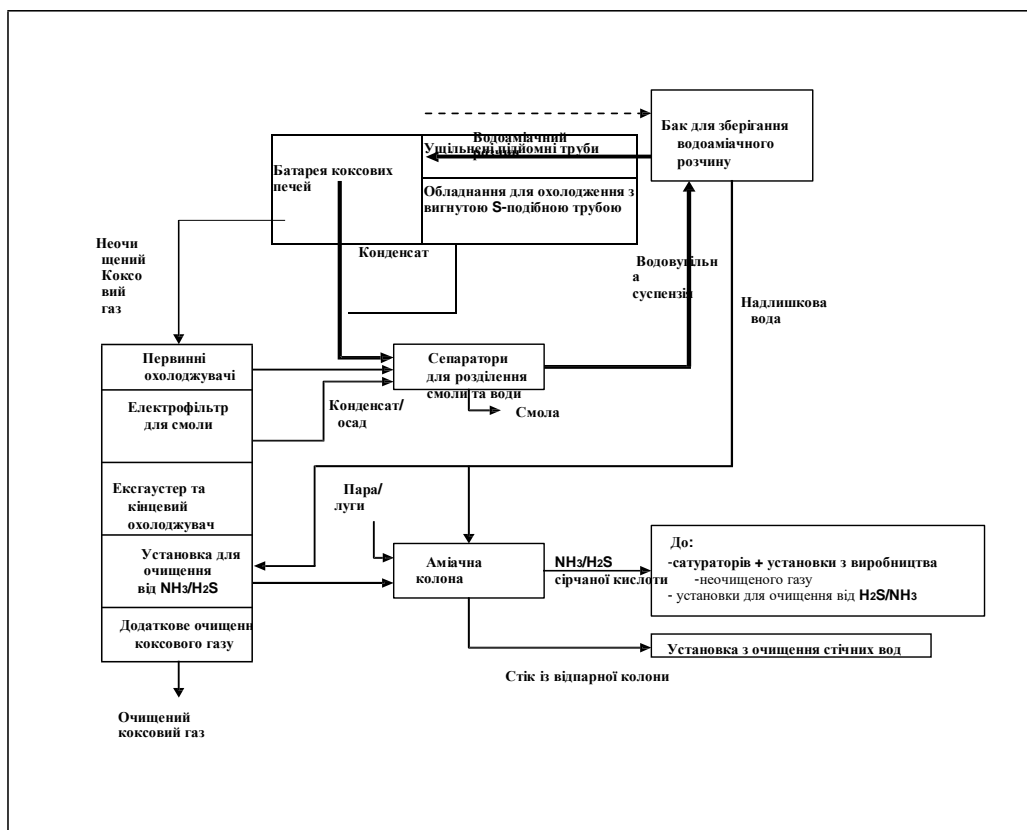


Рис. 5.9. Принципова схема з прикладом потоків води в коксовій печі

5.1.4.3 Утилізація кам'яновугільної смоли з коксового газу

Велика частина води та вуглеводнів із високою точкою кипіння конденсується під час охолодження коксового газу. Конденсат із трубопроводів та електрофільтра для смоли подається до сепаратора для відділення смоли від води, де смола утилізується. Водна фаза відділяється як «водовугільна суспензія» і направляється до посудин для зберігання водоаміачного розчину. Звідси надлишкова вода прямує до аміачної колони або до пристрою для промивання від H_2S .

Іноді встановлюють брудозійники для видалення залишків кам'яновугільної смоли (смола з високою в'язкістю). У цій кам'яновугільній смолі можуть міститися помітні кількості РАН, і вона зазвичай повертається на подачу вугілля [320, Eurofer, 2007].

5.1.4.4 Десульфурація коксового газу

У коксовому газі містяться сульфід водню (H_2S) та різні сіркоорганічні сполуки (дисульфід вуглецю – CS_2 , сірководоксид вуглецю (COS), меркаптани тощо). Всі мокрі технології десульфурації, що використовуються, є високоефективними для видалення H_2S . Вони є менш ефективними для видалення сіркоорганічних сполук. Комерційні процеси десульфурації коксового газу можна розділити на дві категорії:

- процеси з використанням мокрого окислення з утворенням елементарної сірки (S^0)
- процеси, в яких абсорбується і віддаляється сульфід водню (H_2S) для подальшої конверсії у сірчану кислоту (H_2SO_4) або елементарну сірку.

У всіх процесах мокрого окислення використовується окислювально-відновний каталізатор для полегшення мокрого окислення сульфідів водню до елементарної сірки або сульфату. Всі ці процеси характеризуються дуже ефективним видаленням сульфідів водню (ефективність >99,9 % для досягнення остаточних концентрацій H_2S порядку 1 – 10 мг/нм³ залежно від концентрації на вході), але є недолік у зв'язку з одержанням сильно забруднених стічних вод та/або повітря, що робить розроблення установок для очищення необхідною частиною процесу [153, UN-ECE, 1990] [320, Eurofer, 2007].

Процеси абсорбції/відділення характеризуються зазвичай зниженим рівнем видалення H_2S (досягаються залишкові концентрації H_2S на рівні <1 000 мг/нм³, залежно від концентрації на вході), але оскільки повітря не включено до системи регенерації та не використовуються токсичні каталізатори, викиди в повітря та скиди у воду хімічних реагентів, що стосуються процесів, мінімізовані або відсутні. В рамках процесів може виходити сірчана кислота (установка з виробництва сірчаної кислоти) або елементарна сірка дуже високого ступеня чистоти (установка Клауса). Подальший розвиток абсорбційних процесів, таких як оптимізований процес OxyClaus® або процес ASK (газоочищення з використанням сульфідів амонію), за допомогою яких досягається ефективність десульфурації >95 % із залишковою концентрацією H_2S у коксовому газі зазвичай в діапазоні від 50 до 500 мг/нм³.

Зазвичай комбінують процес видалення NH_3/H_2S на стадії низького тиску з очищенням карбонатом натрію (вакуум-карбонатний спосіб) на стадії високого тиску, в поєднанні з промиванням від ВТХ або за низького, або за підвищеного тиску. Очищення з використанням карбонату калію, як при низькому, так і при високому тиску з промиванням від ВТХ також є поширеним способом.

5.1.4.5 Утилізація аміаку з коксового газу

Аміак, що утворюється протягом коксування, з'являється як у коксовому газі, так і в конденсаті з газу (слабкий луг). Зазвичай у слабкому лузі знаходиться від 20 до 30 % аміаку.

Процеси, описані нижче, застосовуються в промисловому масштабі для видалення аміаку з коксового газу:

- система очищення від NH_3/H_2S : в цьому процесі аміак видаляється з коксового газу в аміачному скрубєрі з використанням води або розбавленого розчину для промивання як рідини для змочування в скрубєрі. Стоки від аміачного скрубєра використовуються як рідина для скрубєра H_2S . В стоках від скрубєра H_2S містяться H_2S і NH_3 , і вони направляються на відпарювальну аміачну колону і дистиляцію. Цей процес відомий також як процес Carl Still, Diamex, або ASK, який стосується очищення за допомогою сульфідів амонію. У деяких скрубєрах використовують насадки колони для системи очищення [204, Нойвірт та ін., 2003] [320, Eurofer, 2007]
- безпосередня утилізація як сульфату амонію $((NH_4)_2SO_4)$: можливе використання двох типів процесів:
 - абсорбер фірми Otto і процес Вілпутт із керованим зростанням кристалів: в обох системах у коксовий газ впорскують розбавлений розчин сірчаної кислоти та отримують сульфат амонію;
 - безпосередня утилізація безводного аміаку (NH_3): утилізація аміаку з газу у вигляді безводного аміаку була розроблена компанією United States Steel Corporation під назвою USS PHOSAM. У цьому процесі аміак очищується з коксового газу за допомогою протиточного контакту зі слабким розчином фосфату амонію. Ефективність видалення аміаку становить 98-99 % [153, UN-ECE, 1990].

5.1.4.6 Утилізація легких фракцій з коксового газу

У газі, що виходить з аміачного скрубера міститься легка фракція, світле жовто-коричневе мастило з порівняною щільністю 0,88. Це суміш продуктів коксового газу з точками кипіння в більшості випадків від 0 до 200 °С, які утримують близько сотні складових. Велика їх частина знаходиться у таких низьких концентраціях, що їх утилізація рідко практикується. На легку фракцію зазвичай посилаються як на ВТХ. Основними корисними складовими є бензен (60-80 %), толуол (6-17 %), ксилол (1-7 %) та нафта (0,5-3 %). Використовується чотири основні методи для утилізації легких фракцій [153, UN-ECE, 1990]:

- охолодження та стиснення до температури нижче -70 °С і тиску 10 гПа;
- адсорбція твердими адсорбентами, коли легка фракція видаляється з газу під час його проходження через шар активованого вугілля та відбувається утилізація легкої фракції з вуглецю при нагріванні (непрямому або безпосередньому) паром [320, Eurofer, 2007]
- абсорбція розчинниками, що складається з промивання коксового газу промивним мастилом, фракцією кам'яновугільної смоли або іншим абсорбентом, з подальшою паровою дистиляцією збагаченим абсорбентом для утилізації легкої фракції.

5.1.5 Потоки води з коксової печі та установок для отримання побічних продуктів

На рис. 5.9 наведено приклад можливих потоків води на коксогазовому заводі. Однак існує багато інших альтернативних схем.

Основні потоки води, які повинні відводитися з коксової печі, є результатом використання пари або водоаміачного розчину, які застосовуються у зігнутий S-подібній трубі для відсмоктування і безпосереднього охолодження гарячого газу, вологості вугілля та «хімічної» води (яка утворюється протягом процесу коксування).

Додатковий конденсат утворюється під час очищення коксового газу в коксохімічному цеху в разі безпосереднього охолодження, в електрофільтрі та у скруберах.

Конденсована вода і смола з головного трубопроводу (розташованого за зігнутою S-подібною трубою), охолоджувачів та електрофільтра направляється до сепаратора поділу смоли від води.

Первинне охолодження може проводитися безпосередньо, але зазвичай використовується непряме охолодження. У разі непрямого охолодження вода циркулює у замкненому циклі, і вона не повинна впливати на кількість стічних вод. У разі безпосереднього охолодження газу охолоджувальна вода вважається промивною рідиною та в кінцевому підсумку видаляється через систему відгону.

Під час повторного охолодження охолоджувальної води відбуваються втрати води, яка конденсується завдяки випаровуванню охолоджувальної води.

Вода із сепаратора для розділення води від смоли називається «водовугільною суспензією» та містить високі концентрації аміаку, і вона направляється до баку для зберігання водоаміачного розчину.

Бак для зберігання водоаміачного розчину є джерелом води для обладнання, що використовується для впорскування у вигнуту S-подібну трубу.

Надлишкова вода з баку для зберігання водоаміачного розчину направляється до відпарювальної аміачної колоні [320, Eurofer, 2007] або до пристрою для відмивання від H₂S [102, Eurofer, 2008]. Разом із частинами пари, що використовується у

відпарювальній аміачній колоні, та скруберною рідиною із системи очищення від $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{S}$ ця вода, згідно з даними табл. 5.2, є, власне, стічними водами.

Слід зазначити, що зазвичай всі потоки води, за винятком води із систем непрямого охолодження і систем мокрої окислювальної десульфурації, в кінцевому підсумку відводяться з аміачної колони і направляються на установку для очищення стічних вод.

Висока концентрація NH_3 характерна для аміачних колон. Є декілька причин для зниження концентрації аміаку перед відведенням води на установку для очищення стічних вод або у навколишнє середовище, зокрема:

- аміак можна утилізувати як цінний побічний продукт (як сульфат амонію або безводний аміак)
- вільний аміак має високу токсичність для водних екосистем (включаючи установки для біологічного очищення стічних вод)
- аміак має дуже високу питому потребу в кисні (для його окислення до нітратів потрібно в 4,5 рази більше кисню за вагою). Отже, існує ризик виснаження кисню в очисних спорудах або у приймаючій воді.

Ці причини призвели до встановлення відпарювальних аміачних колон майже на всіх коксових заводах. У цьому пристрої відокремлюються H_2S і NH_3 від рідини за допомогою добавок пари та луку. Пари потім направляються до скрубера для очищення коксового газу від $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{S}$ (для підвищення ефективності очищення від H_2S) або до цеху з виробництва сірчаної кислоти, де H_2S і NH_3 спільно спалюються. Іноді NH_3 видаляється з цих парів у сатураторах, з виробництвом сульфату амонію [320, Eurofer, 2007].

Найчастіше як луг використовують каустичну соду (NaOH). У минулому часто використовували гашене вапно (CaOH_2).

Деякі можливі потоки води, які не були зазначені на рис. 5.9, включають:

- стічні води від утилізації ВТХ, які направляються на сепаратор для відділення смоли від води;
- фенол (із концентрацією >3 г/л), який можна утилізувати з водовугільної суспензії за допомогою процесу рідинної екстракції перед тим, як водовугільна суспензія буде направлена до збірного баку з водоаміачним розчином;
- стічні води від процесів окисної десульфурації, які зазвичай скидаються окремо після попереднього очищення;
- хімічно зв'язану воду від (факультативної) установки для виробництва сірчаної кислоти, яка зазвичай направляється до аміачних колон коксохімічного виробництва;
- хімічно зв'язану воду від (факультативного) процесу Клауса, яка зазвичай не повинна конденсуватися, а, натомість, скидається в атмосферу через димову трубу [21, EC Coke, 1996]. Альтернативою є впорскування цієї води в неочищений газ перед очищенням;
- вода для непрямого охолодження газу, яка рециркулює і яка не повинна впливати на кількість стічних вод. У разі безпосереднього охолодження газу охолоджувальна вода вважається промивною рідиною та в кінцевому підсумку видаляється через систему відгону.

5.2 Поточний рівень викидів і споживання

5.2.1 Огляд масових потоків і даних споживання та виробництва

На рис. 5.10 наведено огляд вхідних і вихідних масових потоків для коксохімічного виробництва. Цей огляд можна використовувати для збору даних, що стосуються окремих коксогазових заводів.

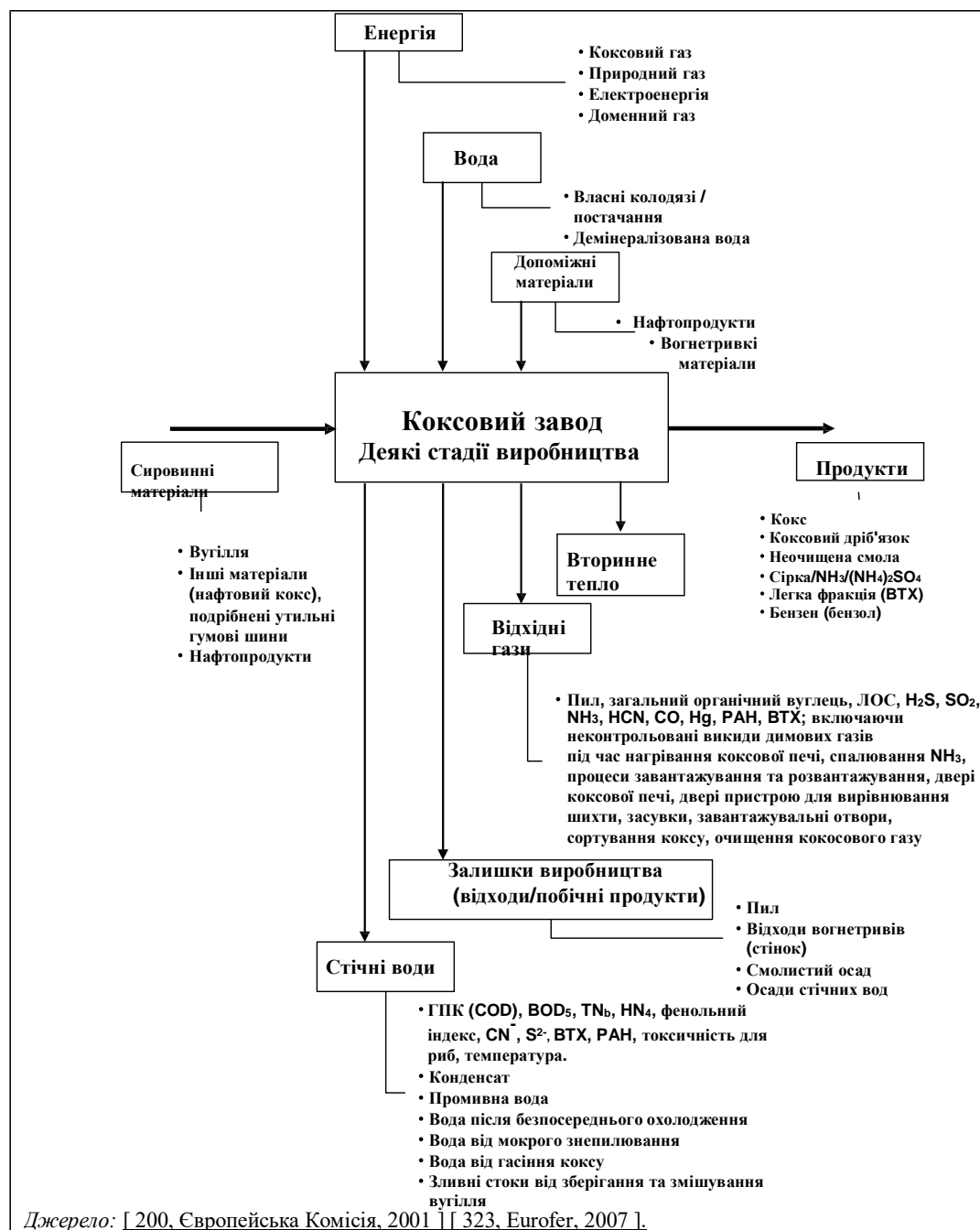


Рис. 5.10. Загальне уявлення про масові потоки для коксового заводу

Для коксогазових заводів були визначені питомі вхідні фактори і коефіцієнти викидів. Питомі виробничі фактори та коефіцієнти викидів для коксогазових заводів у різних державах-членах ЄС за 2005 рік, доповнені іншими посиланнями, наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2: Вхідні та вихідні дані для коксових заводів у різних країнах-членах ЄС за 2005 рік, доповнені іншими посиланнями

Вхід			Вихід		
Сировинні матеріали			Продукти		
Вугілля (сухе)	кг/т коксу	1 220 – 1 350	Кокс (сухий)	кг/т	1 000,0
Енергія			Коксовий газ	нм ³ /т коксу	360 – 518
Доменний газ + коксовий газ	МДж/т коксу	3 200 – 3 900	Нетто теплотворна здатність коксового газу	кДж/нм ³	17 000 – 18 000
Електроенергія	МДж/т коксу	20 – 230 ⁽¹⁾	Енергія	МДж	7 200 – 9 000
Пара			Пара ⁽²⁾	МДж/т коксу	9 – 267/1 500 ⁽⁴⁾
Викиди у повітря ⁽⁵⁾			Пил	г/т коксу	15,7 – 298 ⁽¹⁾
Стиснене повітря	нм ³ /т коксу	1 – 15	SO _x ⁽³⁾	г/т коксу	80 – 900 (2 820) ⁽⁷⁾
Кисень	нм ³ /т коксу	0,0007	NO _x	г/т коксу	336 – 1 783 ⁽¹⁾
Азот ⁽⁸⁾	нм ³ /т коксу	0,0047	NH ₃	г/т коксу	0,5 – 24,7
Ацетилен	г/т	0,24	H ₂ SO ₄	г/т коксу	2 ⁽⁹⁾
Вода			H ₂ S	г/т коксу	0,05 – 1,87
Технічна вода ⁽¹⁰⁾	м ³ /т коксу	0,24 – 1,5	H ₂ S	г/т коксу	12 – 100 ⁽¹⁾
Охолоджувальна вода ⁽¹¹⁾	м ³ /т коксу	0,5 – 1	CO	г/т коксу	200 – 4 460 ⁽¹⁾
			CO ₂	кг/т коксу	160 – 860 ⁽¹²⁾
			CH ₄	г/т коксу	1 – 80 ⁽¹³⁾
			Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	г/т коксу	12 – 24 ⁽²⁾
			Бензен (бензол)	г/т коксу	0,1 ⁽¹⁴⁾ – 45
			РАН ⁽¹⁵⁾	г/т коксу	115 – 1091 ⁽¹⁶⁾
			PCDD/F	нг I-TEQ/нм ³	<0,1 ⁽¹⁷⁾
			Залишки виробництва (відходи/побічні продукти)		
			Бензен (бензол)	кг/т коксу	5,3 – 14
			Легка фракція (ВТХ)	кг/т коксу	9,1 – 14
			H ₂ SO ₄ ⁽⁹⁾	кг/т коксу	4,2 – 9
			Смола	кг/т коксу	26 – 48
			(NH ₄) ₂ SO ₄ як SO ₄ ²⁻ ⁽¹⁸⁾	кг/т коксу	28 – 48
			Сірка ⁽¹⁹⁾	кг/т коксу	0,9 – 2
			Фенолят натрію	кг/т коксу	1,4
			Стічні води	м ³ /т коксу	0,1 – 0,5

(1) Високі значення для старих установок із тріщинками у стінах печей (старше 20 років).
(2) Є повідомлення про значення до 983 г/т коксу, але вони не вважаються представницькими для коксових печей в ЄС [110, Браухон, 2008].
(3) Старі установки (старше 20 років) можуть мати витрати пари 1 200 МДж/т коксу.
(4) Високі значення в разі сухого гасіння коксу (з утилізацією тепла у вигляді пари); значення 270 МДж/т коксу з двох установок, які були в експлуатації 14 та 15 років відповідно; значення 1 500 МДж/т коксу установки, яка була в експлуатації близько 7 років.
(5) Витрата газів, що відходять від батареї коксових печей з нижнім підведенням газу становить лише близько 1 000 – 1 700 м³/т коксу, залежно від потреби у повітрі для спалювання для різних паливних газів.
(6) Вміст H₂S у коксовому газі аналізувався і проводився баланс сірки. Викиди включають нагрівання з коксовим газом, спалювання неочищеного газу, гасіння, зупинки установки каталітичного крекінгу та установки Клауса і роботи старих камер горіння.
(7) Високе значення в цьому діапазоні вказує на недостатній рівень десульфурації (або відсутність).
(8) Певна кількість азоту споживається з бутлів.
(9) У разі абсорбції SO₂ та утворення H₂SO₄ як кінцевого побічного продукту.
(10) Технічна вода відповідає «загальній витраті», згаданий в табл. 5.24.
(11) Втрати води внаслідок випаровування.
(12) Залежно від виду паливних газів.
(13) Дані тільки від однієї наявної установки.
(14) Низьке значення для однієї сучасної установки (близько 5 років).
(15) РАН як EPA 16 (сума наступних 16 РАН: (Σ (FLU+PYR+TRI+CPP+BaA+CHR+BNT+BeP+BbF+BkF+BaP+DbahaA+BghiP+INP+ANT+COR))). Розраховано за вимірюваннями під час видачі коксу, гасіння та за викидами з димової труби батареї печей.
(16) Дані тільки від трьох наявних установок.
(17) Дані від однієї установки в Німеччині.
(18) У разі абсорбції SO₂ з водоаміачним розчином.
(19) У разі абсорбції SO₂ та утилізації сірки як елементарної сірки.

Джерело: [110, Браухон, 2008] [177, Eurofer, 2009] [206, Дімер та ін., 2004] [210, Браухон, 2006] [218, Донг та ін., 1988] [223, USEPA, 2001] [225, Браухон, 2006] [226, ЕЕА, 1999] [227, WB, 1998] [228, UNEP, 2001] [234, Польща, 2007] [237, USEPA, 2003] [320, Eurofer, 2007] [324, Eurofer, 2007].

Слід зазначити, що табл. 5.2 не слід використовувати для належних розрахунків, наприклад для цілей порівняльного аналізу, так як у ній містяться показники наявних та нових установок з усієї Європи, що приводить до дуже широкого діапазону коефіцієнтів викидів. Крім того, слід враховувати, що не всі оператори надали інформацію. У табл. 5.2 включені викиди тільки з димових труб та вежі гасіння коксу. Викиди в димовій трубі відбуваються при нижньому підведенні газу та в рамках об'єднання викидів під час завантаження шихти та видачі коксу, якщо таке об'єднання робиться. Сюди не включені не вловлені розсіяні або неорганізовані джерела, викликані роботою батареї або отриманням побічних продуктів.

Дані щодо викидів показують викиди після роботи системи газоочищення; в них не містяться викиди від транспортування вугілля та коксу, оскільки інформація втрачена, але ці викиди є менш значущими. Інформації про визначення таких даних, як методи відбору проб, аналізу, тимчасові інтервали, методи розрахунку і порівняльні умови, немає в повному обсязі для всіх наведених даних в цьому розділі.

У табл. 5.3 наведені коефіцієнти викидів для деяких сполук, які слід розглядати як доповнення до табл. 5.2.

Таблиця 5.3: Вихідні дані 2004 року з польської коксової печі

Розташування	Бензопірен	Піридин	Толуол	Ксилол	Фенол	CS ₂
	г/т коксу					
Спрямовані джерела викидів	0,012	2,35	0,74	0,69	5,67	0,30
<i>Джерело:</i> [234, Польща, 2007].						

5.2.2 Екологічні проблеми для процесу отримання коксу

Коксохімічне виробництво є, перш за все, джерелом викидів у повітря пилу та газів. Коли застосовуються технології боротьби із забрудненнями для зниження викидів, відбуваються взаємодії між середовищами. Загалом, пункти з 5.2.2.1 по 5.2.2.5 присвячені опису найважливіших екологічних проблем для коксохімічного виробництва.

5.2.2.1 Викиди у повітря

Слід зазначити, що коксохімічні підприємства мають порівняно велику кількість джерел викидів. Однак необхідно розрізнити такі три типи джерел викидів:

- спрямовані джерела викидів, типу димових труб для відхідних газів від батареї коксових печей або від різних установок для знепилювання, які транспортуються по трубопроводах і виходять в атмосферу через димову трубу. Їх можна очищувати і мінімізувати. Їх можна в більшості випадків вимірювати без будь-яких проблем (наприклад, відповідно до правил Союзу німецьких інженерів, VDI);
- розсіяні викиди, які відбуваються протягом звичайної роботи, наприклад під час поводження та транспортування вугілля і коксу, змішування вугілля, в підйомних трубах, під час видачі коксу та його гасіння. Якщо вони не уловлюються, то ці викиди можуть виділятися через дах, люки в даху, вікна або під час зберігання матеріалів. Мінімізація можлива тільки за допомогою попередження та/або додаткового очищення після того, як вони виявляються у спрямованих викидах (наприклад, за допомогою їх уловлювання);
- неорганізовані викиди, які відбуваються протягом нерегулярних операцій, при витоках з батареї, наприклад, внаслідок витоків з ємностей (посудин), дверей печей, фланців або на установках для переробки побічних продуктів. Для їх мінімізації основну увагу слід приділяти належному обслуговуванню. Сполуки РАН (поліциклічні ароматичні вуглеводні) типу бензопірену (BaP) та бензену (бензолу) відіграють важливу роль щодо неорганізованих викидів [320, Eurofer, 2007] [324, Eurofer, 2007].

Розсіяні та неорганізовані викиди важко кількісно оцінити.

У багатьох випадках викиди від різних джерел значно змінюються із плином часу (наприклад, напівбезперервні викиди з дверей, кришок, підйомних труб і безперервні викиди під час видачі та гасіння коксу).

При порівнянні коефіцієнтів викидів між установками слід також враховувати параметри конкретної установки. Наприклад викиди через двері змінюються в широких межах залежно від типу дверей, розміру печей та якості обслуговування. Обслуговування може бути визначальним фактором. Насправді, можна знайти приклади зі сприятливими результатами в разі традиційних (загострених) дверей на невеликих печах, що добре обслуговуються, та з поганими результатами в разі сучасних дверей коксових печей із гнучкими ущільненнями на великих печах, що погано обслуговуються. Це слід мати на увазі під час оцінки інформації про індивідуальні джерела викидів у повітря, наведеної в табл. 5.4. Широкий розкид значень для коефіцієнтів викидів можна здебільшого пояснити програмою обслуговування, рівнем обслуговування (забезпечення надійних і стабільних умов роботи) і методами очищення, що застосовуються [320, Eurofer, 2007] [324, Eurofer, 2007].

Метод оцінки викидів внаслідок витоків та зазорів у коксових печах

Внаслідок високих витрат на моніторинг витоків є дуже мало реальних даних для невловлених викидів, що викликаються роботою батареї коксових печей, як показано у табл. 5.4, в якій описана ситуація із коксовими заводами в країнах-членах ЄС за допомогою наведених коефіцієнтів викидів. Результати підтверджуються вимірюваннями з різних заводів в Європі, які відрізняються за строком роботи (з моменту введення в експлуатацію), станом ремонтних робіт, а також технологіями контролю рівня викидів. Моніторинг був проведений за допомогою капсулювання витоків, коли проби відбиралися з простору, що утворився. У той час як нижній рівень наведеного діапазону представляє викиди із сучасних установок, які своєчасно ремонтуються, більший рівень викидів стосується старих установок із поганими способами контролю викидів та/або з поганою якістю ремонту. Порівняння даних в табл. 5.4 показує, що викиди з витоків у дверях становлять найбільшу частину всіх неорганізованих викидів з батареї коксових печей. Точність цих коефіцієнтів викидів, особливо викидів ВаР, можна підтвердити за допомогою розрахунків зворотного розсіювання та одиничних вимірювань викидів із семиметрових дверей, які дають питомі викиди ВаР тільки до 10 мг/т (коксу). Однак вимірювання, проведені на дверях із найсучаснішими системами ущільнення, показали, що можна досягти викидів нижче 1 мг/т (коксу) [320, Eurofer, 2007], [324, Eurofer, 2007].

Джерелами неорганізованих викидів є підйомні труби та ущільнення завантажувальних вікон, дверцят печі та ущільнення рам в процесі коксування. додатково до прямих вимірювань неорганізованих викидів, які було описано вище, використовуються різні методи для оцінки цих неорганізованих викидів від коксових печей, і всі ці методи мають одне спільне: досвідчені або сертифіковані спостерігачі візуально визначають видимі викиди.

Досягнуті рівні викидів виражаються у вигляді частоти витоків у відсотках від загальної кількості щілин чи отворів у батареї, що демонструє видимі витоків або масу/час залежно від методу моніторингу. Наприклад метод ЕРА дає можливість отримати результати методом спостереження для вираження витоків у відсотках.

Однак методологія DMT (Deutsche Montan Technologie GmbH) (компанія «Німецькі гірські технології»), яка теж значною мірою збігається з методом ЕРА, дає змогу оцінити викиди на основі вимірів, призначивши чотири різні ступені інтенсивності викидів і з урахуванням тривалості видимих викидів протягом спостереження. Ще один метод був розроблений ВСРА (Британською асоціацією дослідження цементациї). На відміну від методу DMT видимим викидам надається п'ять різних ступенів інтенсивності. Ще один метод, який застосовує компанія Corus Ijmuiden в Нідерландах, описаний в п. 5.3.3.

Так як все ще є старі установки в Європі, які можуть знаходитися в незадовільному стані, ситуація з викидами для європейського коксохімічного виробництва може бути описана за допомогою повного діапазону коефіцієнтів, наведених в табл. 5.2. У разі тимчасових порушень реальні викиди можуть перевищувати наведений діапазон.

Значення для CO, як зазвичай повідомляються, бувають вище, ніж ті, які вказані в табл. 5.5. Концентрація викидів значною мірою пов'язана з конструкцією, строком служби і обслуговуванням камер горіння. Високі значення CO вказують на неповне спалювання, результатом якого є високі значення викидів CO через димову трубу. Зазвичай питомі концентрації викидів для CO становлять близько або нижче 1 000 г/т коксу.

Подача і підготовлення вугілля

Розсіяні викиди пилу пов'язані з операціями переміщення матеріалів. Ці операції складаються з розвантаження, зберігання, подрібнення та просіювання вугілля. Не було надано жодної інформації про викиди, викликані цими операціями.

Завантаження вугілля

Протягом завантаження пилоподібного вугілля відбуваються не тільки викиди частинок пилу, але також й викиди органічних сполук, таких як бензен і ВаР від розкладання вугілля, а також SO₂, H₂S і NH₃ [223, USEPA, 2001] [320, Eurofer, 2007], [324, Eurofer, 2007].

Концепція завантаження, а також геометрія і належне ущільнення завантажувальних вікон і систем є дуже важливими елементами в зниженні викидів при завантаженні.

При завантаженні слід розрізняти:

- викиди поблизу завантажувальних вікон протягом самого процесу завантаження;
- видалення та очищення гарячого газу;
- викиди з дверей вирівнювача протягом вирівнювання шару вугілля із планірною штангою;
- розсіяні викиди від матеріалів, що скидаються на під печі.

Показники для розсіяних або неорганізованих викидів у повітря, викликаних роботою батареї коксових печей, наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4: Коефіцієнти розсіяних або неорганізованих/неконтрольованих викидів у повітря, що викликані роботою батарей коксових печей

Операції	Викиди						
	Пил	CO	SO ₂	H ₂ S	NH ₃	Бензен (бензол)	ВаР
	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	мг/т	мг/т
Завантаження	0,3 – 10	0,1 – 71	0,01 – 1		<0,3	10 – 1 200	0,02 – 4,5
Коксування							
Двері	0,3 – 6	1,5 – 30	0,1 – 1,5	0,02 – 1	0,1 – 1,5	200 – 14 000	4,5 – 45
Кришки	0,2 – 1	1,5 – 9	0,1 – 1	<0,01	0,1 – 0,3	800 – 8 000	9 – 15
Підйомні труби(відведення)	<0,2	0,003 – 0,3	0,01 – 0,1	<0,01	<0,01	10 – 100	0,3 – 3

Джерело: [200, Єврокомісія, 2001].

Нагрівання та випал коксу в коксовій печі

Спрямовані викиди з димових труб відбуваються протягом спалювання газового палива, що використовується для нагрівання коксових печей. Викиди діоксиду сірки можуть відбуватися, якщо не буде відбуватися повна десульфурація коксового газу. У коксовому газі містяться ароматичні компоненти (в першу чергу, ВТХ, як показано в табл. 5.1).

Якщо коксовий газ використовується без очищення, ці ароматичні сполуки схильні до утворення сажі (в якій містяться РАН) [213, Бітнер та ін., 1983] [214, Ріхтер та ін., 2000].

Одним джерелом неорганізованих викидів із коксових печей, які викликають заклопотаність населення, є викиди з димових труб батареї коксових печей з утворенням чорного диму. Такого роду викиди викликаються неповним спалюванням газового палива, що використовується для нагрівання коксових печей, або витоками з простінок коксової батареї. У цьому випадку продукти розкладання вугільного дріб'язку та коксу можуть просочуватися з коксової печі до газів, що спалюються.

У таблиці 5.2 наведені коефіцієнти викидів NO_x в діапазоні від 336 до 1 783/т коксу. Для наявних сучасних печей, в яких уже впроваджені технології з низькими викидами NO_x , такі як спалювання із ступінчастою подачею повітря та рециркуляція димових газів, концентрації NO_x становлять 322 – 414 мг/нм^3 при 5 % O_2 . Для наявних установок без систем DeNO_x , вбудованих у рамках технологічного прогресу, рівні для NO_x , що досягаються, знаходяться у верхній частині діапазону до 1 783 г/т коксу, з концентраціями до 1 700 мг/нм^3 при 5 % O_2 .

У табл. 5.5 наведені дані щодо викидів для концентрацій спрямованих викидів на коксогазових заводах в Німеччині і Чеській Республіці.

Таблиця 5.5: Концентрація викидів на коксохімічних заводах у Німеччині та Чеській Республіці

Розташування	Пил	CO	NO_x	SO_x	PCDD/PCDF
	мг/нм^3				нг I-TEQ/нм^3
Спалювання в коксовій печі ⁽¹⁾	0,8 – 4,8	20	322 – 414	111 – 157 ⁽²⁾	0,001
Видача коксу	0,9 30 ⁽³⁾				
Установка для сортування коксу	0,5 – 4,5 100 ⁽³⁾				

(1) Дані для використання змішаного газу, коксового газу або коксового газу, який піддає десульфурації на двох коксохімічних заводах.
(2) Значення після десульфурації коксового газу.
(3) Чеські дані [372, чеський член ТРГ, 2008].
Примітка: Всі дані є середньорічними. Значення концентрацій для твердих частинок (пилу), оксидів азоту і сірки при 5 % кисню.
Джерело: [220, Eurofer, 2008] [244, Плікерт, 2007] [372, чеський член ТРГ, 2008]

Викиди від спалювання коксового газу на свічці або байпасування коксового газу

У рідкісних випадках виробництво коксового газу перевищує потребу. У цих випадках та з причин безпеки надлишок коксового газу повинен спалюватися на свічці. При цьому утворюються викиди. Оцінка для одного прикладу представлена в табл. 5.6 [223, USEPA, 2001].

Таблиця 5.6: Оцінка викидів від спалювання коксового газу на свічці

Параметр	Викиди	Одиниці вимірювання
CO	2,4	кг/т
CO ₂	390	кг/т
H ₂ S	0,05	кг/т
Важкі вуглеводні	0,85	кг/т
SO ₂	6,5	кг/т

Джерело: [223, USEPA, 2001].

Подача коксового газу байпасом також буває необхідна в зв'язку з обслуговуванням установки для виробництва сірчаної кислоти. Протягом таких періодів неочищений коксовий газ використовується як паливо для підігріву коксової печі, що призводить до зростання викидів SO₂.

Коксування

Процес коксування починається негайно після завантаження вугілля. Додатково до вологості вугілля утворюється коксовий газ. Загальна кількість летких сполук становить близько 25 % [320, Eurofer, 2007]. Цей коксовий газ виходить по підйомній трубі до газоходу. Внаслідок позитивного тиску (10 – 15 мм вод. ст. для печей із висотою 5 – 7 м) в камерах коксових печей, можуть бути розсіяні та неорганізовані викиди із завантажувальних вікон та підйомних труб, а, крім того, трапляються тріщини у стінах, викиди від неповного спалювання коксового газу з нагрітими газами. На рис. 5.6 показані основні джерела викидів протягом коксування. У таблиці 5.4 наведені діапазони для відповідних коефіцієнтів викидів протягом процесу коксування.

Видача коксу

Перед видачею двері печі автоматично забираються. В кінцевому підсумку готовий кокс видаляється з печі за допомогою коксовиштовхувача в «коксogasильний вагон». Пристрій для виштовхування коксу оснащений капотом. Викиди протягом видачі коксу збираються коксовиштовхувачем за допомогою адекватної системи відведення. Згодом газ очищується від пилу у відповідному пристрої.

У випадках, коли застосовуються рукавні фільтри, необхідно виникнення пробивної іскри в електрофільтрі перед рукавним фільтром. На одній установці спостерігали дуже низьку концентрацію пилу, що становила 1 мг/нм³ (див. табл. 5.5) [244, Плікерт, 2007].

Гасіння коксу

Гасіння гарячого коксу холодною водою створює термічний удар із виділенням твердих частинок з гарячого коксу. Пари води від води, нагрітої протягом контакту з гарячим коксом, піднімаються від погашеного коксу і тягнуть угору пил із маси коксу. Крім того, розчинені тверді частинки з охолоджувальної (загартувальної) води також можуть вилучатися із пари, що піднімається від гасильної вежі. Для процесу гасіння основними компонентами викидів є пил, CO, NH₃ та H₂S. Крім того, можуть виділятися залишкові кількості різних органічних сполук, особливо, коли вугілля не повністю коксується. Викиди від гасіння знаходяться в діапазоні, наведеному в табл. 5.7. Гасильні вежі можуть бути оснащені розпилювальною системою для придушення утворення пилу.

Таблиця 5.7: Коефіцієнти викидів для спрямованих викидів від коксогасильної установки

Розташування	Пил	СО	Н ₂ S	NH ₃
	(г/т коксу)			
Гасіння коксу	10 – 50 ⁽¹⁾	100 – 2 000	25 – 150	1 – 8
⁽¹⁾ Значення для пилу залежать значною мірою від виду зразків самої пилу. Результатом кінетичного методу відбору проб є підвищені значення викидів.				
Джерело: [109, Хайн, М. та ін., 2000] [200, Єврокомісія, 2001]				

Транспортування коксу

Зазвичай після гасіння кокс переміщується в окрему будівлю для дроблення і просіювання. При цьому відбуваються викиди твердих частинок, що необхідно попередити, і для цього потрібно додаткове очищення. Використання циклонів може знизити викиди до 3 г/т коксу. Концентрація викидів пилу як середньорічне значення після рукавного фільтра перебувала в діапазоні від 0,5 до 4,5 мг/нм³, відповідно, на двох установках (див. табл. 5.5) [244, Плікерг, 2007]. При переміщенні коксу після гасіння утворюється більше пилу, ніж при переміщенні коксу мокрого гасіння [276, Італія, 2007], [320, Eurofer, 2007], [321, Eurofer, 2007].

Очищення коксового газу і переробка побічних продуктів

Викиди від переробки побічних продуктів на кшталт легкої фракції, смоли, нафталіну, фенолу та аміаку – це, перш за все, органічні сполуки. Зазвичай установки коксохімічного виробництва характеризуються замкнутими процесами. Неорганізовані викиди пов'язані з витоками, наприклад від насосів, запірних пристроїв, ексгаустерів, пристроїв скидання тиску та із втратами під час транспортування. На основі вимірів можна знайти деякі дані для оцінки неорганізованих викидів від коксохімічного виробництва (див. табл. 5.8).

Таблиця 5.8: Коефіцієнти викидів для випадку неорганізованих викидів від установок коксохімічного виробництва

Розташування	Бензен (бензол)	ВаР	РАН
	(мг/т коксу)		
Коксохімічне виробництво	100 – 24 000 ⁽¹⁾ 4 000 – 26 000 ⁽²⁾	0,06 – 0,09	1,5 – 4,5
⁽¹⁾ Вищі значення для установок без регулювання складу коксового газу.			
⁽²⁾ Дані для коксохімічних виробництв США відповідно до таблиць C54-C57 [237, USEPA, 2003]			
Джерело: [200, Єврокомісія, 2001] [237, USEPA, 2003]			

Оцінки зроблені для установок із використанням максимально доступних технологій контролю викидів (МАСТ). Прикладами таких технологій є ущільнюючий газ, газовий баланс або вловлювання парів. Для установок, що не використовують технології МАСТ, викиди можуть бути значно вищими. Для деяких установок повідомляли дані щодо річних викидів бензену, які знаходяться в діапазоні від 200 до 320 т.

Одним із методів для опису процедур вимірювання летких органічних сполук у разі неорганізованих викидів є метод ЕРА 21. Повна методологія для повного обліку витоків і додаткового управління неорганізованими викидами описана в роботі [216, Сніфферс та ін., 2006].

5.2.2.2 Споживання води та стічні води

На рис. 5.9 наведено приклад можливих потоків води на коксогазовому заводі. Однак існує багато інших альтернативних схем.

Споживання води

[320, Eurofer, 2007] [325, Eurofer, 2007].

Використовується широкий діапазон процесів і варіантів для подальшої переробки коксового газу. Кількість стічних вод, що утворюються на установці для очищення газу, залежить від потреби у воді, наприклад у парі, додаванні свіжої води у промивну рідину, розведення води тощо.

Суттєва частина води, яка повинна відводитися з процесу коксування, це частка вологи у вугіллі з коксової печі. Середня місткість вологи у вугіллі становить від 8 до 15 %, тобто 0,08 –

0,15 м³/т вугілля. Отже, в разі репрезентативного виходу коксу 780 кг коксу/т вугілля буде вироблятися води від 0,1 до 0,17 м³/т коксу.

При термічному розкладанні вугілля утворюється додаткова вода. Залежно від якості вугілля, утворюється від 3 до 5 мас. % «хімічно зв'язаної води», що відповідає 0,03 – 0,05 м³/т вугілля, або 0,04 – 0,06 м³/т коксу.

Якщо застосовується впорскування пари для аспірації (охолодження і відсмоктування гарячої суміші газів), конденсація цієї пари призведе до додаткового утворення води в первинних охолоджувачах. Конденсат також є частиною стічних вод у коксогазовому цеху.

Конденсована вода і смола з головного трубопроводу (розташованого за зігнутою S-подібною трубою), охолоджувачів та електрофільтра направляється до сепаратора поділу смоли від води, де відділяється «водовугільна суспензія» [21, EC Coke, 1996]. Ця вода подається до баку для зберігання водоаміачного розчину. Цей бак є джерелом води для обладнання із впорскування зігнутої S-подібної труби. Надлишкова вода з баку для зберігання водоаміачного розчину направляється до відпарювальної аміачної колонії [320, Eurofer, 2007] або до пристрою для відмивання від H₂S [102, Eurofer, 2008]. Разом із частинами пари, що використовуються у відпарювальній аміачній колонії, ця вода належить до технічної води згідно з табл. 5.2.

Охолоджувальна вода

[320, Eurofer, 2007]

Охолодження з використанням води включає:

- безпосереднє охолодження гарячого неочищеного коксового газу із використанням водоаміачного розчину;
- додаткове первинне охолодження неочищеного коксового газу (непряме або пряме);
- додаткове охолодження (непряме);
- вторинне охолодження конденсату або води від непрямого охолодження.

Для безпосереднього охолодження коксового газу в зігнутій S-подібній трубі зазвичай використовується від 6 до 10 м³ водоаміачного розчину/т коксу в замкненому циклі. У разі коксового заводу з продуктивністю від 100 до 300 т/год це еквівалентно 600 – 3 000 м³ водоаміачного розчину на годину.

Зазвичай велика частина охолоджувальної води використовується для непрямого охолодження. У разі непрямого первинного охолодження при очищенні коксового газу вода рециркулює в замкненому контурі, і вона не повинна впливати на кількість стічних

вод. У разі безпосереднього охолодження газу охолоджувальна вода повинна розглядатись як промивна рідина, і вона в кінцевому підсумку видаляється через аміачну колону.

Під час повторного охолодження охолоджувальної води відбуваються втрати води, яка конденсується завдяки випаровуванню охолоджувальної води, наприклад у баштових охолоджувачах. Кількість свіжої води для заміщення випаровування і втрат зі стоків від вторинного охолодження становить приблизно 6 – 10 м³/год, що еквівалентно 1 – 2 % води, що споживається.

Управління охолоджувальною водою на коксовому заводі здебільшого залежить від місцевих умов, перш за все, від наявності прісної води та від вимог законодавства. Законодавчі обмеження місцевих органів влади в деяких країнах вимагають запобігання утворенню факелів стічних вод або утворенню технічного снігу протягом зимового періоду від градирень для охолодження оборотної води, що заважає додатковому рециклінгу охолоджувальної води. У таких випадках для прямої системи охолодження потреба в охолоджувальній воді складе 17 м³/т коксу.

Стічні води на коксохімічному заводі

[227, WB, 1998]

Бак для зберігання водоаміачного розчину є джерелом води для обладнання, що використовується для впорскування у вигнуту S-подібну трубу. Надлишкова вода з баку для зберігання водоаміачного розчину направляєється до відпарювальної аміачної колони [320, Eurofer, 2007] або до пристрою для відмивання від H₂S [102, Eurofer, 2008]. Разом із частинами пари, що використовується у відпарювальній аміачній колоні, та скруберною рідиною із системи очищення від NH₃/H₂S ця вода, згідно з даними табл. 5.2, є, власне, стічними водами. Питоме споживання стічних вод для установки, згаданих в табл. 5.9, становить від 0,31 до 0,69 м³/т коксу.

Після видалення аміаку за допомогою дистиляції (див. «стоки від відпарювальної колони» на рис. 5.9) у стічних водах містяться різні органічні сполуки (зокрема, феноли) та неорганічні сполуки (зокрема, залишковий аміак та ціаніди). Ці сполуки чинять негативний вплив на приймаючі води за умов безпосереднього скидання. Саме тому стоки від відпарювальної колони зазвичай очищуються на установці для очищення стічних вод перед скиданням.

Дані, які стосуються складу та кількості стічних вод перед очищенням, можуть значно відрізнятись між установками, як з погляду концентрації, так і з погляду навантаження на тону виробленого коксу. Основними причинами великих відмінностей є системи очищення газу, тип процесів завантаження і тип вугілля на індивідуальних коксогазових заводах. Для вугілля, яке використовується для завантаження із трамбуванням шихти, характерний переважно підвищений вміст вологи, так як вони демонструють кращі характеристики протягом ущільнення перед завантаженням.

У випадках, коли застосовуються підйомні труби з гідравлічним ущільненням, має місце невелике споживання води внаслідок втрат на випаровування. Для гарантії щільності газу ущільнення завжди повинне бути заповнене водою. Протягом заповнення ущільнення відбувається невеликий перелив води. Порівняно з водоаміачним розчином при безпосередньому охолодженні ця вода є доволі чистою, і зазвичай вона очищується окремо. На рис. 5.9 показано, що ця вода прямує безпосередньо до баку для зберігання аміачного розчину.

Додаткові потоки стічних вод можуть утворюватися від пароконденсату у відпарювальній колоні, від зібраної дощової води та зливостоків, зливу з контурів охолодження та вторинного охолодження, а також промивної води від фільтрів при очищенні води, що може привести до розведення потоку надлишкової водовугільної суспензії.

Таблиця 5.9: Концентрації у вхідному та вихідному потоках стічних вод та деякі аспекти систем очищення стічних вод

Аспект/компонент		Одиниці вимірювання	Дані
Виробництво коксу		млн т/рік	0,63 – 1,25
Витрата водовугільної суспензії (надлишкова вода)		м ³ /год	16 – 80
Розведення іншими стічними водами		м ³ /год	0 – 40
Загальний стік		м ³ /год	22 – 86
Питома витрата стоків (питома витрата стічних вод)		м ³ /т коксу	0,31 – 0,69
Потік, що втікає	pH	–	8,5 – 9,5
	Зважені тверді частинки	мг/л	30 – 40
	COD (x±s)	мг/л	200 – 6 500
	TOC (x±s)	мг/л	835 – 1 215
	BOD ₅	мг/л	800 – 3 000
	Фенол	мг/л	500 – 1 500
	SCN (тіоціанати)	мг/л	150 – 380
	Азот за методом К'ельдаля	мг/л	300
	Аміак (x±s)	мг/л	50 – 200
	Нітрити	мг/л	NA
	Нітрати	мг/л	NA
	Мастило та смола	мг/л	40
	PAH (6 Borneff)	мкг/л	200
Потік, що втікає	pH	–	7,6 – 8,0
	Зважені тверді частинки	мг/л	42 – 75
	COD (x±s)	мг/л	45 – 800
	TOC (x±s)	мг/л	30 – 60
	BOD ₅ (x±s)	мг/л	<20
	Фенол	мг/л	0,1 – < 2
	SCN (тіоціанати)	мг/л	<4,0
	Азот за методом К'ельдаля	мг/л	3 – 10
	TN _b	мг/л	3 – 30
	Аміак (x±s)	мг/л	0,6 – 80
	Нітрити	мг/л	<1,3
	Нітрати	мг/л	0 (*) – 27
	Мастило та смола	мг/л	5 – 15
PAH (6 Borneff)	мкг/л	0.2 – <50	

(*) Повідомлення про ці дані надійшло з металургійного заводу компанії Lofronte в м. Сереманж, Лотарингія, Франція, хоча це теоретично неможливо, але високий вміст залишкового аміаку та вкрай низька концентрація нітратів, на яку можна не зважати, вказують на пригнічення нітрифікації.

Примітка: — діапазони відображають максимум та мінімум середньодобових значень за два роки (2004 – 2005), за винятком БПК, ВТХ та PAH, дані щодо яких стосуються невеликої кількості проб.

— TN_b = загальний зв'язаний азот.

— NA – немає даних.

Джерело: [65, InfoMil, 1997] [88, Льор та ін., 1996] [89, Льор та ін., 1997] [260, Німеччина, 2007] [272, Німеччина, 2007] [320, Eurofer, 2007] [341, Eurofer, 2007] [372, чеський член ТРГ, 2008].

COD (ГПК) як параметр характеризується великою різноманітністю різних органічних хімічних сполук, таких як фенол (1 000 – 2 000 мг/л), сполуки азоту) (азот за методом К'ельдаля: 250 – 500 мг/л) та поліциклічні ароматичні вуглеводні (РАН) (до 30 мг/л). додатково до аміаку, є також й інші сполуки, які містять неорганічний азот, зокрема тіоціаніди (150 – 350 мг/л) [65, InfoMil, 1997].

Рівні концентрації моноциклічних ароматичних вуглеводнів досить низькі. РАН фактично знаходяться в адсорбованому стані на твердих частинках. Був виявлений бензопірен [201, Колін та ін., 2003], [202, USEPA, 2002].

Стічні води від процесів вологої окислювальної десульфурації

Стічні води від процесів вологої окислювальної десульфурації зазвичай очищуються окремо внаслідок наявності сполук, які чинять негативний вплив на установки для біологічного очищення стічних вод.

У табл. 5.10 наведено склад стічних вод для двох процесів вологої окислювальної десульфурації. Застосування однієї з інших технологій вологого окислювання може привести до скидів у воду сполук (Thylox process), 1-2-нафтохінону-2-сульфонової кислоти (Takahaх process), пікринової кислоти та тіоціанідів (Fumaks/Rhodacs process).

Таблиця 5.10: Склад стічних вод для двох процесів вологої окислювальної десульфурації

Компонент	Десульфурація за Стретфордом (г/л)
NH ₃ (вільний)	0,1
Na ₂ CO ₃	5,7 – 65
SCN (тіоціанати)	80 – 300
S ₂ O ₃ ²⁻	50
SO ₄ ²⁻	12,2
Ванадат (VO) 3	1,2
Антрахінон-дісульфонова кислота	1,9
<i>Джерело:</i> [21, EC Coke, 1996] [320, Eurofer, 2007] [327, Eurofer, 2007].	

Мокре гасіння коксу

Зазвичай під час мокрого гасіння не утворюються стічні води. Споживання охолоджувальної води залежить від самого процесу гасіння, та його можна рахувати в діапазоні від 1 до 3 м³/т коксу. Коли гасіння проводиться правильно, надлишкова вода збирається та повторно використовується. Тверді частки можна відокремити в осадовій камері або пісочному фільтрі перед використанням для наступної процедури гасіння. Втрати на випаровування знаходяться в діапазоні від 0,5 до 1 м³/т коксу, і їх можна замінити питною водою.

5.2.2.3 Відходи виробництва коксохімічних заводів

На коксохімічних підприємствах утворюються тверді відходи, інші, ніж коксовий дріб'язок і надлишковий активний шлам, в кількості близько 1 кг/т коксу, як показано у табл. 5.11.

Таблиця 5.11: Основні відходи/залишки коксохімічного виробництва

Відходи/залишки	Кількість (кг/т коксу)
Утилізація кам'яновугільної смоли	0,1
Механічний освітлювач	0,2
Зберігання смоли	0,4
Переробка легкої фракції	0,2
Очищення стічних вод	0,1
Збір та утилізація нафталіну	0,02
Дистиляція смоли	0,01
Шлам від біологічного очищення стічних вод	—
Усього	1,03
<i>Джерело: [227, WB, 1998].</i>	

Більшість твердих відходів містять небезпечні компоненти, зокрема бензен та РАН. Всі відходи від процесів зазвичай повторно направляються до косових печей. Осади стічних вод мають бути висушені.

Висушені осади також можна завантажувати до коксових печей або піддавати депонуванню на безпечних полігонах або у відповідних спалювальних установках.

5.2.2.4 Потреба в енергії

На рис. 5.11 наведено приклад річної потреби в енергії/балансу для коксогазового заводу на металургійному заводі з повним циклом. Той факт, що на коксових печах виробляють коксовий газ, означає, що він відіграє важливу роль у постачанні енергії та управлінні нею на заводах із повним циклом (див. п. 2.1.1) [320, Eurofer, 2007].

Словосполучення «інша частина» стосується втрат.

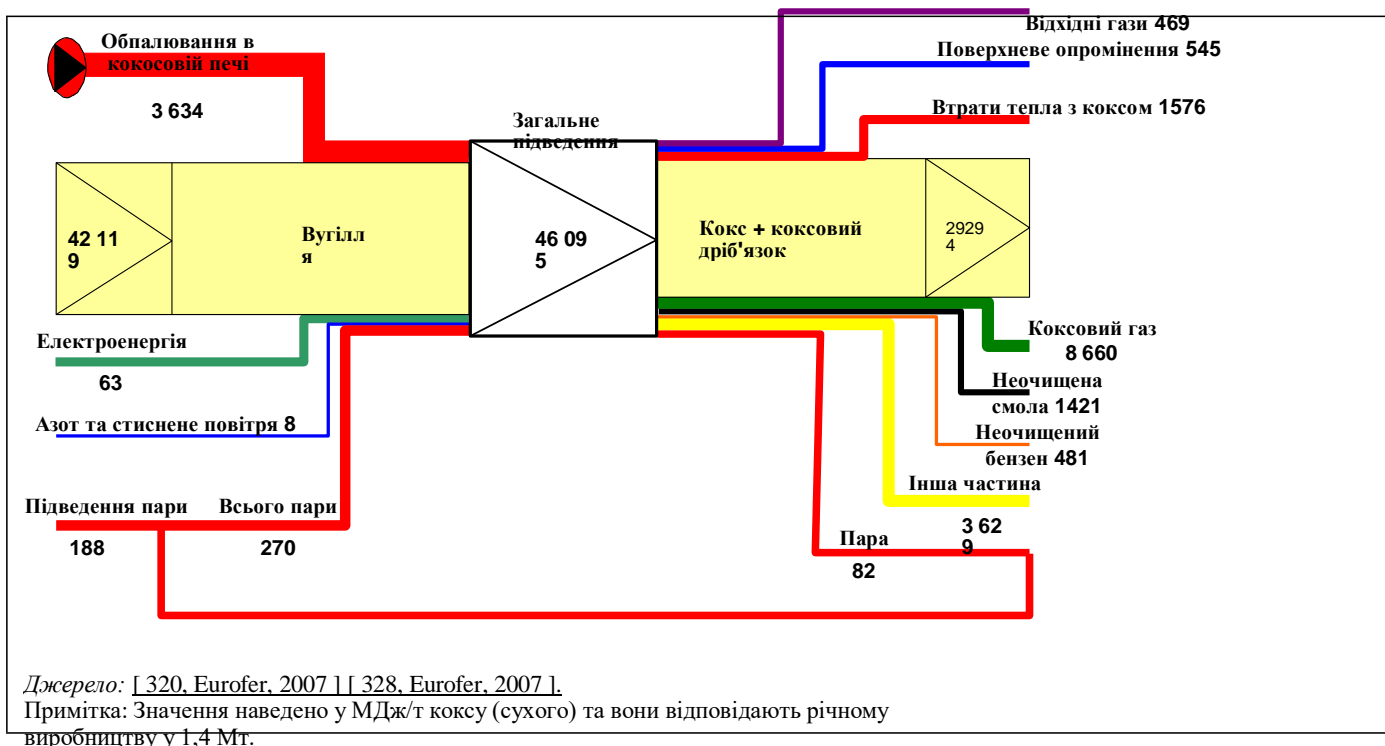


Рис. 5.11. Приклад річної потреби в енергії / балансу коксохімічного виробництва на заводі з повним циклом

5.2.2.5 Забруднення ґрунту

На установці з очищення коксового газу смола та інші органічні сполуки (наприклад, ВТХ) утилізуються з коксового газу. Проливання або витік цих сполук можуть викликати небезпеку забруднення ґрунту, залежно від місцевих ґрунтових умов. Крім того, проливання та витік водовугільної суспензії також можуть викликати небезпеку забруднення ґрунту. Тут буде представлено тільки короткий опис можливих заходів, які включають:

- мінімізацію кількості фланців і виступаючих частин;
- підтримання трубопроводів і фланців у стані, видимому для інспекції/огляду (наприклад, розміщення їх вище землі або в трубах-оболонках), якщо тільки строк служби і конструкція установки будуть для цього придатними;
- зберігання і транспортування речовин, які є потенційно небезпечними для ґрунту, так, щоб можна було вжити заходів для попередження проливання на ґрунт;
- осадження в ґрунтових водах, у разі необхідності, або в разі видалення забруднень (див. табл. 5.22).

5.3 Техніки та прийоми, які слід враховувати при визначенні НДТМ

У цьому розділі описані технології (або їх поєднання) і пов'язаний із ними моніторинг, які спрямовані на досягнення високого рівня захисту навколишнього середовища в економічній діяльності у контексті тематики цього документа.

Він включає технології, інтегровані в процес, і заходи, які передбачають очищення в кінці виробничого циклу. Запобігання утворення відходів та управління ними, включаючи мінімізацію відходів та процедури рециклінгу, також будуть розглянуті. Крім того, в документі описані технології для зниження споживання сировинних матеріалів, води та енергії.

У Додатку III до Директиви перерахований ряд критеріїв для визначення ВАТ (НДТМ), власне, інформація в цьому розділі стосується саме цих міркувань. Наскільки можливо, використана стандартна структура, наведена в табл. 5.12, для загального уявлення про інформацію, зібрану щодо кожної технології, з метою порівняння технологій і оцінки їх на основі визначення ВАТ згідно з Директивою.

Цей розділ необов'язково дає вичерпний перелік технологій, які можна застосовувати в секторі. Можуть існувати інші технології для конкретної установки, які можна було б розглянути для визначення НДТМ.

Таблиця 5.12: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі

Тип розглянутої інформації	Основний зміст інформації
Опис	Короткий технічний опис із використанням за необхідності малюнків, діаграм і технологічних схем
Екологічні переваги, яких можна досягнути	Основні потенційні екологічні вигоди, що досягаються за допомогою реалізації технології (включаючи економію енергії, води, сировини, а також зростання виходу продукції, ефективності використання енергії тощо)
Міжсередовищні наслідки	<p>Вплив на навколишнє середовище та інші середовища внаслідок реалізації технології, включаючи детальні дані щодо впливу на навколишнє середовище технології порівняно з іншими (переваги та недоліки, що підтримуються даними, якщо вони є) для оцінки впливу технології на навколишнє середовище в цілому. Це може включати такі питання, як:</p> <ul style="list-style-type: none"> • споживання сировини і води; • споживання енергії та внесок у зміну клімату; • потенціал руйнування озонового шару; • фотохімічний потенціал утворення озону; • підкислення в результаті викидів у повітря; • тверді частинки в навколишньому повітрі (включаючи мікрочастинки та метали); • евтрофікацію ґрунтів і водойм (в результаті викидів у повітря або скидів у воду); • потенціал виснаження кисню у воді; • стійкі/токсичні/біоаккумулятивні компоненти у воді або ґрунті (включаючи метали); • утворення або зниження (відходів) відходів; • можливість повторного використання або рециклінгу (відходів) залишків; • шум та/або запах; • ризик аварій.
Експлуатаційні дані	Реальні технічні дані (включаючи порівняльні умови, періоди моніторингу та методи моніторингу) про рівні викидів, споживання ресурсів (сировини, води, енергії) і кількості відходів, що утворюються. Будь-яка інша корисна інформація про те, як працює, обслуговується або контролюється технологія.
Можливість застосування	Вказівка щодо типу установок або процесів, у яких технологія може або не може застосовуватися, а також обмеження для реалізації в певних випадках, з урахуванням, наприклад, віку установки (нова або наявна), факторів, пов'язаних із модернізацією (наприклад, наявність місця), розміру установки (велика або невелика), вже впроваджених технологій і типу або якості продукції.
Економічні дані	Витрати (капітальні експлуатаційні) і будь-яка можлива економія (наприклад, зниження споживання сировини або енергії, платежів за розміщення відходів) або доходи, зокрема детальний опис того, як вони були розраховані/оцінені. Економічна інформація, важлива для нового будівництва та модернізації наявних установок. Все це дає змогу ідентифікувати, там, де це можливо, спільний економічний вплив технології.
Стимули для впровадження	Особливі місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи безпеки) або не екологічні механізми (наприклад, зростання продуктивності, підвищення якості продукції), які регулюють або стимулюють реалізацію технології до теперішнього часу.
Приклади установок	Посилання на установку (установки), для яких була впроваджена технологія, і по якій була зібрана інформація і використана при написанні розділу. Вказівка щодо ступеню використання технології в Європі чи у світі.
Довідкова література	Література або інший довідковий матеріал (наприклад, книги, звіти, дослідження, вебсайти), які були використані при написанні розділу і в яких міститься більш докладна інформація щодо технологій.

5.3.1 Підготовка вугілля

Опис

Попередні умови для належної роботи коксохімічного виробництва, що описані в п. 5.3.4, стосуються оптимізованого транспортування вугілля. Вугілля, яке купують, можна попередньо обробляти за допомогою збагачення (переважно на вугільній шахті) і процесів змішування, які підвищують якість вугілля, що подається, для виробництва коксу бажаної якості разом зі зниженням викидів оксидів сірки та інших забруднюючих речовин.

Оптимальні умови для роботи коксохімічного виробництва вимагають змішування вугілля, яке повинне бути якомога більш однорідним. Сучасна установка для попередньої підготовки вугілля складається зі змішувальних бункерів, установки для дроблення/просіювання, обладнання для транспортування, для знепилювання, стрічкових транспортерів у закритому приміщенні та, можливо, додаткових процесів, таких як сушка вугілля або внесення домішок.

Ці процеси дроблення і просіювання зазвичай проводяться у будівлях. Всі основні елементи обладнання повинні бути закриті. Викиди з цих елементів і пунктів перевантаження матеріалів повинні відводитися і придушуватися з використанням циклонів, Rotoclones® (відцентрових пристроїв для знепилювання), захисних кожухів для первинних вугільних млинів, вторинних вугільних млинів, скрубєрів, мокрих електрофільтрів і рукавних фільтрів.

Для транспортування вугілля можна за необхідності використовувати герметичний або закритий конвеєр. Для зберігання вугілля можна використовувати розпилювачі та полімерні емульсії для придушення утворення пилу. Можна застосовувати вітрозахисні огорожі або насипи, спрямовані проти вітру, для зниження швидкості вітру. За необхідності слід застосовувати закриті зберігання. Висота падіння повинна бути мінімізована залежно від розміру установки та конструкції. Якщо є така можливість, вона повинна бути менше 0,5 м.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Для викидів, що видаляються, можна досягти значень $<10 - 12$ нг/нм³.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Жодних даних не надано.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Жодних даних не надано.

Довідкова література

[211, Ремус, Райнер, 2008] [223, USEPA, 2001] [227, WB, 1998] [283, Єврокомісія, 2006]

5.3.2 Мінімізація викидів при завантаженні печі

Опис

Завантаження печі найчастіше здійснюється за допомогою завантаження самопливом з використанням завантажувального візка. За умов зниження викидів під час завантаження цим способом використовують три основні технології:

1. «бездимне» завантаження. У цій системі використовуються газощільні сполуки між коксовою піччю і завантажувальним візком. Камери швидко заповнюються за допомогою чотирьох або п'яти завантажувальних отворів. Розрідження створюється за допомогою вдунання пари або води у вигнуту S-подібну частину підйомної труби.
2. послідовне завантаження або завантаження із трамбуванням шихти. В цьому процесі завантажувальні отвори завантажуються одне за іншим. Такий тип завантаження займає порівняно багато часу. Розрідження створюється з обох сторін печі, або за умов використання підйомних труб (за їх наявності), або за умов використання підйомної труби і сполучної труби із сусідньої піччю. З'єднання між завантажувальним візком і піччю не є газощільними, але через тягу, коли є тільки один отвір до атмосфери, практично немає викидів.
3. завантаження за допомогою телескопічних патрубків, яке також називається «японське завантаження»; цей вид завантаження здійснюється за допомогою одночасного завантаження через (зазвичай) чотири завантажувальні отвори. З'єднання між завантажувальним візком і коксовою піччю не є газощільними, але закривається за допомогою «телескопічних патрубків», з яких газу видаляють, і вони подаються до газоходу за допомогою з'єднання між газоходом і завантажувальним візком. Газу, що видаляються, спалюються і потім видаляються через пристрій для уловлювання пилу, який встановлюється на землі. У деяких випадках завантажувальні візки оснащуються пиловловлюючими пристроями для очищення газів, що видаляються [227, WB, 1998].

Вже під час завантаження за допомогою регулювання рівня має створюватися вільний газовий простір у верхній частині печі, в результаті чого не порушується відсмоктування газу протягом завантаження і протягом коксування. В такий спосіб можна знизити викиди при завантаженні. Вплив цього способу залежить значною мірою від конструкції печі та, отже, від методу регулювання рівня і завантаження.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Викиди при завантаженні можуть бути дуже низькими у всіх цих системах. Основним визначальним чинником є підвищений тиск у камері печі та телескопічний завантажувальний пристрій.

Викиди при завантаженні важко визначити кількісно, але зазвичай вдається досягти <30 секунд із видимих викидів протягом завантаження. Досягаються викиди менше 10 секунд за оптимальних умов. Стандарт, який діє в США відповідно до методу EPA 303 для всіх побічних продуктів, у разі батарей коксових печей становить 12 секунд із видимих викидів протягом завантаження. Практично на 51 батареях у США були виміряні значення менше 5 секунд [235, Ейлор, 1999].

Повідомляється про викиди пилу протягом завантаження з телескопічними патрубками із пристроєм для збору пилу на завантажувальному візку були менше ніж 5 г/т коксу (концентрація <50 мг/м³). В цьому випадку газ, що відбирається, спалюється перед викидом.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Деякі системи більш чутливі до операційних проблем, ніж інші.

Можливість застосування

Може застосовуватись як на нових, так і на наявних установках.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Завантаження з мінімізацією викидів застосовується на багатьох установках у всьому світі. У табл. 5.13 наведено кілька прикладів.

Таблиця 5.13: Приклади установок з мінімізацією викидів для систем завантаження коксової печі

Спосіб завантаження	Приклади установок
«Бездимний»	<ul style="list-style-type: none"> • Пил в коксовій печі № 2 компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди • Коксова піч компанії ArcelorMittal, м. Гент, Бельгія • Коксова піч компанії ArcelorMittal, м. Дюнкерк, Франція • Коксова піч компанії ArcelorMittal, муніципалітет Фос-сюр-Мер, Франція • Коксова піч компанії Gijón, Іспанія • Компанія Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц, Австрія; • Компанія Rivagroup, м. Таранто, Італія
Послідовний/стадійний	<ul style="list-style-type: none"> • Багато установок у США • Коксова піч компанії Hüttenwerke Krupp Mannesmann, м. Дуйсбург, Німеччина • Коксова піч компанії Prosper, м. Ботроп, Німеччина
«Японський»	<ul style="list-style-type: none"> • Коксова піч 1 компанії Kawasaki Steel Corporation, завод Chiba Works, Японія • Коксова піч компанії Nippon Steel Corporation, завод Kimitsu Works, Японія • Коксова піч компанії Sumitomo Metal Industries, завод Wakayama Works, Японія • Коксова піч компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди • Коксовий цех компанії ArcelorMittal, м. Сереманж, Франція • Компанія BHP Steel, Австралія

Довідкова література

[33, Айзенхут та ін., 1988] [215, BSS, 2007] [223, USEPA, 2001] [227, WB, 1998] [320, Eurofer, 2007] [337, Eurofer, 2007]

5.3.3 Герметизація підйомних труб і завалювальних отворів**Опис**

Протягом періоду коксування розсіяні викиди з відкритих місць коксової печі можна мінімізувати за допомогою ефективної герметизації відкритих місць після операції видачі та завантаження коксу. Однак такі заходи можуть бути успішними тільки, якщо вони супроводжуються належним обслуговуванням і чищенням.

Підйомні труби з гідравлічним ущільненням є стандартним ущільненням на більшості коксових заводів (див. рис. 5.12).

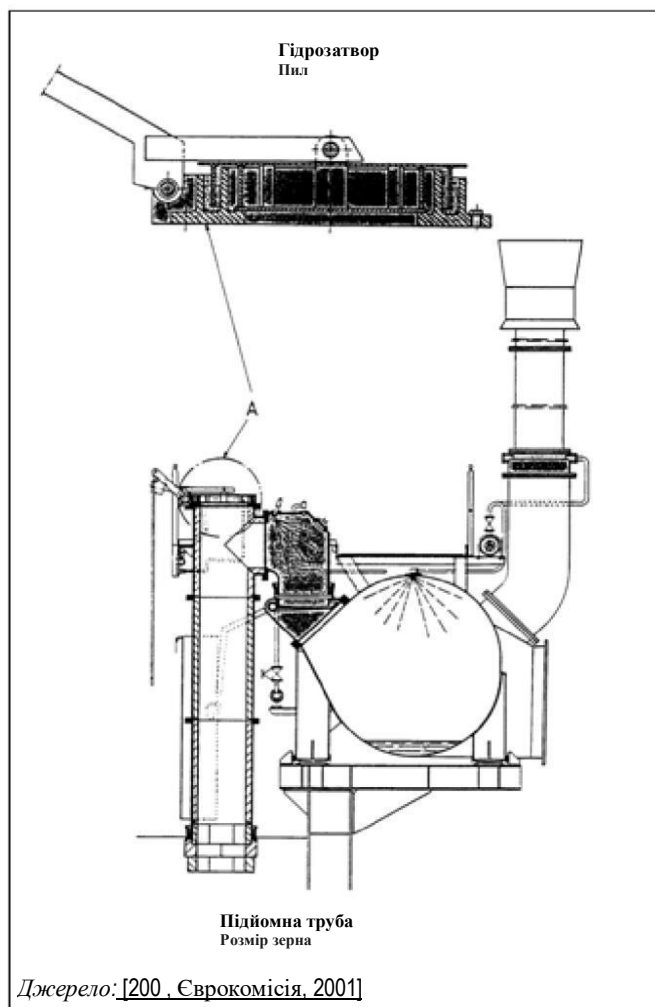


Рис. 5.12. Підійомна труба в камері коксової печі

Крім того, багато старих установок також оснащені підйомними трубами з гідравлічним ущільненням. Гідравлічне ущільнення може бути дуже ефективним за умови, що труби системи водопостачання та водостоку не будуть засмічуватися.

Найкращим способом підтримувати завантажувальні отвори герметичними є закладення їх матеріалом на глинистому розчині чи подібним продуктом.

Показники роботи ущільнень підйомної труби і завантажувального отвору повинні контролюватися. Використовуються різні методи для оцінки неорганізованих викидів з коксових печей. Рівні викидів, що досягаються, виражаються як частота відсотка витоків від загальної кількості підйомних труб і завантажувальних отворів, яка показує видимі витoki або маси/час, та залежать від методу моніторингу. Метод ЕРА 303, наприклад, дає можливість отримувати результати з процедури спостережень, що виражаються у відсотках витoku. Однак методологія DMT (Німецькі гірські технології), яка відповідно до методу ЕРА, допомагає розрахувати викиди на день на основі проведених вимірів, привласнюючи їм чотири ступені інтенсивності викидів та визначаючи тривалість видимих викидів протягом спостереження і розгляду.

Для приблизної установки використовуються такі методології моніторингу:

- видимі витoki у підйомних труб і завантажувальних отворів визначаються на горну печі на відстані 2 м від підйомних труб і завантажувальних отворів. Видимі витoki підйомних труб визначаються також із газозбірника;
- спостереження за підйомними трубами і завантажувальними отворами проводиться раз на день (вибіркова перевірка);

- видимі викиди за умов нормальної роботи (завантаження вугілля, видача коксу) не вважаються вибоком;
- визначається середня частота вибоків за тиждень.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Підйомні труби з гідравлічним ущільненням і завантажувальні отвори із забитими кришками будуть значно знижувати викиди пилу, CO і вуглеводнів (див. табл. 5.2).

Із забитими кришками досягаються видимі вибоки від завантажувальних вікон максимум у 1 %. Крім того, для пристроїв, які забезпечують прохід від батареї коксових печей до газозбірника, включаючи підйомну трубу, вигнуту S-подібну трубу і стаціонарні сполучні труби, можна досягнути вибоку в 1 %, як було визначено за частотою вибоків на тиждень.

Міжсередовищні наслідки

У випадку підйомних труб із гідравлічним ущільненням утворюється потік стічних вод. Однак ці стічні води можна в деяких випадках повертати до циклу в бак із водоаміачним розчином або можна направляти до відпарювальної аміачної колони. Для циркуляції води насосами споживається електроенергія.

Застосування технології до завальовальних отворів не призводить до будь-яких міжсередовищних наслідків.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Ця технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних установок. На нових установках конструкція підйомних труб і завантажувальних отворів може бути оптимізована, для того щоб знизити неорганізовані викиди.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Багато установок у світі мають підйомні труби з гідравлічним ущільненням. Крім того, майже всі установки працюють із закладенням завантажувальних отворів, або автоматичним, або ручним.

Довідкова література

[33, Айзенхут та ін., 1988] [249, Нідерланди, 2007] [320, Eurofer, 2007]

5.3.4 Стійка та стабільна робота коксохімічного підприємства

Опис

Разом з режимом обслуговування та операціями очищення стійка і стабільна робота коксової печі є одним із найважливіших заходів, інтегрованих до технологічного процесу, для контролю викидів. Порушення режиму роботи призводить до значних коливань температури і зростання можливостей для «тугого ходу» коксу під час виштовхування. Це може чинити негативний вплив на вогнетриві і на саму коксову піч та може привести до зростання вибоків і виникнення ненормальних умов роботи.

Попередньою умовою для стійкої та стабільної роботи є висока надійність всього виробничого обладнання печі. Це також сприяє підвищенню продуктивності.

Стабільна робота всього коксохімічного підприємства також чинить позитивний вплив на викиди від коксових батарей. За допомогою контролю температури поверхні нагрівання (вимірювальний прилад у простінках камери печі) з'являється можливість визначення розподілу температур у камері, що допомагає зробити висновки щодо ефективності системи нагрівання.

На основі цих результатів можна вживати заходів щодо ремонту або оптимізації роботи коксової печі.

Перевірка і забезпечення того, що маса коксу повністю коксується, може запобігти викидам летких органічних сполук або викидам від довільного спалювання залишкових газів при коксуванні під час відкриття дверей.

Автоматизація процесу отримання коксу дає можливість працювати коксохімічному виробництву з оптимальною ефективністю. Деякі варіанти заходів контролю включають:

- інфрачервону вимірювальну систему для вимірювання температури поверхні двох обігрівальних простінків;
- інфрачервоний пірометр з інтегральної пам'яттю даних для проведення ручних вимірювань у топкових каналах;
- зменшення кількості шлейфів забруднень за допомогою впровадження системи реєстрації шлейфів (наприклад, система інфрачервоної термічної камери), яка дає змогу реєструвати всі ненормальні події. Аналізуючи дані реєстрації та пов'язуючи їх з основними ідентифікованими причинами появи шлейфів, наприклад, видача неготового коксу, компоненти коксового пирога, механічні причини (забивання) та якість системи горна, і, нарешті, усунення дефектів (висота завантаження і коректування нагрівання, зміни якості шихти, операції очищення тощо);
- розміщення набору стратегічно розташованих відеокамер для моніторингу викидів з коксових печей. Деякі можна встановлювати на коксовому заводі, а інші – на певній відстані, що дає змогу спостерігати за операціями. Камери передають зображення операторам диспетчерського пункту, і ці зображення можна реєструвати та здавати в архів для аналітичних цілей;
- комп'ютерна система для розрахунку кількості тепла, необхідного в кожній батареї;
- система для автоматичного виштовхування і завантаження для надання допомоги робочій зміні;
- система для контролю газопереробної установки.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Значна частина викидів коксохімічного виробництва викликана витокami через тріщини між камерою нагрівання та камерою печі, а також є результатом деформованих дверей, дверних рам, опорних стійок тощо. Цим викидам можна запобігти, значною мірою завдяки більш стійкій та стабільній роботі коксохімічного підприємства. Крім того, це може значно підвищити строк служби такого підприємства.

Зареєстровані зображення можна використовувати для дослідження та ідентифікації викидів і для прояснення того, звідки вони з'являються, і що трапляється на установці в поточний момент. Цей аналіз дає цінну інформацію для запобігання майбутнім порушенням у нормальній роботі.

Значною мірою відбувається запобігання викидам від шлейфів забруднень.

Міжсередовищні наслідки

Значних міжсередовищних наслідків зафіксовано не було.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Може застосовуватись як на нових, так і на наявних установках. Внаслідок агрегатної конструкції коксової печі, проектування обладнання для автоматизації процесу отримання коксу допомагає приймати рішення, адаптовані до спеціальних вимог замовника.

Економічні дані

Загалом, запобігання виходу не готового коксу підвищує продуктивність коксохімічного виробництва.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Більшість операторів у світі пройшли навчання з експлуатації коксохімічного виробництва з максимальним забезпеченням стійкої та стабільної роботи. Однак економічні стимули можуть спонукати до підвищення рівнів виробництва, і це збільшить шанси на менш стабільну роботу підприємства.

Одним прикладом для технології, описаної в третьому ключовому моменті опису, є коксохімічне виробництво компанії ArcelorMittal в м. Дюнкерк, Франція.

Одним прикладом технології, представленої в четвертому ключовому моменті опису, є компанія BHP Steel в Австралії.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [215, BSS, 2007] [223, USEPA, 2001] [227, WB, 1998] [252, Франція, 2007] [253, ICSTI 06 2006] [320, Eurofer, 2007]

5.3.5 Обслуговування коксових печей

Опис

Обслуговування коксових печей є одним із найважливіших заходів, інтегрованих до технологічного процесу, і вирішальним фактором для стійкої та стабільної роботи.

Обслуговування може виконуватися в рамках кампаній або безперервно. Не може бути фіксованого або мінімального періоду обслуговування. Обслуговування повинно проводитися в рамках систематичної програми і спеціально навченим обслуговуючим персоналом (наприклад, протягом двох змін).

Прикладом є мінімальна програма обслуговування, описана для підприємства компанії ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія. Тут кожна піч піддається капітальному ремонту в середньому після п'яти років роботи, залежно від стану печей. Це включає в себе розвантаження печі протягом тижня, коли проводяться такі операції:

- періодичний контроль печей (наприклад, однієї печі на день);
- деграфітизація всіх відкладень у камері (стіни, зводи, підйомні труби);
- окситермічне зварювання (керамічна накладка) тріщин, отворів і поверхневих дефектів вогнетривкої цегли;
- ремонт підлоги камери печі за допомогою заливання цементу;
- вдування пилу в тонкі тріщини;

- капітальний ремонт дверей; повний демонтаж всіх індивідуальних частин, очищення та повторна збірка; виправлення ущільнюючих елементів. Заміна пошкодженої цегли дверей; в багатьох випадках необхідна повна перекладка футерування дверей.

Додатково до цього капітального ремонту регулярно перевіряється та виправляється система зв'язків жорсткості печі (пружини, анкерівка тощо).

Інші програми включають, наприклад, таке:

- часте очищення вигнутих S-подібних труб та основних газоходів для попередження засмічень
- очищення кришок
- розробка апаратури для діагностики ремонту стінок камер печі.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Належне обслуговування допомагає запобігти утворенню тріщин у вогнетривкій обмуровці та мінімізувати витіки, а, отже, й викиди від неповного спалювання неочищеного газу. Це запобігає появі чорного диму під час викидів відхідних газів з димової труби коксової печі при випалюванні. Крім того, обслуговування, регулювання та капітальний ремонт дверей і рам запобігають витікам. У разі належного обслуговування вигнутої S-подібної труби та газоходів запобігають також викидам й при завантаженні.

Міжсередовищні наслідки

Значних міжсередовищних наслідків зафіксовано не було.

Експлуатаційні дані

Описана програма обслуговування в загальному застосовується всіма операторами (наприклад, компанія ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія, з 1986 року) зі значним успіхом.

Можливість застосування

Програми безперервного обслуговування, що проводяться постійно або в рамках кампанії, можуть застосовуватись як на нових, так і на наявних установках.

Економічні дані

Витрати на зарплату кваліфікованим робітникам, які виконують програму обслуговування, є значними (близько 2 євро/т коксу у випадку компанії ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія), але як частина заходів із стійкої та стабільної роботи краще навчені оператори роблять внесок у підвищення продуктивності, завдяки чому компенсуються витрати.

Стимули для впровадження

Намір забезпечення стійкої та стабільної роботи з оптимізованою продуктивністю і мінімальними викидами є стимулом для проведення такої діяльності.

Приклади установок

Коксохімічний цех компанії ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія. Це звичайний вид роботи, який здійснюється всіма операторами коксових печей.

Довідкова література

[200, Єврокомісія, 2001] [223, USEPA, 2001] [225, Браухон, 2006] [242, Кофлін, 2007] [253, ICSTI 06 2006] [254, Eurofer, 2007] [276, Італія, 2007] [320, Eurofer, 2007] [330, Eurofer, 2007]

5.3.6 Більші коксові камери

Опис

Конструювання ширших та вищих коксових камер викликано двома основними принципами:

- підвищення екологічних показників завдяки зниженню кількості печей, що видають кокс, на день і зменшення довжини ущільнювальних поверхонь;
- зменшення капітальних витрат і виробничих витрат внаслідок того, що необхідним є тільки один набір обладнання

Основною характеристикою коксових камер з високою або широкою камерою є більший обсяг печі порівняно зі звичайними печами. Отже, для такої продуктивності ущільнення двері зменшується по довжині та знижується частота видачі коксу. Однак слід приділяти особливу увагу ущільненню, оскільки важче підтримувати газоцільність печей, особливо в районі зводу і горну.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

При належному обслуговуванні та при наявності дверей із гнучким підпружиненим ущільненням, що використовуються в порівнянних робочих умовах, можна очікувати, що загальні (неорганізовані) викиди на тонну коксу з дверей і рамних ущільнень будуть прямо пропорційні зниженню довжини ущільнення порівняно зі звичайними коксовими камерами.

Зниження викидів під час операцій видачі коксу, як можна очікувати, з урахуванням того, що буде потрібно менше операцій видачі коксу на тонну коксу, і що викиди прямо пропорційні числу видач. Проте, коефіцієнти викидів (наприклад, викиди на кришку, викиди на двері) не перебувають під впливом застосування більших коксових печей.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Для більших дверей коксових печей потрібно більше обслуговування. У табл. 5.14 наведені характеристики декількох типів коксових печей.

Таблиця 5.14: Характеристики кількох типів коксових печей

Аспект	Одиниці вимірювання	Малий	Середній	Великий		
• Розміри (що використовуються):						
• висота	м	4,5	6,0	7,1	7,85	8,23
• довжина	м	11,7	14,2	15,9	17,2	20,8
• ширина	м	0,45	0,45	0,59	0,55	0,59
Корисний об'єм	м ³	22,1	36,4	62,3	70,0	93
Продуктивність	т коксу/ піч	12,7	21,3	39,8	43,0	55
Кількість печей	#	322	187	142	120	140
Загальна кількість отворів	#	2 898	1 496	1 278	1 080	380
Довжина поверхні ущільнення	км	10,5	6,9	6,2	6,0	5,0
Видачі з печі	#/добу	430	257	138	128	135
Спільні дії з відкритими місцями	#/добу	3 870	2 056	1 242	1 152	945
Довжина поверхонь ущільнення, що піддаються очищенню	км/добу	14,0	9,5	6,0	5,6	4,9

Джерело: [33, Айзенхут та ін., 1988] [204, Нойвірт та ін., 2003] [320, Eurofer, 2007] [335, Eurofer, 2007].

Невідомо про будь-які проблеми з печами із широкими та високими камерами. Більше уваги приділяється міцності стін.

Можливість застосування

Застосовуються тільки для нових заводів. У деяких випадках можна вибрати печі з камерою більшого розміру при повній реконструкції цеху на старих фундаментах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

- Батарея коксових печей, компанія Hüttenwerke Krupp Mannesmann, м. Дуйсбург, район Хукінген, Німеччина
- компанія Prosper, батарея коксових печей № 3, м. Ботроп, Німеччина;
- коксохімічне виробництво компанії KBS в м. Дуйсбург, Німеччина
- коксовий цех компанії ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія.

Довідкова література

[33, Айзенхут та ін., 1988] [129, Штальхерм та ін., 1990] [204, Нойвірт та ін., 2003] [320, Eurofer, 2007] [335, Eurofer, 2007]

5.3.7 Удосконалення дверей та рамних ущільнень коксових печей

Опис

Газощільність дверей коксових печей є важливим фактором, і її можна досягти за допомогою застосування таких способів:

- використання дверей з пружними гнучкими ущільненнями
- ретельного очищення дверей і рам під час кожної видачі коксу
- газових каналів всередині дверей.

Наявні батареї коксових печей можна оснастити дверима з підпружиненими ущільненнями, якщо дверні рами і броньові плити не будуть надто деформовані. В цьому аспекті міцність опорних стійок відіграє важливу роль, оскільки броньові плити (утримують футеровку на місці) бажано закріплювати на місці за допомогою пружин, які встановлюються на опорних стійках.

Слід зазначити, що ситуація для малих і великих печей відрізняється. Для печей з висотою менше 5 м двері з клиноподібної опорою в поєднанні з належним обслуговуванням можуть бути достатніми для запобігання викидів із дверей.

Показники роботи дверей і рамних ущільнень повинні контролюватися (див. п. 2.5.5.6.3).

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Питомі значення викидів при використанні дверей із гнучкими ущільненнями набагато нижче, ніж при використанні звичайних печей. За умови підтримання чистоти у випадку дверей сучасної конструкції, можна підтримувати видимі викиди нижче 5 % для всіх дверей батареї коксових печей (середній за тиждень показник), як із машинної сторони коксової батареї, так і з коксової сторони батареї. На основі визначення відповідно до методики ЕРА 303 в середньому за 30 днів були досягнуті значення нижче 4 % на батареях коксових печей США. Однак можна знайти приклади хороших результатів у випадку традиційних печей із клиноподібною опорою для невеликих печей, що добре обслуговуються, і приклади поганих результатів на дверях із гнучкими ущільненнями на великих печах, що погано обслуговуються. Але зазвичай гнучкі ущільнення дають набагато кращі можливості для досягнення газощільності, особливо для великих печей.

Газові канали з великим поперечним перерізом позаду двері (завдяки відрізання задньої дверної засувки або теплового щита) або вбудовані в ущільнення знижують градієнт тиску між внутрішньою і зовнішньою сторонами ущільнення.

Удосконалення, зроблені для дверей розподільника шихти, допомагають досягти зниження неорганізованих викидів від цих дверей на 93 %.

Міжсередовищні наслідки

У цьому випадку міжсередовищних наслідків не відбувається.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Можна застосувати на нових та, в деяких випадках, на наявних печах.

Економічні дані

Інвестиції для заміни дверей для батареї коксових печей складають близько 6 млн євро на коксохімічному підприємстві приблизно із сотнею печей з продуктивністю близько 1,2 – 1,5 млн т коксу/рік.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

На таких нових та реконструйованих заводах були застосовані двері з підпружиненим ущільненням:

- Коксова піч 1 компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди
- Коксова піч компанії Hüttenwerke Krupp Mannesmann, м. Дуйсбург, район Хукінген, Німеччина
- Коксова піч компанії BHP Steel в Австралії
- Компанія ArcelorMittal, муніципалітет Фос-сюр-Мер, Франція
- Компанія ArcelorMittal, м. Дюнкерк, Франція
- Компанія Rivagroup, м. Таранто, Італія.

Довідкова література

[161, Вос, 1995] [215, BSS, 2007] [223, USEPA, 2001] [252, Франція, 2007] [320, Eurofer, 2007] [331, Eurofer, 2007]

5.3.8 Очищення дверей та рамних ущільнень коксових печей

Опис

Багато старих європейських коксохімічних підприємств все ще мають початкові двері із клиноподібної опорою, без підпружиненого ущільнення. На цих підприємствах, особливо з печами висотою вище 5 м витік через двері може бути серйозною проблемою. Однак у випадку хорошого обслуговування будь-які видимі викиди від наявних дверей можуть бути нижче 10 %. Успіх плану обслуговування залежить значною мірою від стабільності процесу коксування, постійного обслуговуючого персоналу, безперервного моніторингу і зворотного зв'язку щодо досягнень. Наполегливо рекомендується провести на робочому місці заняття з обслуговування дверей.

Хороші результати продемонстровані також у разі сучасних систем для очищення дверей з використанням шаберів при кожному циклі. Ще один метод для чищення дверей коксових печей пов'язаний з використанням водяних струменів високого тиску. Такого виду очищення, однак, не може використовуватися при кожному циклі.

Програми обслуговування, що застосовуються для дверей коксових печей, включають у себе, наприклад, обладнання для чищення дверей і стратегію з обслуговування дверей.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Система очищення водяним струменем із високим тиском надає можливість фактично позбутися видимих викидів – може бути досягнуто зниження на 95 % (згідно з методом ЕРА). Використання системи очищення дверей із шаберами сприяє також різкому зниженню видимих викидів від дверей.

Міжсередовищні наслідки

При очищенні водяним струменем із високим тиском утворюється потік забруднених стічних вод, який можна очистити разом зі стічними водами від батареї коксових печей. На деяких заводах проводиться скидання в гасильну установку.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних заводів.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Коксова піч 2 компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди. Компанія BHP Steel, Австралія.

Довідкова література

[97, Мерфі та ін., 1991] [161, Вос. 1995] [215, BSS, 2007] [276, Італія, 2007] [320, Eurofer, 2007] [332, Eurofer, 2007]

5.3.9 Підтримка вільного потоку газу в коксовій печі

Опис

Вільний простір підтримується у підзводному просторі камери коксової печі, що дає газам та летючій золі змогу протікати в напрямку підйомної труби, яка, залежно від конструкції, зазвичай розташовується або на машинній стороні коксової батареї, або на обох сторонах. Потік газу може бути перекритий завантаженим вугіллям, що досягає верху печі, або верхня частина печі може бути забита графітом. Де б не відбувалося гальмування потоку газу, будуть відбуватися витоки з дверей і завантажувального отвору, оскільки буде зростати тиск після місця гальмування.

Цій ситуації можна запобігти за допомогою адекватного регулювання шару вугілля, що завантажується. Утворення шару графіту у верхній частині камери та на зводу печі можна мінімізувати за допомогою адекватного розподілу тепла уздовж стін печі та зниження температури верхньої частини стін. Проте, якщо накопичення графіту буде занадто великим, штанга-планір може застрягнути в камері коксової печі. Для попередження цього виштовхувач оснащується спеціальним миючим пристроєм для очищення зводу і стін верхньої частини камери при виштовхуванні коксу.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У випадку правильного розподілу тиску в камері коксової печі значно знижуються розсіяні викиди та витоки. Крім того, знижується ризик утворення корку при виштовхуванні коксового завалювання.

Міжсередовищні наслідки

У цьому випадку міжсередовищних наслідків не відбувається.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологію можна застосовувати на нових та наявних коксових печах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Така практика застосовується на всіх печах із програмою належного управління, які повинні мати мінімальні витоки через двері.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [320, Eurofer, 2007]

5.3.10 Регулювання тиску в печах протягом процесу коксування

Опис

Для звичайних коксових печей однією з найсерйозніших екологічних проблем є запобігання розсіяним газоподібним викидам, які з'являються переважно у замкнених частинах коксової печі, таких як двері коксових печей, кришки підйомних труб та кришки завантажувальних отворів. Основною причиною і стимулом цих викидів є тиск у камерах печі в результаті утворення неочищеного газу протягом процесу коксування. Під впливом цього тиску неочищений газ проникає через ущільнення різних закриттів коксової печі.

Камера коксової печі зазвичай постійно знаходиться під невеликим позитивним тиском протягом коксування. Негативний тиск буде давати можливість повітрю проникати до камери печі та сприяти частковому спалюванню коксу, що буде призводити до руйнування печі. Під печі повинен знаходитись під атмосферним тиском. Як емпіричне правило, підвищений тиск (в мм вод. ст.) у газозбірному трубопроводі підтримується на рівні подвійної висоти печі в метрах. Отже, для сучасної печі з висотою 7 м відповідно підвищений тиск повинен становити 14 мм вод. ст. Для старих печей із висотою 4 м підвищений тиск у газозбірному трубопроводі має бути 8 мм вод. ст.

Під час процесу коксування тиск коксового газу досягає максимуму після періоду коксування протягом 2 год. Під час коксування знижуються теплотворна здатність неочищеного газу і тиск в камері.

Звичайний спосіб регулювання тиску і зниження викидів полягає в регулюванні високого або низького тиску. Цей спосіб підтримки підвищеного тиску в газозбірному трубопроводі використовується на більшості коксогазових установок в країнах ЄС-25.

Однак щойно піч буде з'єднана з газозбірним трубопроводом, тиск у ньому стане визначати тиск у камері печі. Необхідність підтримки позитивного тиску в газозбірному трубопроводі є основною причиною підвищених викидів у замкнених частинах печі. Для відділення тиску в газозбірному трубопроводі від камери печі був розроблений новий клапан збірного колектора (з фірмовим найменуванням «FixCup»), який замінив механічну засувку на окремих печах. Цей клапан є важливим компонентом інноваційної системи регулювання тиску, яка діє індивідуально для кожної печі (фірмове найменування PROven®, яке означає «піч з регульованим тиском»). Схема системи PROven® наведена на рис. 5.13. Новий клапан дає можливість контролювати рівень води як функцію тиску газу в печі. Тиск газу вимірюється в підйомній трубі або в зігнутій S-подібній трубі. Для забезпечення системи з жорстким контролем, яка підходить для грубих умов роботи коксової печі, клапан FixCup оснащений водяним затвором чашкового типу, який гарантує постійну витрату води і контрольований стік. Тим самим рівень води у FixCup можна змінювати і тиск газу можна підтримувати для кожної окремої печі зазвичай на довільно обраному низькому рівні (типовим є 0 мм вод. ст.) в перші години, поступово підвищуючи його приблизно до 1,3 гПа (13 мм вод. ст.) в кінці періоду коксування. В такий спосіб забезпечується змінний гідравлічний опір щодо неочищеного газу, який видаляється з печі. У той час як рівень тиску в печі знаходиться в позитивному діапазоні, газозбірний трубопровід працює під розрідженням (типовий тиск: від -3 to -3,5 гПа (від -3 до -35 мм вод. ст.)). Це розрідження використовується також дуже ефективно для перекачування технологічного газу, без будь-якої необхідності в системі аспірації з водним розчином.

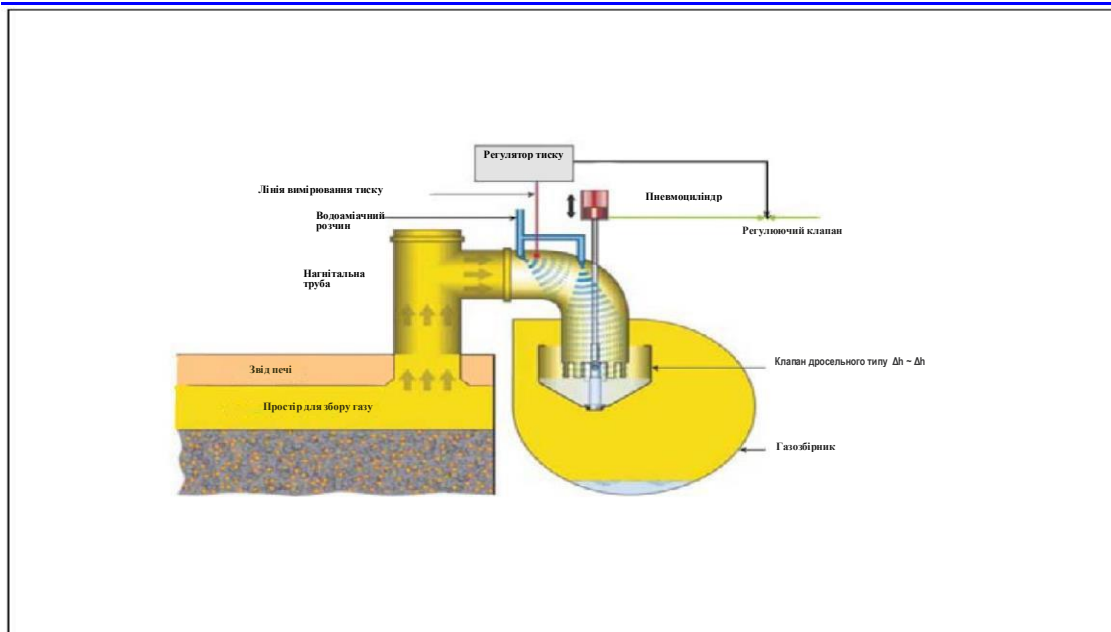


Рис. 5.13. Схема системи PROven®

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Кількість пилу і твердих частинок коксу в коксовому газі різко знижується. У табл. 5.15 наведені результати вимірювання викидів РАН, проведених до і після установки системи регулювання тиску.

Таблиця 5.15: Виміряні викиди РАН із системою регулювання тиску

Місце	Період коксування після завантаження, год	Зниження викидів РАН зі змінним контролем тиску (%)
Машинна сторона коксової батареї	0 – 2	64
	2 – 5	73
Коксова сторона коксової батареї	0 – 2	69
	2 – 5	73

Джерело: [203, Лішло та ін., 2004] [225, Браухон, 2006].

Крім того, внаслідок того, що газозбірник знаходиться під розрідженням, немає необхідності в системі аспірації високого тиску.

Міжсередовищні наслідки

Значних міжсередовищних наслідків зафіксовано не було.

Експлуатаційні дані

Експлуатаційні дані для звичайної технології добре відомі. Досвід за експлуатаційними характеристиками способу змінного тиску узагальнюється з 1999 року. Не повідомлялося про жодні проблеми.

Можливість застосування

Спосіб регулювання зі змінним тиском може бути застосований до нових коксохімічних підприємств, і він може також використовуватися для наявних підприємств.

Можливість застосування цього способу на наявних підприємствах повинна бути ретельно визначена разом з оцінкою ситуації в кожному конкретному випадку.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Зниження викидів є стимулом для впровадження цієї технології.

Приклади установок

У 1999 році система регулювання зі змінним тиском була перевірена на старому коксовому заводі в Німеччині (52 коксових печі з висотою 6 м). Вона працювала протягом трьох років перед виведенням заводу з експлуатації. Система регулювання тиску була встановлена у 2003 році на новому коксовому заводі у Дуйсбурзі (дві батареї з 70 коксових печей з висотою 8,4 м). Після того система була застосована на коксових заводах в Бразилії, Китаї та Південній Кореї. До 2008 року більше 1 200 печей з технологією PROven® вже працювало або були укладені контракти на їх експлуатацію.

Довідкова література

[203, Лішло та ін., 2004] [204, Нойвірт та ін., 2003] [225, Браухон, 2006] [320, Eurofer, 2007] [329, Eurofer, 2007]

5.3.11 Коксування з утилізацією теплоти

Опис

Ця система коксування часто також називається «коксуванням без утилізації тепла», оскільки коксування відбувається без утилізації тепла та побічних продуктів. Однак, під час написання (2010 рік), термін «утилізація тепла» застосовувався, коли тепло відхідних газів використовувалося, а самі гази піддавалися десульфурації, що було типовим для нового будівництва.

У процесі коксування з утилізацією тепла практично вся смола і гази, що виділяються в процесі коксування, спалюються в печі і подовому каналі коксової батареї. Процес коксування з утилізацією тепла потребує іншої конструкції печі, ніж у випадку традиційної системи з горизонтальною камерою. Немає необхідності в установці для очищення коксового газу і стічних вод.

Традиційні системи з утилізацією тепла без будь-якого використання відхідних газів та/або очищення є «вуликівими печами», які все ще перебувають в експлуатації в Китаї. Основою для систем утилізації тепла є піч Джевела-Томпсона (Jewell-Thompson oven), в якій кілька печей групується разом, утворюючи одну батарею (див. рис. 5.14).

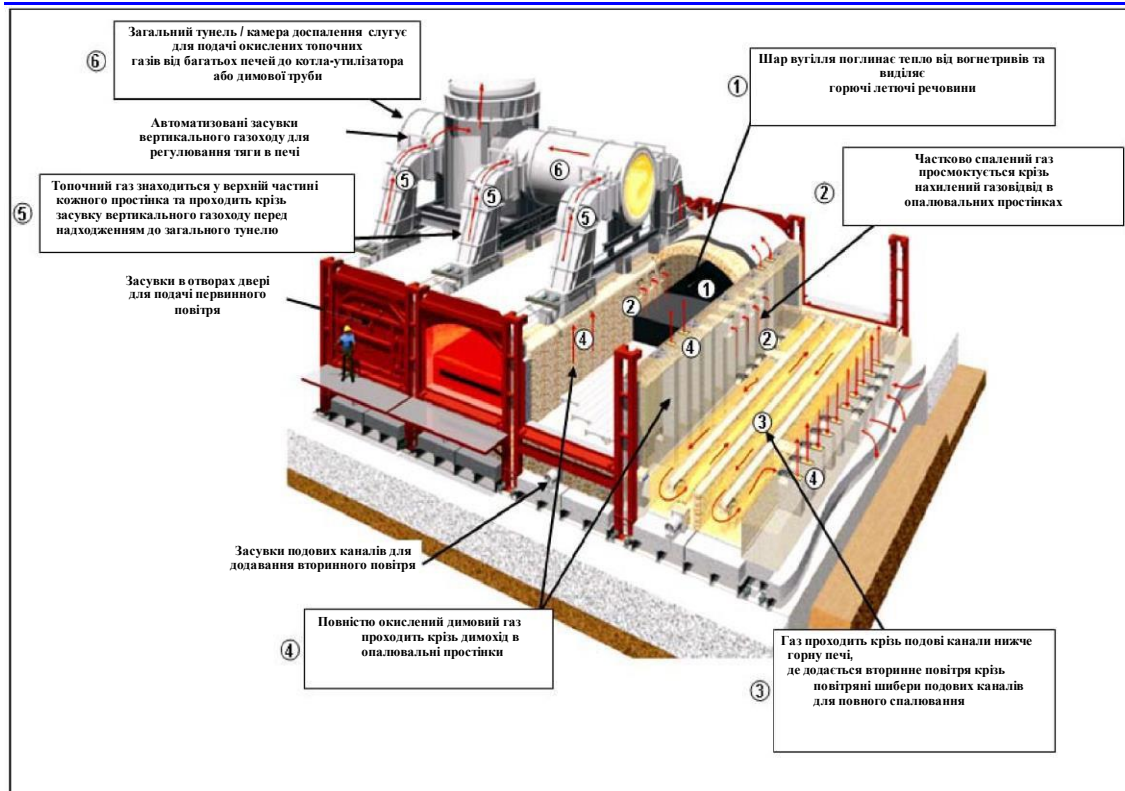


Рис. 5.14. Піч Джевелла-Томпсона і коксовий завод з утилізацією тепла

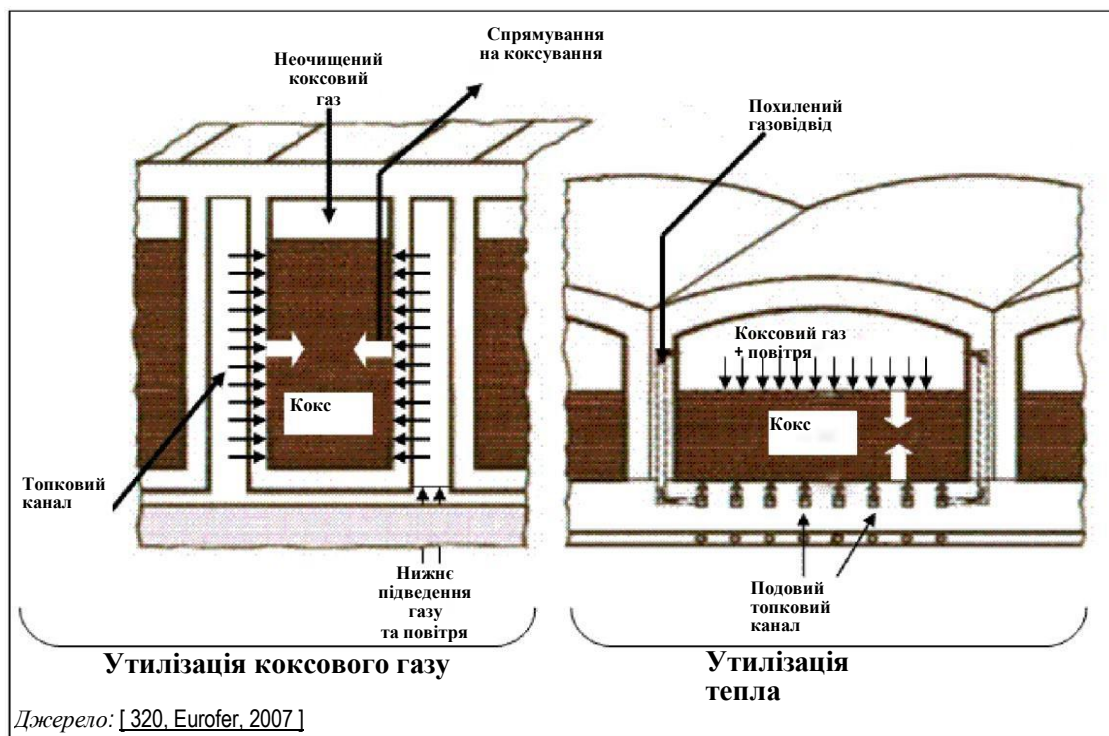
Батарея печей на прямокутній основі з куполоподібним верхом компанії Indian Harbor Coke Company у Східному Чикаго (США) (див. рис. 5.14) має розміри $14 \times 3,5 \times 2,4$ м (довжина \times ширину \times висоту). Вогнетривка футеровка коксової печі складається з динасової (кислої) цегли. Завантаження вугіллям (від 40 до 45 тонн на завантаження) печей проводиться через відчинені двері з машинного боку коксової батареї за допомогою водоохолоджувального вугільного конвеєра. Звичайна висота завантаження становить 1 000 мм.

Процес коксування починається за допомогою тепла, яке збереглося від попереднього циклу коксування. Коксовий газ, що виділяється, частково спалюється у зводу печі при додаванні навколишнього повітря через двері печі та проходить через «похилий газовідвід» в опалювальні канали, розташовані в горні печі. При додатковій подачі навколишнього повітря відбувається повне спалювання неочищеного газу за температури від 1 200 до 1 400 °С.

Отже, коксування вугілля, що подається, відбувається за безпосереднього опалення в районі зводу печі та за допомогою непрямого нагрівання від вогнетривкого горну. Вся система працює при тиску, близькому до атмосферного. Під час утилізації тепла на сучасному заводі гарячі гази використовуються для виробництва енергії, і в подальшому вони піддаються десульфурації перед скиданням в атмосферу.

Час коксування в печах Джевелла-Томпсона становить приблизно 48 год. Після цього кокс видається та гаситься мокрим методом. Найважливіші характеристики, за якими спосіб утилізації тепла відрізняється від звичайної технології отримання коксу, наведені на рис. 5.15, та їх можна підсумувати у такий спосіб:

- отримання коксу на плоскому шарі;
- робота печей за умов негативного тиску;
- постачання повітря безпосередньо до камер печі;
- повне спалювання неочищеного газу в кожній одиничній печі;
- відсутність стічних вод;
- можна отримувати гіпс як побічний продукт.



Джерело: [320, Eurofer, 2007]

Рис. 5.15. Найважливіші характеристики способу утилізації тепла на відміну від утилізації коксового газу

Тільки близько 6 % об'єктів з отримання коксу в усьому світі (на які припадає приблизно 556 млн т коксу на рік), які були введені в експлуатацію у 2005 році, працюють як об'єкти з утилізацією тепла. Найбільш важливі системи знаходяться в США, Південній Америці, Азії та Австралії. Об'єкт з утилізацією тепла компанії Naverhill Ohio в США був зданий в експлуатацію в 2005 році.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У табл. 5.16 наведені показники викидів для коксового заводу без утилізації тепла. Значення стосуються викидів без застосування системи зниження викидів. В м. Ванзант, штат Вірджинія, США, частина димових газів піддається очищенню в термічній сушарці, але інші печі працюють без пристроїв для очищення димових газів.

Оскільки коксова піч працює при тиску, близькому до атмосферного, викиди з дверей протягом операції коксування є настільки малими, що на них можна не зважати. Викиди під час операцій завантаження і видачі коксу на об'єктах без утилізації тепла без системи зниження викидів наведені в табл. 5.16. Відзначимо, що дві наявні батареї, від яких надійшла ця інформація, не оснащені установками для знепилювання протягом завантаження та видачі коксу.

Таблиця 5.16: Викиди під час завантаження та видачі коксу при коксуванні без утилізації тепла, без зниження викидів

Компонент	Значення	Завантаження	Видача	Одиниці вимірювання
Пил	1 960	7,35	276	г/т коксу
SO ₄	7000			г/т коксу
NO _x	380			г/т коксу
CO	77			г/т коксу
Бензен-розчинна органіка		Не визначено	0,65	г/т коксу
Бензопірен		$1,3 \times 10^{-5}$	Не визначено	г/т коксу

Примітка: На основі коефіцієнтів викидів EPA США. Розраховано як г/т вугілля, на основі припущення, що вихід коксу з 1 т вугілля складе 0,78 т (див. п. 5.1.2.3).

Джерело: [74, Кньорзер та ін., 1991].

Попередня умова для екологічно нешкідливої роботи технології утилізації тепла полягає у використанні тепла відхідних газів та в системі зниження викидів (десульфурація) від відхідних газів.

Викиди NO_x перевищують звичайні викиди при стадійному спалюванні, що застосовується для звичайних коксових батарей.

Оскільки коксова піч працює за умов негативного тиску, неорганізовані викиди з дверей, які викликають витіки протягом операції коксування, є настільки малими, що на них можна не зважати. Отже, викиди канцерогенних речовин (наприклад, бензопірену) можна майже повністю попередити протягом операцій коксування. Викиди твердих частинок та бензопірену можуть відбуватися протягом завантаження вугілля.

Поліпшеного контролю викидів можна досягти за допомогою зміни системи відсмоктування з печі або за допомогою додаткового відсмоктування на машинній стороні коксової батареї, включаючи систему знепилювання. Взагалі, викиди твердих частинок під час видачі коксу нижче ніж у разі горизонтальної камери коксування, що пов'язано з меншою висотою, з якої кокс скидається із плаского горну в коксогасильний вагон. Для вловлювання інших викидів твердих частинок на коксовій стороні коксової батареї встановлюється витяжка в поєднанні зі всмоктуючим пристроєм і системою знепилювання.

Міжсередовищні наслідки

Недоліком коксування з утилізацією тепла є велика площа, яку займають печі, внаслідок конструкції з пласким подом, порівняно зі звичайними системами приготування коксу.

Часткове спалювання вугілля протягом коксування призводить до меншого виходу коксу для доменної печі.

Технологія утилізації тепла може використовувати вугілля зниженої якості, а це означає також, що дешевше вугілля, включаючи вугілля, яке слабо коксується, і вугілля, яке випинається, для виробництва коксу еквівалентні за якістю коксу, виробленому на звичайних заводах.

Експлуатаційні дані

Об'єкт з утилізацією тепла компанії Indiana Harbor в штаті Індіана, США, почав працювати з 1998 року. Дані, які повідомляють про досвід експлуатації є достатніми, і вони включають міркування про аспекти, пов'язані з навколишнім середовищем. Повідомлялося про проблеми, пов'язані з відкладеннями сажі у котлах-утилізаторах, коли не відбувається достатнього спалювання коксового газу. Внаслідок негативного тиску протягом коксування видимі викиди від дверей є вкрай малими.

Кокс високої якості може вироблятися за допомогою процесу утилізації тепла з використанням широкого набору вугілля, включаючи те, яке стосується вугілля, що сильно набухає. Якість коксу можна порівняти з якістю коксу, виробленого за допомогою технології коксування в горизонтальній камері. Додаткове підвищення якості коксу може бути досягнуто завдяки ущільненню вугілля, що завантажується.

Можливість застосування

Ця технологія може бути застосована тільки як абсолютно нова концепція заводу залежно від умов на працюючому об'єкті.

Рішення про будівництво системи з утилізацією тепла залежить також від ділянки. Можливість досягнути економічно рентабельного енергетичного зв'язку при інтеграції коксового заводу з утилізацією тепла з наявним металургійним заводом видається складною. На об'єкті з утилізацією тепла не проводиться коксовий газ, який можна використовувати для нагрівання з тим, щоб споживачі використовували його для виробництва пари або електроенергії на ділянці.

Економічні дані

На основі інформації від заводу з утилізацією тепла Indiana Harbor в штаті Індіана, США, інвестиції для абсолютно нового підприємства з утилізацією тепла, що виробляє 1,2 млн т коксу на рік, становлять 365 млн дол., включаючи коксові печі, систему поводження з вугіллям і його змішування, а також електростанцію в 1998 році. Повідомлялося, що у 1998 році тільки для енергетичного об'єкта інвестиційні витрати склали 140 млн дол.

Експлуатаційні витрати зазвичай нижче порівняно з уловлюванням побічних продуктів і використанням коксового газу.

Стимули для впровадження

Основними перевагами використання утилізації тепла при коксуванні є нижчі потреби в робочій силі та можливості використання вугілля з низькою якістю, а це означає дешевше вугілля.

Приклади установок

В Європі немає такого роду прикладів. Кілька таких об'єктів працюють у США та Китаї.

Довідкова література

[115, Уокер, Д.; Баркдолл, М., 2002] [117, Хоффман, А. та ін., 2001] [121, Hein, M. 2002] [124, Арентс, П. та ін., 2006] [200, Єврокомісія, 2001] [320, Eurofer, 2007] [336, Eurofer, 2007]

5.3.12 Зниження викидів при опаленні коксових печей

Спалювання газоподібного палива в камерах нагрівання забезпечує тепло для процесу коксування. Тепло передається до камери коксової печі за допомогою теплопровідності від вогнетривкої кладки. Чим вищою є температура в камері печі, тим коротше час коксування. Найважливішими забруднюючими речовинами при опалюванні коксової печі є NO_x , SO_2 та пил. Зниження викидів при опалюванні коксової печі пов'язано з належним обслуговуванням цегляної кладки, а також із заходами первинного і вторинного зниження викидів для кожної забруднюючої речовини.

5.3.12.1 Мінімізація витоків між камерами коксової печі та камерами випалу

Опис

За допомогою проведення систематичного і безперервного обслуговування коксової печі відповідно до опису, наведеного в п. 5.3.3, витокам із цегляної кладки можна значною мірою запобігти. Витоки через тріщини в цегляній кладці дають можливість, щоб неочищений коксовий газ досяг димових газів від камери випалу. Це призводить до додаткових викидів SO_2 пилу та вуглеводнів. Наявність тріщин легко визначається за видимими викидами чорного диму з димової труби коксової печі протягом випалу. Однак важко ідентифікувати, з якої камери коксової печі відбувається витік. Найпростішим способом, що використовується для визначення тріщин, є спостереження за двома простінками коксової батареї після видачі коксу і топковими каналами безпосередньо після завантаження. Розташування тріщин виявляється за полум'ям, що з'являється у каналах.

Внаслідок тріщин у простінках викиди твердих частинок будуть часто збільшуватись зі зростанням часу експлуатації та будуть перевищувати 10 мг/нм^3 . За допомогою моніторингу кількості сажі в газах, що проходять через димову трубу, персонал коксової печі може ідентифікувати будь-яку тенденцію в чорних викидах з димових труб та

зв'язати викиди з конкретного завантаження печей. Вони в змозі управляти процесом виробництва коксу для зниження витоків між піччю і простінками коксової батареї.

Як тільки проблема ідентифікована, тріщини, отвори та інші види зносу поверхні вогнетривкої кладки можна ефективно ремонтувати за допомогою окситермічного зварювання, зварювання кремнієвими бронзами та за допомогою мокрого або сухого розпилення вогнетривким цементом. У деяких надзвичайних випадках може виникнути необхідність в оновленні кладки.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Зазвичай викиди твердих частинок із димової труби знаходяться нижче 10 мг/нм³. Викиди можна знизити майже до нуля, коли розпорошення застосовується в належний спосіб і проводиться моніторинг тріщин. Якість та умови вогнетривкої кладки в коксовій печі також є дуже важливими в цьому випадку.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватися тільки для наявних об'єктів.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Багато об'єктів в країнах ЄС.

Довідкова література

[33, Айзенхут та ін., 1988] [65, InfoMil, 1997] [130, Штальхерм та ін., 1995] [215, BSS, 2007] [244, Плікерт, 2007] [320, Eurofer, 2007] [338, Eurofer, 2007]

5.3.12.2 Зниження викидів NO_x за допомогою основних заходів

Опис

NO_x, що утворюються, складаються майже повністю з термічних NO_x, які виникають при реакції між N₂ або O₂ у факелі. Утворення термічних NO_x значною мірою пов'язане з піковими температурами і концентраціями O₂ у факелі. Побічно, викиди NO_x пов'язані також із паливом (збагачений доменний або коксовий газ) і з типом палива, що використовується, конкретною вагою завантаження вугілля, часом коксування і розмірами камери коксової печі.

Найефективнішим способом зниження утворення NO_x є зниження температури факела в камері випалу. Тому мета полягає у спалюванні в холодному факелі. Було доведено, що ефективними є три такі методи:

- рециркуляція відхідних газів: гази з коксової печі змішують із паливом і повітрям для спалювання. Знижені концентрації O₂ і підвищені концентрації CO₂ знижують температуру факела. Однак ефект попереднього підігрівання газів для рециркуляції може протидіяти ефекту зниження температури;

- спалювання зі стадійною подачею повітря: за допомогою додавання повітря для спалювання в кілька стадій умови спалювання стають помірнішими, а також знижується утворення NO_x;
- зниження температури коксування: температура впливає на економіку та ефективність використання енергії в коксових печах. Зниження температури коксування вимагає знижених температур в камері нагрівання, а результатом є менше утворення NO_x.

Крім того, температура в камері нагрівання (і, отже, утворення NO_x) можуть бути знижені, в той час як звичайна температура коксування підтримується за допомогою зниження температурного градієнта за товщиною футеровки печі з боку камери нагрівання до коксової сторони коксової печі. Це можна зробити за допомогою використання тоншої цегли та вогнетривів із кращою теплопровідністю. Раніше температура в камері нагрівання 1 320 °С повинна була привести до температури в камері коксування 1 180 °С. На сьогодні досягається температура в камері коксової печі 1200 °С в тій самій камері нагрівання завдяки тоншій цеглі.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Стадійне нагрівання повітря в поєднанні з внутрішньою рециркуляцією відхідних газів сприяє утворенню довгого та «холодного» факела, що є попередньою умовою мінімізації концентрації NO_x у відхідних газах.

Коксові заводи, на яких впроваджені заходи щодо зниження викидів NO_x, інтегровані до технологічного процесу, характеризуються викидами близько 340 г NO_x/т коксу (концентрації: 322 – 414 мг/нм³ при 5 % O₂).

Викиди, що були на декількох німецьких заводах, знаходяться у таких діапазонах:

- при спалюванні змішаного газу: концентрації NO_x 322 – 358 мг/нм³;
- при спалюванні коксового газу: концентрації NO_x 332 – 414 мг/нм³.

Міжсередовищні наслідки

Коли охолоджувальна здатність охолоджувачів неочищеного газу збільшується для підвищення ефективності десульфурації, споживання енергії теж зростає, і зростатимуть можливі термічні викиди. Впливу між середовищами в результаті зниження викидів NO_x з коксової печі ідентифіковано не було.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Заходи щодо зниження викидів NO_x, інтегровані до технологічного процесу, можна застосовувати на нових об'єктах. Зниження температури на наявних об'єктах буде призводити до збільшення часу коксування і до роботи нижче номінальної продуктивності.

Використання тоншої цегли і вогнетривів із кращою теплопровідністю може застосовуватися тільки для нових об'єктів.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Новозбудовані чи реконструйовані цехи оснащені системами для спалювання з низькими викидами NO_x. Наприклад:

- Коксова піч компанії Hüttenwerke Krupp Mannesmann, м. Дуйсбург, район Хукінген, Німеччина
- Коксова піч компанії Prosper, м. Ботроп, Німеччина
- Коксова піч заводу KBS, порт Швельгерн, м. Дуйсбург, Німеччина
- Коксовий завод ВЗ, компанія ArcelorMittal, муніципалітет Фос-сюр-Мер, Франція
- Коксовий завод компанії ArcelorMittal, м. Сереманж, Франція
- Коксовий завод 2, батарея АСО, компанія Corus, м. Скаторп, Сполучене Королівство
- Коксова піч компанії Rivagroup, м. Таранто, Італія.

Довідкова література

[33, Айзенхут та ін., 1988] [130, Штальхерм та ін., 1995] [253, ICSTI 06 2006] [276, Італія, 2007] [320, Eurofer, 2007] [333, Eurofer, 2007]

5.3.12.3 Зниження викидів NO_x за допомогою допоміжних заходів

Опис

Викиди NO_x із коксових печей бажано мінімізувати за допомогою заходів, інтегрованих до технологічного процесу, але можуть також застосовуватися технології очищення в кінці виробничого циклу.

У процесі SCR NO_x в димових газах каталітично відновлюється за допомогою аміаку (NH₃) до N₂ і H₂O. Як каталізатор часто використовують п'ятиоксид ванадію (V₂O₅) або оксид вольфраму (WO₃) на підкладці з діоксиду титану (TiO₂). Іншими можливими каталізаторами є оксид заліза і платина. Оптимальний діапазон робочих температур від 300 до 400 С. Такі високі температури знижують утилізацію енергії в регенераторах (оптимальний діапазон від 180 до 250 С) коксових печей, або необхідне додаткове нагрівання відхідних газів.

Особливу увагу слід приділяти дезактивації каталізатора, накопиченню вибухонебезпечного нітрату амонію (NH₄NO₃), проскакування аміаку та утворенню корозійного SO₃.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Можна досягти ефективності очищення від оксидів азоту 90 %. Поки що немає значного досвіду щодо сталого використання цієї техніки в коксових цехах.

Міжсередовищні наслідки

Відбувається зростання споживання енергії та аміаку. Частина каталізатора повинна віддалятися, коли він втрачає свою ефективність.

Експлуатаційні дані

У 1976 році SCR було здано в експлуатацію компанією Kawasaki Steel Chiba Works, Японія, для очищення відхідних газів після коксової печі. Система мала продуктивність 500 000 нм³/год. Робоча температура складала 240 С, а відновлювальним середовищем був аміак. Ефективність очищення від оксидів азоту склала 90 %. Утворення сульфату амонію та накопичення пилу означають, що каталізатор треба регенерувати раз на день за допомогою нагрівання відхідних газів до > 260 С.

У 1992 році SCR була виведена з експлуатації у зв'язку із закриттям коксових батарей.

Можливість застосування

SCR застосовується тільки для нових заводів.

Економічні дані

Повідомлялося про такі витрати для SCR: інвестиції: 47 млн євро в 1976 році; дані про експлуатаційні витрати відсутні.

Повідомлялося про такі витрати для SCR: капітальні витрати 50 євро (нм³/год) ± 30 % в 1996 році. Отже, для батарей коксових печей із витратою відхідних газів 300 000 нм³/год і продуктивністю 1 млн т коксу на рік витрати складатимуть:

- інвестиційні: 15 млн євро ± 5 млн в 1996 році.
- експлуатаційні: 0,17 – 0,51 євро/т коксу в 1996 році.

Приклади установок

Система SCR для очищення відхідних газів коксових печей від оксидів азоту застосовувалася на коксових батареях 2, 3 і 6 компанії Kawasaki Steel заводу Chiba Works, Японія. Згодом вони були виведені з експлуатації. На сьогодні у світі немає в експлуатації жодної коксової батареї з використанням SCR.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [276, Італія, 2007] [339, Eurofer, 2007].

5.3.12.4 Зниження викидів SO₂ при десульфурації коксового газу

Опис

Рівень викидів SO₂ значною мірою пов'язаний із вмістом сірки у паливі. Отже, викиди SO₂ можна мінімізувати за допомогою мінімізації вмісту сірки у паливі. Зазвичай використовується (збагачений) доменний або коксовий газ для спалювання в коксових печах. Вміст сірки у коксовому газі залежить від ступеня десульфурації установки для очищення коксового газу. Вміст H₂S в очищеному коксовому газі може змінюватися від 1 до 1 000 мг/нм³ залежно від типу використовуваної десульфурації та її відповідної ефективності. Якщо десульфурація не застосовується (що все ще зустрічається на деяких заводах в ЄС), вміст H₂S може бути на рівні 8 – 12 г H₂S/нм³. У збагаченому доменному газі вміст сірки нижче.

Викиди пилу можуть значно зрости, та й викиди SO₂ можуть також зрости, коли неочищений коксовий газ із витоків у камерах коксової печі проходить крізь тріщини в простінках коксової батареї і спалюється разом з паливним газом. Паралельно буде утворюватися пил внаслідок неповного спалювання коксового газу, а також газу від нижнього обігріву. Якщо це відбувається, можна спостерігати візуально викиди твердих частинок (чорний дим) з димової труби коксової батареї. Викиди твердих частинок також відбуваються, коли в газі нижнього обігріву міститься пил.

Неочищений коксовий газ не підходить для використання в багатьох промислових застосуваннях внаслідок вмісту H₂S. Але коли газ піддається десульфурації, його використання для багатьох застосувань стає можливим. Багато заводів продають коксовий газ після десульфурації, отримуючи дохід. Десульфурація з комерційних причин збігається з необхідністю захисту навколишнього середовища від впливу «кислотних дощів», оскільки у випадку коксового газу, що пройшов стадію десульфурації, знижуються викиди SO₂ в місці спалювання коксового газу. У багатьох випадках сірка видалається протягом двох стадій: на стадії низького тиску і на стадії високого тиску. Десульфурація коксового газу стає все частішою практикою в країнах ЄС-27.

У коксовому газі містяться також різні органічні сполуки сірки, такі як дисульфід вуглецю (CS₂), оксисульфід вуглецю (COS), меркаптани тощо (приблизно 0,5 г/нм³). Однак є тільки обмежена інформація щодо утилізованих органічних сполук сірки з коксового газу.

Як описано в п. 5.1.4.4, є два основні типи процесів десульфурації коксового газу: мокрий окислювальний процес та абсорбція із подальшим відгоном легких фракцій. Абсорбційні

процеси об'єднують видалення H_2S та аміаку (NH_3) з переробкою. Видалені сульфід водню та аміак утилізуються у вигляді пари у відпарювальних аміачних колонах.

Пара для відпарювання у відпарювальних аміачних колонах направляється безпосередньо в колону. Пари з високим вмістом H_2S/NH_3 можна подавати або в установку Клауса, де розпадаються аміак та сульфід водню з утворенням елементарної сірки, або направляти в цех для виробництва сірчаної кислоти в поєднанні з виробництвом сульфату амонію.

Протягом ряду років процес Клауса піддавався безперервному розвитку з підвищенням ефективності процесу утилізації сірки. Однією з таких розробок є процес OxyClaus®. Ця технологія така сама, як і процес Клауса, але замість повітря використовується кисень. Спочатку віддається NH_3 за допомогою крекінг реакції (при 1 450 °C). Потім видається H_2S за допомогою очищення чистим киснем (OxyClaus), з отриманням рідкої сірки.

В табл. 5.17 перераховані різні процеси десульфурації коксового газу та їхні характеристики.

Таблиця 5.17: Процеси десульфурації коксового газу та їхні характеристики

Процеси мокрого окислення		Абсорбція/процеси відгону	
Назва	Опис	Назва	Опис
Stretford	Очищення коксового газу від H_2S проводиться з отриманням розчину карбонату натрію (Na_2CO_3) та елементарної сірки (S^0) при використанні ванадату (VO_3) як проміжного каталізатора. Регенерація очищувальної рідини відбувається за допомогою аерації (O_2) з використанням як проміжної сполуки антрахінон-2,6-дисульфонової кислоти (ADA)	Carl Still, Diamex®, Cyclasulf® абоASK (*)	Очищення коксового газу від H_2S проводиться за допомогою розчину NH_3 . Розчин NH_3 виходить із аміачного скрубера. H_2S і NH_3 відганяються з промивної рідини за допомогою відгонки паром, а пару направляють на установку Клауса або установку для отримання сірчаної кислоти
Takahax®	Схоже до процесу Stretford за винятком того, що як проміжна сполука для регенерації використовується 1,4-нафтохінон-2-сульфонова кислота	Vacasulf®	Процес застосовується для коксового газу з низьким вмістом аміаку. Очищення коксового газу від H_2S , а також HCN і CO_2 проводиться за допомогою розчину карбонату натрію або карбонату калію (Na_2CO_3 або K_2CO_3). Варіант із карбонатом калію дає змогу мати підвищені концентрації карбонату. Промивна рідина регенерується в колонні, з використанням високої температури і низького тиску (0,12 – 0,14 бар). Кислі гази відганяються з розчину і можуть очищуватися в установці Клауса або на установці для отримання сірчаної кислоти.
Thylox®	Тіоарсенати натрію ($Na_4As_2S_5O_2$) пов'язують H_2S , а регенерація відбувається за допомогою обробки киснем. Виходить елементарна сірка	Sulfiban®	Коксовий газ очищується за допомогою моноетаноламіну (MEA). NH_3 видається перед видаленням H_2S , що необхідно для запобігання забрудненню промивної рідини. H_2S очищується від розчину MEA з використанням пари, і його можна видалити в установці Клауса або на установці для отримання сірчаної кислоти. Нерозчинні органічні сполуки сірки видаються з розчину MEA як тверді відходи
Perox®	Очищення газу аміачним розчином. Для окислення сірки використовується парабензохінон, а регенерація очищувальної рідини проводиться за допомогою кисню	Desulf®	Фактично те ж саме, що процес ASK, але NH_3 видається з парів NH_3/H_2S в сатураторах, з отриманням сульфату амонію ($(NH_4)_2SO_4$)
Fumaks® Rhodacs®	H_2S окислюється пікриновою кислотою в процесі Фумакса, виходить елементарна сірка. Ціаніди утилізуються в процесі Родакса		

(*) ASK (Ammoniumsulfide Kreislaufwäscher) = процес десульфурації з використанням сульфату амонію.
Джерело: [21, EC Coke, 1996] [153, UN-ECE, 1990] [186, Сова та ін., 2009] [242, Кофлін, 2007] [252, Франція, 2007] [254, Eurofer, 2007].

В Європі найчастіше застосовують абсорбційний процес з використанням амонійного розчину для очищення коксового газу від H_2S (процеси Carl Still, Diamex, ASK або Cyclasuff). На рис. 5.16 показана блок-схема установки для десульфурації коксового газу із застосуванням процесу ASK, впровадженого в 1997 році.

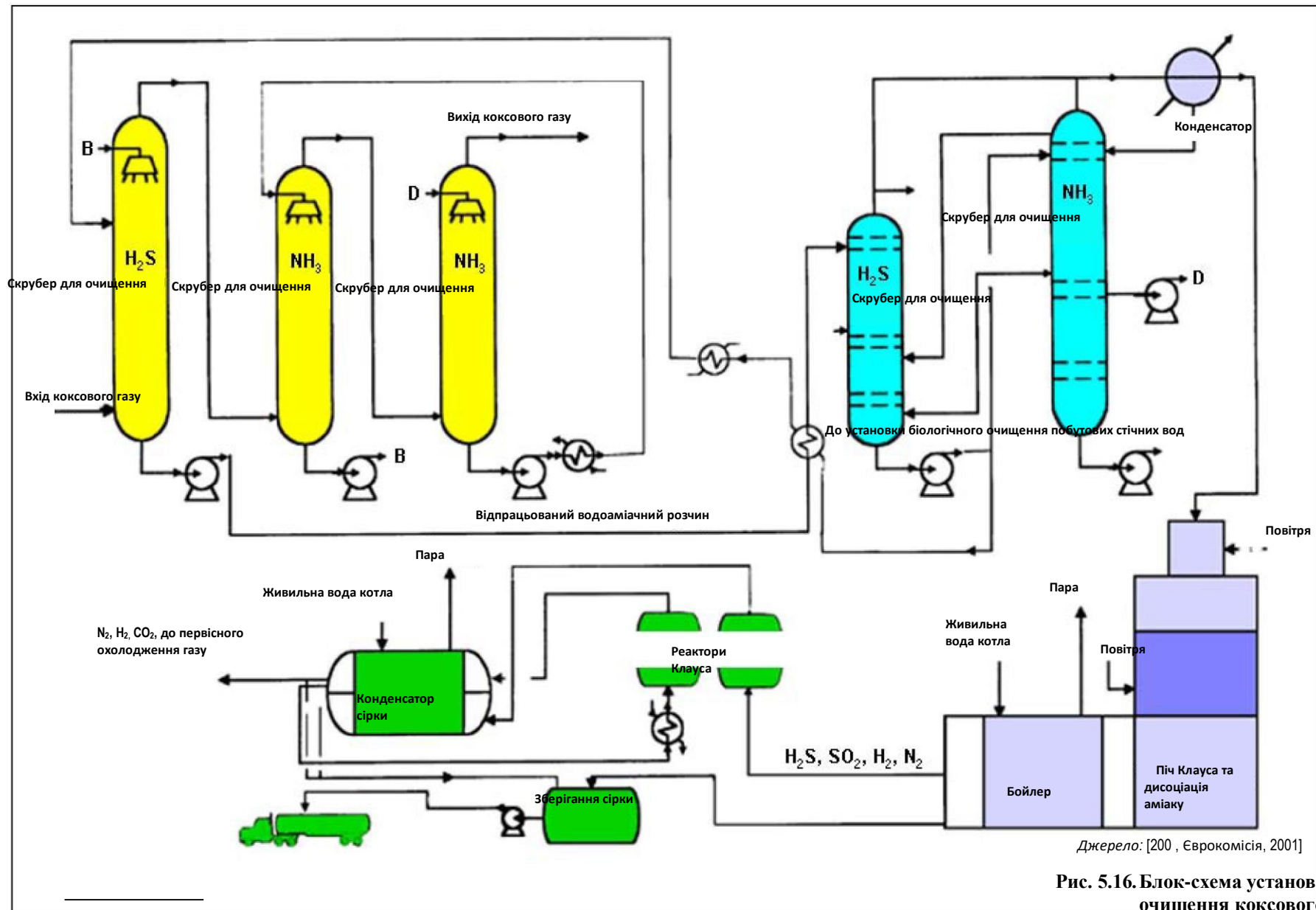


Рис. 5.16. Блок-схема установки для очищення коксового газу з процесом ASK (аміачна вода), встановленої в 1997 році

Серед процесів мокрого окислення найчастіше застосовується процес Стретфорда. Він застосовується для широкого діапазону продуктивностей десульфурації. Наявні у пресі відомості охоплюють діапазон продуктивності за десульфуризацією коксового газу від 400 до 110 000 нм³/год.

Додаткову інформацію щодо установки для отримання сірчаної кислоти можна знайти в BREF з виробництва великих обсягів неорганічних речовин [168, Єврокомісія, 2007].

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Процеси мокрого окислення характеризуються кращою ефективністю десульфурації, ніж абсорбція процесу десульфурації. Їхня ефективність може становити >99,9 %, із досягненням низької залишкової концентрації H₂S, яка дорівнює 1 мг/нм³ для коксового газу. Додатково розроблені абсорбційні методи (методи відгонки), такі як ASK або Cyclasuff, допомагають досягти ефективності десульфурації >95 %, при залишкових концентраціях H₂S в коксовому газі від 50 до 500 мг/нм³.

В умовах оптимізованого процесу OxyClaus може бути досягнута ефективність крекінгу аміаку та утилізації сірководню 99,9 %. За цієї технології значно зростає утилізація H₂S порівняно із традиційними способами Клауса, але вони працюють за вищих температур.

Жодна з наявних технологій не дає змогу видаляти сполуки органічної сірки з високою ефективністю. На стадії очищення газу за низького тиску вдається знизити концентрації органічних сполук сірки тільки з 0,5 до 0,2-0,3 г/нм³.

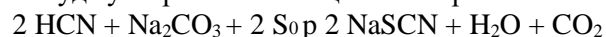
В умовах оптимізованого процесу OxyClaus може бути досягнута ефективність видалення NH₃ і H₂S на рівні 99,9 %. При цій технології ступінь десульфурації підвищується на 50 % порівняно із традиційними способами.

На двох німецьких установках із нижнім підігрівом абсорбційний процес десульфурації відбувається в таких діапазонах:

- десульфурація при опаленні змішаним і коксовим газом: концентрація SO₂ від 111 до 157 мг/нм³
- при опаленні коксовим газом і десульфурації коксового газу: концентрація SO₂ від 118 до 128 мг/нм³.

Міжсередовищні наслідки

При будь-якому мокрому окислювальному процесі, що використовується для десульфурації коксового газу, буде віддалятися більша частина ціаніду водню з коксового газу, а також буде утворюватися тіоціанат натрію за такою реакцією:



Тіоціанат натрію і невеликі кількості сульфату натрію та тіосульфат, що утворюються при побічних реакціях, які не регенеруються у процесі та збираються в циркулюючому розчині.

Тому необхідно очистити потік рідини для запобігання висолювання хімічних речовин. У разі процесу Стретфорда в цьому потоці, що скидається, містяться сполуки ванадію, сполуки хінону та гідрохінону (від антрахінону дисульфонової кислоти), тіоціанід та тіосульфат. Скидання цих компонентів є небажаним з екологічної та економічної точки зору (забруднення води та втрата дорогих хімікатів). Зазвичай такі речовини піддаються рециклінгу за допомогою усереднення вугілля.

Для зниження споживання хімікатів ціанову кислоту (HCN) можна видалити до процесу десульфурації в пристрої для попереднього промивання з використанням розчину полісульфіду натрію або полісульфіду амонію. Попереднє видалення HCN не знижує загального обсягу стоку, що утворюється.

Для процесу ОхуСлаус енергія необхідна для крекінгу, але каталізатор для видалення аміаку не потрібен. Викиди NO_x можна знизити.

У рідкісних випадках, наприклад коли виробництво коксового газу перевищує попит на нього, надлишок коксового газу повинен спалюватися на свічці з погляду безпеки. При цьому утворюються викиди. Оцінка для одного прикладу представлена в табл. 5.6. Ефективність спалювання на свічці повинна бути $>95\%$.

Робота в режимі байпасу може привести до значних викидів. На одному з коксохімічних підприємств компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, видалення з коксового газу проводилося за допомогою абсорбційного процесу Sulfiban при використанні МЕА (моноетаноламіна). Ефективність десульфурації цього процесу становить приблизно 95% . H_2S , що видаляється з МЕА, конвертується в сірчану кислоту. Установа для виробництва сірчаної кислоти не працює протягом трьох тижнів на рік внаслідок необхідності обслуговування відпарювальної колони моноетаноламіну (1,5 тижнів) та самої установи для виробництва сірчаної кислоти (1,5 тижнів). Протягом цього періоду неочищений коксовий газ додається в мережу паливного газу або використовується для нагрівання коксових печей, що призводить до додаткових викидів SO_2 в кількості близько 400 т.

Експлуатаційні дані

Процес ОхуСлаус знаходиться в експлуатації на коксовому заводі компанії ArcelorMittal в муніципалітеті Фос-сюр-Мер з 2002 року. Протягом цього часу викиди діоксиду сірки знизилися з 1 900 до нижче ніж 500 г/т коксу.

Можливість застосування

Десульфурація коксового газу за допомогою як мокрого окислення, так і абсорбційного процесу застосовується на нових та наявних об'єктах. Вибір залежить від технічних умов для очищення коксового газу, екологічних міркувань, інтеграції в систему очищення газу тощо.

Економічні дані

Типові експлуатаційні та капітальні витрати для десульфурації $42\ 000\ \text{нм}^3/\text{год}$ коксового газу, що містить $6\ \text{г}/\text{нм}^3\ \text{H}_2\text{S}$ та $6\ \text{нм}^3\ \text{NH}_3$, для двох основних типів способів десульфурації коксового газу, що використовуються в Європі (ASK та Stretford) наведені в табл. 5.18. Повідомлялося, що підвищення ефективності десульфурації з 95 до $99,9\%$ у процесі Stretford привело до підвищення витрат тільки на 10% . У цьому процесі найважливішими статтями експлуатаційних витрат є амортизаційні відрахування і витрати на хімікати (див. табл. 5.18). У разі коксового газу з високими концентраціями HSN ($>2\ \text{г}/\text{нм}^3$) споживаються порівняно великі кількості хімікатів. В цьому випадку корисним може виявитися попереднє промивання від HSN перед установкою Stretford.

Витрати на впровадження технології десульфурації газу становлять близько 30 млн євро (капітальні витрати) для коксового цеху приблизно із сотнею печей (ArcelorMittal).

Таблиця 5.18: Типові експлуатаційні та капітальні витрати для десульфурації 42 000 нм³/год коксового газу, що містить 6 г/нм³ H₂S і 6 нм³ NH₃ для двох основних типів технологій десульфурації коксового газу, що використовуються в Європі (ASK та Stretford)

Параметр		Одиниці вимірювання	Сульфат амонія/процес Стретфорда	Процес ASK/установка Клауса
Неочищений коксовий газ	H ₂ S	г/нм ³	6	6
	NH ₃	г/нм ³	6	6
Чистий коксовий газ	H ₂ S	мг/нм ³	2	300
	NH ₃	мг/нм ³	30	30
Ціна за витратні матеріали (євро)				
Ціна за витратні матеріали (євро)	Витратні матеріали	Одиниці вимірювання	Сульфат амонія/процес Стретфорда	Процес ASK/установка Клауса
11,9/т	Пара	т/добу	154	264
0,34 кВт-год	Електроенергія	кВт-год/добу	11 900	6 600
128/т	H ₂ SO ₄ (98 %)	т/добу	17,5	–
7,7/кг	ADA	кг/добу	24	–
27/кг	Ванадат	кг/добу	10	–
5,5/кг	Тартрат	кг/добу	13	–
370/т	Сода	т/добу	2,6	–
110/т	Каустична сода (гідроксид натрію)	т/добу	9,6	9,6
Параметр				
Параметр		Одиниці вимірювання	Сульфат амонія/процес Стретфорда	Процес ASK/установка Клауса
Продукти	Сірка	т/добу	4,8	5,4
	Сульфат амонія	т/добу	23,5	–
Доходи	Сірка	євро/т	125 ⁽¹⁾	250 ⁽¹⁾
	Сульфат амонія	євро/т	180 ⁽²⁾	–
Щорічна сплата відсотків за боргом		%	11	11
Щорічні витрати на технічне переоснащення		%	4	4
Загальна чисті витрати				
Пара за фактичною вартістю		євро/1 000 нм ³	9,80	9,20
Пара безкоштовно		євро/1 000 нм ³	8,00	6,10
Примітка: Ціни на сірку і аміак характеризуються високими коливаннями. Під час написання цього документа (2010 рік) ціни були такі:				
⁽¹⁾ 16 – 21 євро/т сірки для ASK/процесу Клауса – нижнє або рівне нулю значення для сірки з процесу Стретфорда				
⁽²⁾ 50 – 70 євро/т сульфату амонія.				
Джерело: [65, InfoMil, 1997] [118, Ротери, 1987] [186, Сова та ін., 2009] [320, Eurofer, 2007].				

Витрати на перехід з амонійного процесу на процес десульфурації OxyClaus склали 12 млн євро для заводу продуктивністю 1,5 млн т коксу/рік .

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

У табл. 5.19 наведено огляд установок (перелік не є вичерпним).

Таблиця 5.19: Таблиця з прикладом установок із процесом десульфурації коксового газу

Мокре окислення	
Stretford	<ul style="list-style-type: none"> • ArcelorMittal, Гамільтон, Канада • Metarom, Румунія • Erdemir, Туреччина • ArcelorMittal, Лорен, Франція • Kobe Steel, Какогава, Японія • Posco, Південна Корея
Takahax®	<ul style="list-style-type: none"> • Nippon Steel, Явата, Японія • Nippon Steel, Нагоя, Японія • Nippon Steel, Хірохата, Японія • Nippon Steel, Оіта, Японія • Nippon Steel, Муроран, Японія • Nippon Kokan, Фукуяма, Японія • Nippon Kokan, Кейхін, Японія
Fumaks® Rhodacs®	<ul style="list-style-type: none"> • Nippon Steel, Кіміцу, Японія • Sumitomo Metal Industries, Вакаяма, Японія • Sumitomo Metal Industries, Касіма, Японія • Kawasaki Steel, Тіба, Японія
Thylox®	<ul style="list-style-type: none"> • Немає даних
Абсорбційні процеси	
Vacasulf®	<ul style="list-style-type: none"> • Maanshan Iron & Steel Company Ltd, Китай
Carl Still, Diamex®, ASK або Cyclasulf®	<ul style="list-style-type: none"> • Prosper, Ботроп, Німеччина • ZKS, Діллінген, Німеччина • KBS, Дуйсбург, Німеччина • Kawasaki Steel, Мідзусіма, Японія • Corus, Еймьойден, Нідерланди • ArcelorMittal, Гент, Бельгія • Voestalpine, Лінц, Австрія • Rivagroup, Таранто, Італія • ArcelorMittal, Дюнкерк, Франція • ArcelorMittal, Фос-сюр-Мер, Франція
Sulfiban®	<ul style="list-style-type: none"> • Коксова піч № 1, Corus, Еймьойден, Нідерланди • Nippon Kokan, Кейхін, Японія

Джерело: [65, InfoMil, 1997] [252, Франція, 2007].

Довідкова література

[33, Айзенхут та ін., 1988] [65, InfoMil, 1997] [118, Ротері, 1987] [223, USEPA, 2001] [242, Кофлін, 2007] [249, Нідерланди, 2007] [252, Франція, 2007] [254, Eurofer, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [297, Хеккема та ін., 2004] [320, Eurofer, 2007]

5.3.13 Зниження викидів при виштовхуванні коксу

Опис

Було розроблено декілька технологій для мінімізації викидів пилу з коксової сторони коксової батареї при виштовхуванні коксу, включаючи такі:

- використання навісів із коксової сторони коксової батареї, включаючи евакуацію та знепилювання. Евакуація відбувається за допомогою навісу, встановленого з коксової сторони коксової батареї, і знепилювання в рукавному фільтрі;
- використання контейнерного вагона. Кокс вивантажується безпосередньо з камери коксової печі в контейнерний вагон. Кокс не вступає в контакт з киснем, і утворюється тільки невелика кількість пилу. Зазвичай цей прийом застосовується в поєднанні із сухим гасінням коксу;

- використання машини для транспортування коксу при його видачі з інтегрованою витяжкою, стаціонарним газоходом і стаціонарним очищенням газу, переважно з використанням рукавного фільтра, за так званою системою «Minister Stein System» (назва металургійного заводу в Дортмунді, Німеччина). Протягом всього процесу видачі коксу коксогасильний вагон розташовується в районі охоплення системи знепилювання (використання стаціонарного або мобільного коксогасильного вагона із вбудованою витяжкою на машині для транспортування коксу). Приклад системи знепилювання для збору пилу від відштовхування коксу наведено на рис. 5.17;
- підтримання достатнього часу коксування, рівномірного нагрівання та його оптимізації, що є важливим для запобігання видачі неготового коксу.

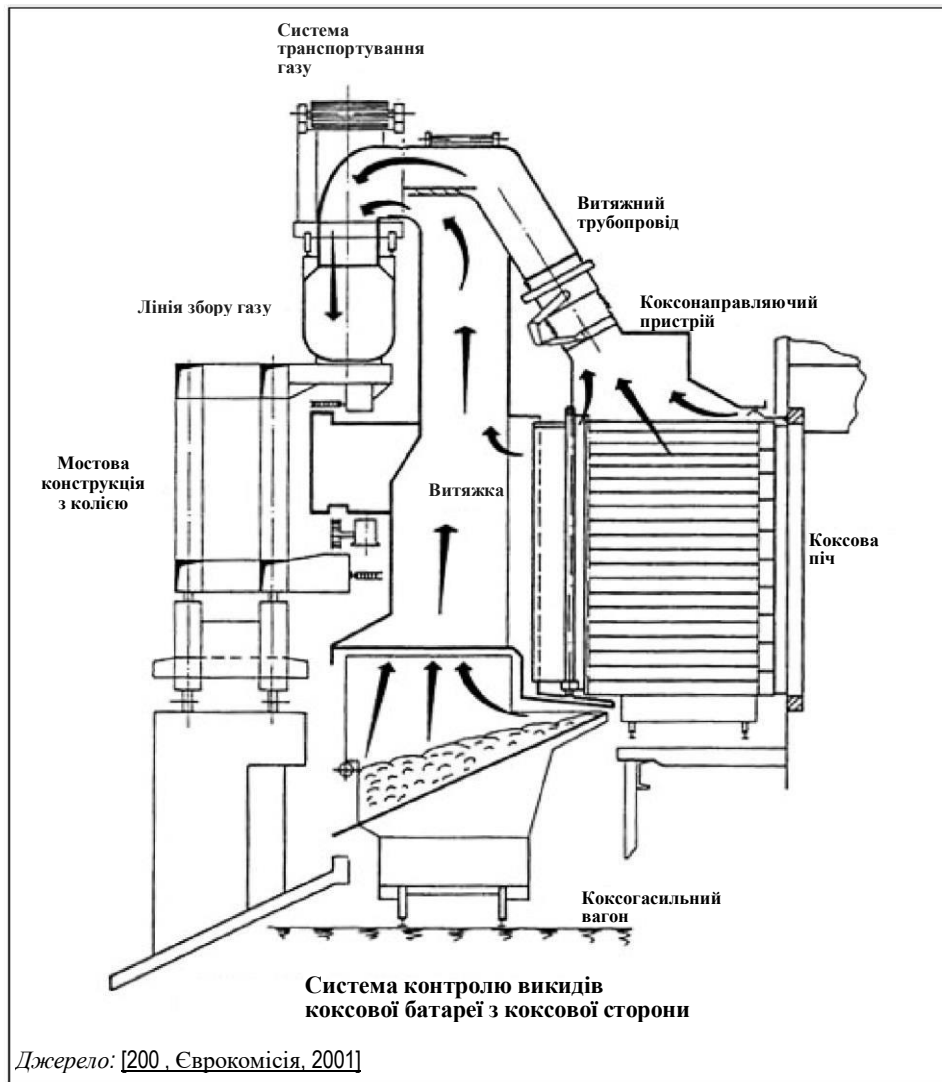


Рис. 5.17. Приклад системи знепилювання при виштовхуванні коксу

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Без системи знепилювання викиди пилу становлять близько 500 г/т коксу. З чотирьох технологій, згаданих вище, найкращі характеристики щодо ефективності збору має система «Minister Stein», в поєднанні з хорошими умовами роботи для операторів (на відміну від навісу з коксової сторони). На наявних заводах досягається ступінь видалення пилу >99 %. Система заснована також на евакуації за допомогою стаціонарного газоходу.

Продуктивність за витяжкою повітря часто становить близько 200 000 $\text{нм}^3/\text{год}$ на заводах із використанням системи «Minister Stein», але вона залежить від розміру камери. На заводі компанії Thyssen Krupp Stahl AG в м. Дуйсбург, Німеччина, продуктивність за витяжкою складає приблизно 400 000 $\text{нм}^3/\text{год}$.

Часто для мінімізації викидів твердих частинок використовують рукавні фільтри. В одному випадку для рукавного фільтра при видачі коксу повідомлялося, що викиди пилу склали $0,9 \text{ мг/нм}^3$ як середньорічне значення і $1,5 \text{ мг/нм}^3$ для 95-го перцентилю (як порівняльного періоду часу використовували півгодинні середні значення). Загалом, повідомлялося, що концентрації пилу у викидах були $<30 \text{ мг/нм}^3$ із зазначенням відповідної технології, що застосовувалася. Системи мокрого газоочищення, які все ще застосовуються, досягають значень концентрації пилу $<20 \text{ мг/нм}^3$.

Загалом, коефіцієнти викидів (з димової труби) можуть досягнути рівня нижче 5 г пилу/т коксу . При вищезгаданих обсягах газу питомий об'єм витяжки можна оцінити в $500 - 1\,000 \text{ м}^3/\text{т коксу}$. При такій величині і коефіцієнті викидів 5 г/т коксу можна розрахувати концентрацію викидів у 5

– 10 мг/м^3 при використанні ефективних методів газоочищення.

Міжсередовищні наслідки

Для роботи системи знепилювання потрібна енергія для приводу вентиляторів системи витяжки. Зібрані тверді частинки можуть бути повернуті до процесу.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Знепилювання з коксової сторони коксової печі може застосовуватись як для нових, так і для наявних установок. На наявних заводах повинні прийматися рішення, відповідні наявним умовам. Обмеженням іноді є нестача місця.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Система Minister Stein System експлуатується на таких заводах та установках:

- US Steel Clariton Works, Пітсбург, США
- ArcelorMittal, Гент, Бельгія
- ArcelorMittal, Дюнкерк, Франція
- ArcelorMittal, Фос-сюр-Мер, Франція
- ArcelorMittal, Сереманж, Франція
- Mannesmann Hüttenwerke Krupp, м. Дуйсбург, район Хукінген, Німеччина
- Prosper, Ботроп, Німеччина
- Corus, Еймьойден, Нідерланди
- Kansai Coke and Chemicals, Какогава, Японія
- Voestalpine, Лінц, Австрія
- Rivagroup, Таранто, Італія.

Довідкова література

[33, Айзенхут та ін., 1988] [65, InfoMil, 1997] [223, USEPA, 2001] [227, WB, 1998] [244, Плікерт, 2007] [253, ICSTI' 06 2006] [276, Італія, 2007] [320, Eurofer, 2007]

5.3.14 Сухе гасіння коксу

Опис

На рис. 5.18 представлена схема установки сухого гасіння коксу (CDQ), що складається з охолоджувальної установки шахтного типу, котла-утилізатора і системи рециклінгу газу.

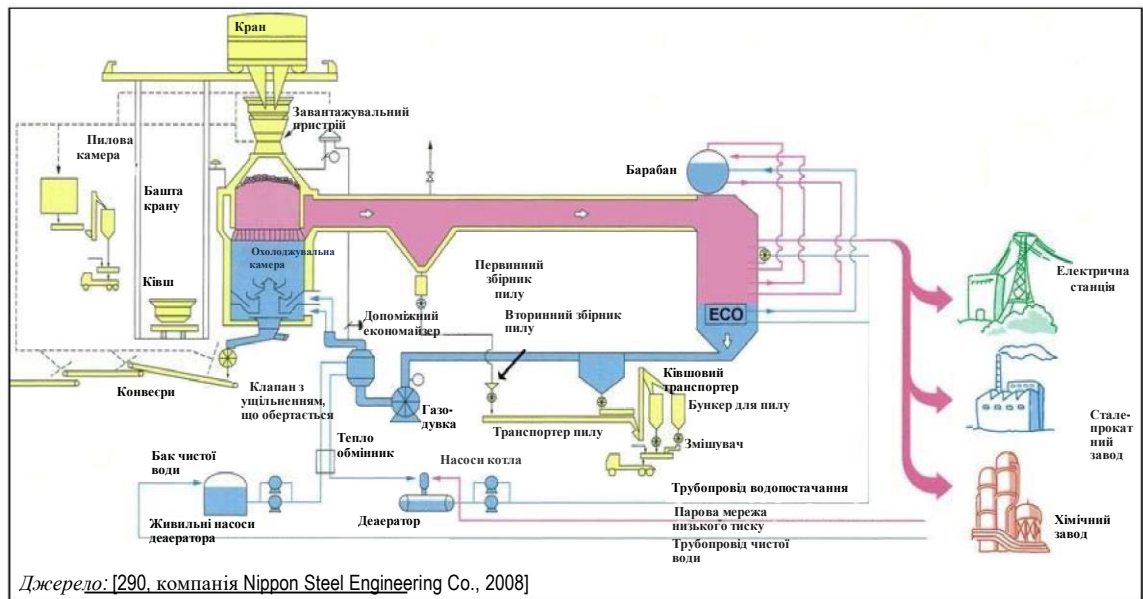


Рис. 5.18. Схема установки сухого гасіння коксу

Установка CDQ складається з двох або більше охолоджувальних камер і з'єднаних із ними котлів-утилізаторів та навантажувальних кранів як єдиних установок. Кокс охолоджується в цих камерах за допомогою циркуляції газу. Газ, що циркулює, являє собою суміш, що складається, передусім, з азоту та інших інертних газів. Ця суміш утворюється, коли кисень вигорає протягом стадії виконання циклу. Температура газу, що циркулює, після камери становить близько 780 °С, а після котла-утилізатора 150 °С. Температура коксу, що вивантажується до камери сухого гасіння, складає 1050 °С, а після камери – близько 180 °С. Кокс виходить із камери близько 5 год. Мінімальна продуктивність типової установки CDQ складає менше 100 т/год/камеру. Установка, яка працює з номінальною продуктивністю, виробляє близько 25 т/год пари високого тиску (93 бар). Кокс транспортується по стрічковому конвеєру з установки CDQ на станцію сортування коксу для доменної печі.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Сучасна CDQ оснащена системами завантаження і вивантаження пилу і котлами-утилізаторами з первинними і вторинними мішками. Протягом кінцевого збору рукавними фільтрами досягаються коефіцієнти викидів пилу менше 3 г/т коксу, що відповідає менш ніж 20 мг/м³. Викиди SO₂ знаходяться на рівні 200 мг/м³. Скиди в поверхневі води близькі до нуля. Зібраний коксовий пил постачається як паливо на агломераційну установку.

З використанням CDQ можна утилізувати близько 0,5 т пари/т коксу та використовувати для виробництва електроенергії. Викиди пилу із системи транспортування та просіювання можуть викликати необхідність у встановленні додаткової стадії охолодження або у використанні води для отримання вмісту вологи на рівні 1 %. Виробництво пари (з тиском 93 бар) становить приблизно 470 000 т/рік, а виробництво пари (з тиском 8 бар) становить близько 50 000 т/рік. Пара з тиском 93 бар здебільшого використовується на електростанції компанії Raabe Steel Works, в м. Raabe, в губернії (ляні) Оулу, на березі Ботнічної затоки, Фінляндія, потужність якої за електроенергією становить приблизно 15 МВт.

Скиди у води близькі до нуля. Значення РАН і ЛОС вкрай малі. В атмосферу не виділялися пилові хмари.

Вміст вологи в коксі менший порівняно з мокрим гасінням, що може бути корисним в доменній печі.

Міжсередовищні наслідки

Поводження з коксом сухого гасіння може стати причиною більшого рівня викидів пилу, ніж при поводженні з коксом мокрого гасіння. Споживання електроенергії вентиляторами, робота різних пристроїв для знепилювання також вимагає електроенергії. Однак баланс електроенергії буде досить позитивним внаслідок утилізації вторинного тепла, яке зазвичай передається для вироблення електроенергії.

Експлуатаційні дані

Згідно з офіційними даними про реєстрацію часу роботи в Японії, ця система має коефіцієнт використання приблизно в 97 %. Обслуговування зазвичай проводиться протягом періодів обслуговування коксових печей. Потрібен лише невеликий додатковий час обслуговування.

Вологомісткість коксу складає приблизно 0,05 %, порівняно з коксом мокрого гасіння, де цей показник знаходиться в діапазоні від 2 до 5 %. Тому кокс такої якості застосовується переважно для доменних печей, а витрати на транспортування і підготовлення сухого коксу нижче, особливо в зимових умовах. Крім того, міцність коксу на 1,5 – 2 бали вище з погляду показника міцності коксу в барабані 150/25, ніж коксу мокрого гасіння, внаслідок того факту, що не відбуваються втомні тріщини, оскільки кокс не охолоджується так швидко, як при мокрому гасінні. Це приводить до підвищення витрат коксу, ступеня пиловугільного вдування і підвищення продуктивності доменних печей.

Можливість застосування

Технологію CDQ можуть застосовувати на нових та наявних установках. Для безперервної роботи установок CDQ є два варіанти. В одному випадку в установці CDQ є від двох до чотирьох камер. Одна установка завжди знаходиться в резерві. Відповідно, немає необхідності в мокрому гасінні, але для установки CDQ необхідна надлишкова потужність з підвищеними витратами. В іншому випадку необхідна додаткова система мокрого гасіння. Для модернізації наявних установок для гасіння можна використовувати наявну систему мокрого гасіння. Така установка CDQ не має надлишкової потужності порівняно зі звичайним коксовим заводом.

Економічні дані

Інвестиції в установку CDQ з річною продуктивністю 2 млн т коксу складають приблизно 100 млн євро (з яких очікується, що 70 млн євро будуть витрати на обладнання), хоча вони залежать від умов на виробничій ділянці, масштабу, технічних умов і ринкових умов для матеріалів тощо. На основі останніх технологій CDQ, недавно побудованих в Азії для ефективного виробництва електроенергії, CDQ з річною продуктивністю 2 млн т може генерувати щорічно 320 000 МВт-год з 100 % використанням пари. З урахуванням ставки кредитування 5 % і середніх цін на електроенергію в країнах ЄС-27 для промислових споживачів [http://www.veoe.at/fileadmin/071107_Strompreise_Eurostat_2007.pdf], це означає, що термін окупності інвестицій становить 4,4 роки. Однак термін окупності дуже чутливий до цін на електроенергію і може варіюватися в країнах ЄС-27 від 3 до 8 років. Крім того, з урахуванням деяких європейських схем економії енергії, таких як «Tradable Certificate for Energy savings»(або «білі сертифікати»), які реалізуються в деяких європейських країнах, можна очікувати, що термін окупності помітно скоротиться.

Стимули для впровадження

Екологічні причини, підвищення стабільності якості коксу порівняно зі звичайним мокрим гасінням (що здебільшого пов'язано із вмістом вологи) і ефективність використання енергії є стимулами для впровадження CDQ.

Приклади установок

До березня 2008 року кількість установок CDQ (камер), що знаходилися в експлуатації, становила: 104 в країнах Південно-Східної Азії, 12 у країнах Центральної Азії, 5 у

країнах Південної Америки і 21 в Європі. В Європі 5 знаходяться в Угорщині, 3 у Фінляндії, 4 в Польщі, 4 в Румунії та 5 у Туреччині [290, компанія Nippon Steel Engineering Co., 2008]

Довідкова література

[207, Амелінг та ін., 2004] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [227, WB, 1998] [276, Італія, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [290, компанія Nippon Steel Engineering Co., 2008] [320, Eurofer, 2007] [334, Eurofer, 2007]

5.3.15 Гасіння коксу мокрим способом

Кокс мокрого гасіння (CWQ) може проводитися за допомогою звичайного мокрого гасіння або більш сучасного стабілізаційного гасіння коксу.

5.3.15.1 Звичайне мокре гасіння

Опис

Коли кокс гаситься водою в башті (вежі) гасіння коксу, пил і вода повинні утворюватися завдяки випаровуванню охолоджувальної води з розпеченого коксу і виділятися зі шлейфу викидів. Кількість пилу, що виноситься, залежить від робочих умов, властивостей коксу і типу води, що додається. Були зроблені спроби знизити викиди пилу і парів води за допомогою конструктивних та інших заходів; наприклад за допомогою обприскування шлейфу водою.

Оптимальні рішення для зниження викидів включають використання відбиваючих пластин в димовій трубі та сприятливі конструкції вежі для гасіння коксу (див. рис. 5.19).

Крім того, може застосовуватися гасіння методом затоплення та з подачею охолоджувальної води зверху. Вода частково вдувається через систему трубопроводів біля дна коксогасильного вагона (затоплення коксу) і частково впорскується зверху коксу (в той час як у більшості систем мокрого гасіння вода впорскується тільки на верхню частину коксу). Проте, сама вежа гасіння коксу є системою охолодження зверху, з тим самим пристроєм уловлювання пилу (див. рис. 5.19). Одним недоліком системи затоплення є викиди частинок коксу з коксогасильного вагона внаслідок миттєвого утворення пари під масою коксу, а також всередині неї в коксогасильному вагоні, найбільша робота відбувається з високими рівнями коксу. Загартувальна вода повторно використовується.

Пилоловлювальне обладнання складається з індивідуальних рам, в які вставлені пластикові пластини у формі жалюзі. Вежі гасіння коксу виготовляють із води й бетону.

Вежі гасіння коксу знаходяться в роботі, наприклад, щоп'ятнадцять хвилин. Для зниження викидів планується обмежена кількість годин на місяць (наприклад, 4 год) для обслуговування. Ще одним способом зниження цих викидів є резервна (друга) вежа гасіння коксу.

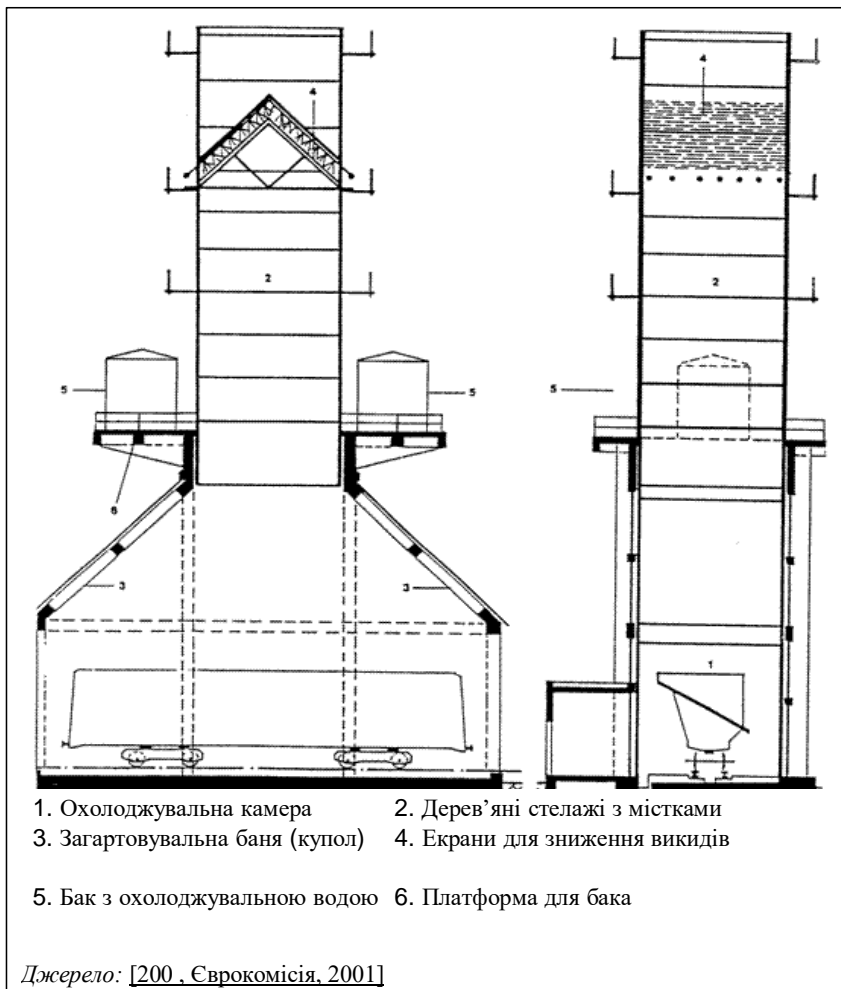


Рис. 5.19. Принципова схема вежі гасіння коксу з екранами для зниження викидів

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Викиди пилу протягом мокрого гасіння без заходів придушення складають близько 200 – 400 г/т коксу. При використанні описаної системи ці викиди можна знизити, принаймні, до 50 г/т коксу (з коефіцієнтами викидів до їх придушення максимум 250 г/т коксу та вмістом твердих часток в охолоджувальній воді нижче 50 мг/л).

На практиці зазвичай досягаються викиди нижче 25 г/т коксу. Слід зазначити, що викиди значною мірою залежать від методу вимірів, що використовується. Коефіцієнти викидів, на які давалися посилання, були визначені за допомогою методу VDI («Керівні настанови для відбору проб та вимірювань викидів пилу під час мокрого гасіння»). У цих посібниках описаний метод відбору проб, який відомий так само, як «метод Радмахера і Морхауера», та який коригується залежно від умов в башті гасіння коксу.

Міжсередовищні наслідки

Споживається додаткова енергія для упорскування води, хоча й у незначних кількостях.

Експлуатаційні дані

У всьому світі є багато веж гасіння коксу, оснащених екранами для зниження викидів. Повідомляється про хороші експлуатаційні характеристики.

Можливість застосування

Технології мокрого гасіння коксу можливо застосовувати як для нових, так і для наявних заводів. Наявні вежі гасіння коксу можуть бути оснащені екранами для зниження

викидів. Необхідна мінімальна висота вежі принаймні у 30 м для забезпечення достатніх умов тяги.

Економічні дані

Витрати на модернізацію наявної вежі гасіння коксу з екранами для зниження викидів знаходяться в діапазоні 200 000 євро. Однак модернізація можлива лише в тому випадку, якщо вежа гасіння коксу є відповідною. У протилежному випадку повинна бути встановлена нова вежа, і витрати будуть набагато вищими.

Стимули для впровадження

Зазвичай модернізацію наявних веж гасіння коксу ініціюють законодавчі вимоги і правозастосовні дії місцевих органів влади.

Приклади установок

Приклади побудованих або модернізованих веж гасіння коксу з екранами для зниження викидів:

- ArcelorMittal, м. Гент, Бельгія
- Hüttenwerke KruppMannesmann, м. Дуйсбург, район Хукінген, Німеччина
- Коксовий завод компанії ArcelorMittal Atlantique, м. Дюнкерк, Франція
- Kokerei Salzgitter, Salzgitter Flachstahl GmbH, Німеччина
- Port Talbot, Сполучене Королівство.

На всіх установках досягнуті питомі викиди пилу менше ніж 25 г/т коксу.

Довідкова література

[100, Натхаус та ін., 1997] [223, USEPA, 2001] [227, WB, 1998] [242, Кофлін, 2007] [320, Eurofer, 2007] [334, Eurofer, 2007].

5.3.15.2 Стабілізаційне гасіння коксу

Опис

У наведеному прикладі установки для стабілізаційного гасіння коксу (CSQ) система гасіння спроектована для шести видач коксу на годину і на кількість коксу 54 т за видачу. Ця система складається з вежі гасіння коксу, відстійника охолоджувальної води та коксогасильного вагона. Ці вежі більші ніж звичайні вежі для гасіння коксу (наприклад, 16 × 16 × 70 м – висота). Дві стадії контролю викидів складаються з відбивних пластин та розпилювачів води для охолоджувальних парів, які знижують викиди пилу. Особливістю цієї технології є одночасне застосування впорскування та занурювального гасіння.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Викиди пилу становлять від 6 до 12 г/т коксу. Висока швидкість гасіння є важливим аспектом процесу. Він забезпечує можливість швидкого зниження температури коксу, зниження часу реакції, меншого утворення водяного газу і сульфїду водню, а також високого механічного впливу і стабілізації коксу, що охолоджується, однорідного розподілу зерен, і, тим самим, кращої якості коксу.

Слід зазначити, що викиди значною мірою залежать від методу вимірів, що використовується. Коефіцієнти викидів для пилу даються на основі ізокінетичних вимірювань відповідно до попередньої умови VDI 2066, які означають, що відбір проб проводився ізокінетично, а це зазвичай дає підвищені значення викидів.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Кількість коксового дріб'язку, виробленого за допомогою цієї системи, вище ніж при звичайному гасінні коксу. Питома потреба в охолоджувальній воді становить $2 \text{ м}^3/\text{т}$ коксу, з яких $1,5 \text{ м}^3$ направляється до осаджувального басейну як оборотна вода.

Таблиця 5.20: Викиди пилу від стабілізаційного гасіння коксу

	Значення	Одиниці вимірювання
<i>Характеристики батарей коксових печей</i>		
Кількість коксових печей	140	
Температура нагрівання коксової печі	1 300	°C
Тривалість коксування	25	год
Обсяг камери коксової печі	93	м^3
Маса коксу, що видається (середня)	56,6	т коксу на піч
Кількість видач коксу на добу	135	
Добове виробництво коксу	7 600	т
<i>Характеристики гасильної вежі CSQ</i>		
Метод гасіння: CSQ		
Площа газовідводу	256 (16 м × 16 м)	м^2
Висота вежі	70	м
Якість охолоджувальної води: Рециклінг води в гасильній вежі		
Споживання води на завантаження	Усього 98	м^3
<i>Вимірювання по всій вимірювальній сітці</i>		
Вимірювання концентрації пилу з березня по квітень 2004 року	6, 8, 9 та 12	г/т коксу
Середнє значення	9	г/т коксу
Максимальне значення	12	г/т коксу
<i>Джерело: [264, Німеччина, 2007].</i>		

Можливість застосування

Так як система більша ніж це необхідно для звичайного гасіння коксу, потрібно більше місця.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Із системою CSQ можуть бути досягнуті нижчі рівні пилу.

Приклади установок

Коксовий завод компанії KBS, м. Дуйсбург, Німеччина.

Довідкова література

[204, Нойвірт та ін., 2003] [207, Амелінг та ін., 2004] [253, ICSTI' 06 2006] [264, Німеччина, 2007]

5.3.16 Зниження викидів при транспортуванні коксу

Опис

Процес розсівання коксу по фракціям складається з дроблення, подрібнення і просіювання, а також він пов'язаний з утворенням викидів твердих частинок, які повинні видалятися, і це вимагає додаткового очищення.

Повідомлялося, що концентрації викидів пилу як середньорічне значення після рукавного фільтра на двох заводах становили 0,5 і

4,5 мг/нм³. При транспортуванні коксу сухого гасіння відходить більше викидів пилу, ніж при транспортуванні коксу мокрого гасіння. Будівля установки для розсівання коксу по фракціям має бути закритою.

Для транспортування коксу використовуються закриті конвеєри або конвеєри з покриттям. При зберіганні коксу можна використовувати зрошувальний пристрій для зволоження поверхні та для придушення утворення пилу. Для зниження швидкості вітру можна застосовувати вітрозахисні огорожі або противітрові насипи (заслони). Висота вільного падіння матеріалів повинна бути нижче 0,5 м.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

При використанні рукавних фільтрів можна досягнути концентрації викидів твердих частинок в діапазоні від 0,5 до 4,5 мг/нм³ (середньорічні значення).

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Жодних даних не надано.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Жодних даних не надано.

Довідкова література

[227, WB, 1998] [244, Плікерт, 2007].

5.3.17 Стрічковий конвеєр закритого типу

Опис

Засобом для транспортування таких матеріалів як дрібнозернисте вугілля або кокс є закритий стрічковий конвеєр або трубчастий конвеєр, які слугують для захисту навколишнього середовища від викидів всіх видів забруднюючих речовин. Трубчасті конвеєри складаються із гнучкої конвеєрної стрічки, яка формується за допомогою спеціальних пристроїв у герметичній трубі. На початку, в місці завантаження матеріалу, стрічка відкривається, і постачається вугілля або кокс, як і в разі звичайного стрічкового конвеєра. Ця площа завантаження подовжується до 12 м, і стрічка закривається та формується труба впродовж всієї відстані транспортування. В кінці, близько 12 м до місця вивантаження, стрічка знову відкривається. Після розвантаження стрічка знову закривається, як можна бачити на рис. 5.20.

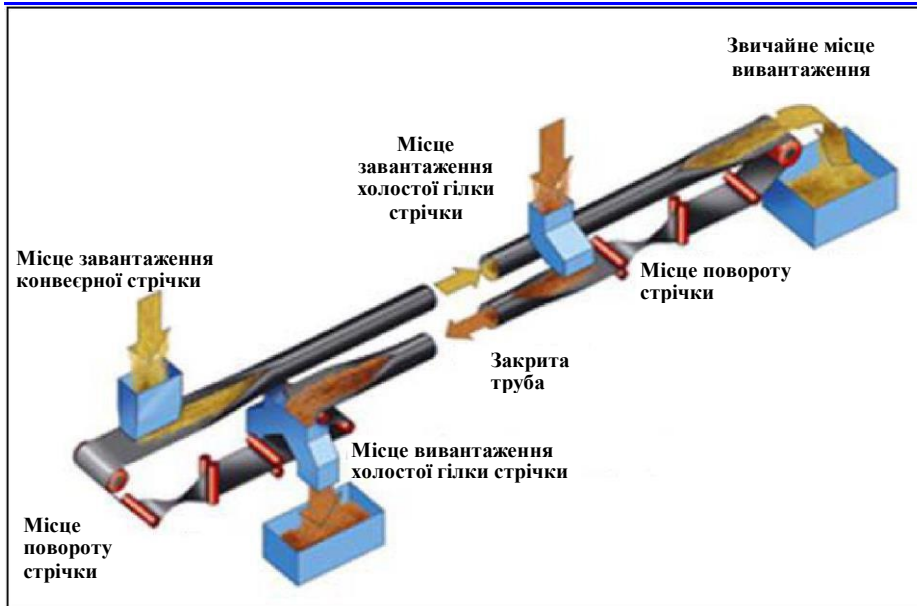


Рис. 5.20. Приклад системи трубчастого конвеєра

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Закрита конструкція конвеєрної стрічки допомагає запобігти розсіянню і неорганізованому викидам вугілля/коксу протягом транспортування.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Технічні дані для трубчастого конвеєра в коксовому цеху в Німеччині наведені в табл. 5.21.

Таблиця 5.21: Технічні дані для трубчастого конвеєра для коксового цеху в Німеччині

Параметр	Значення	Одиниці вимірювання
Діаметр	500	мм
Ширина стрічки	1 900	мм
Максимальна продуктивність	800	т/год
Швидкість	2,09	м/с
Довжина	736	м

Можливість застосування

Трубчасті конвеєри зазвичай застосовуються для нових та наявних цехів при транспортуванні матеріалів з утворенням пилу, таких як кокс, дрібнозернисте вугілля або губчасте залізо (прямого відновлення).

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Один коксовий цех у Німеччині.

Довідкова література

[260, Німеччина, 2007] [269, Німеччина, 2007] [273, Eurofer, 2007] [283, ЄК (ЄС), 2006]

5.3.18 Герметична система газоочистки коксової печі

Опис

На установці газоочищення неочищений коксовий газ очищується протягом декількох стадій для подальшого використання як палива. Порівняно летючий характер компонентів неочищеного коксового газу означає, що можуть відбуватися викиди з боку фланців, запірних клапанів, насосів тощо. Певною мірою при розгляді негативних впливів на навколишнє середовище, безпечних умов праці важливим фактором є також те, що деякі сполуки коксового газу є канцерогенними (наприклад, РАН і бензен). В цьому аспекті особливо важливим моментом є наявність установки для переробки фракції ВТХ (бензен-толуол-ксілол) коксового газу як складової частини системи очищення. На таких установках очищення фракції ВТХ коксового газу здійснюється за допомогою очищувальної (промивної) рідини. Згодом завантажена промивна рідина регенерується, ВТХ відновлюється і може бути продана.

Робота системи очищення коксового газу в умовах герметичності здебільшого пов'язана із проблемами здоров'я та безпеки.

Повинні бути розглянуті всі заходи, що забезпечують герметичність системи газоочищення, які включають такі міркування:

- мінімізацію кількості фланців за допомогою зварювання трубопроводів, коли це можливо;
- використання герметичних насосів (наприклад, насосів із магнітним приводом або насосів із подвійним ущільненням);
- запобігання викидів із запірних клапанів у баках зберігання. Це зазвичай досягається за допомогою з'єднання випуску клапана з газозбірником (може також використовуватися збір газів і подальше спалювання або застосування газової подушки, або скруббер відхідних газів);
- використання спеціальних ущільнень для фланців і клапанів для попередження забруднення повітря, а також закритих процесів без викидів, таких як процес Клауса з рециклінгом залишкових газів або очищення смоли та рідини з рециклінгом смолистого залишку;
- огорожу системи зі смолистим залишком. Тверді частинки відокремлюються від неочищеної смоли, що надходить з механічного освітлювача в герметичну центрифугу. Смола після центрифуги подається через приймальний пристрій в баки для зберігання смоли. Відокремлений смолистий залишок з виходу твердих частинок центрифуги збирається в посудини (ємності), перед відкачуванням його насосом для сипучих тіл високого тиску у ваговій бункер у видатковій вежі. Завантаження з'єднується з потоком вугілля так, що забезпечується якісна суміш смолистого залишку з вугіллям. У разі необхідності можливе видалення смолистого залишку в мобільний контейнер.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Жодних даних не надано.

Міжсередовищні наслідки

В цьому випадку міжсередовищних наслідків не відбувається.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних заводів. На нових виробництвах буде, ймовірно, легше забезпечити герметичні конструкції, ніж на наявних виробництвах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Voestalpine, м. Лінц, Австрія; Corus, м. Еймьойден, Нідерланди та ArcelorMittal, м. Гент, Бельгія – всі працюють із герметичними установками для очищення коксового газу.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [204, Нойвїрт та ін., 2003] [216, Сніфферс та ін., 2006] [320, Eurofer, 2007]

5.3.19 Видалення смоли (і РАН) зі стоків відпарювальних колон

Опис

Стік аміачної колони зазвичай не містить смоли, але коли є смола, це негативно впливає на роботу установки для біологічного очищення стічних вод. Зокрема, наявність поліциклічних ароматичних вуглеводнів (РАН) може мати токсичну дію на мікроорганізми в активному шламi. РАН порівняно важко розкладаються. Саме тому доцільно видаляти смолу з водовугільної суспензії перед біологічним очищенням води.

Смолу можна видалити за допомогою додавання коагулянтів і подальшого розділення з використанням таких способів, як:

- гравітаційне осадження іноді з подальшою фільтрацією;
- центрифугування водовугільної суспензії;
- флотація;
- піщана фільтрація.

При такому очищенні видаляється велика частина смоли зі стічних вод у вигляді фільтр-кеку з високою концентрацією або шламу, який слід піддавати додатковій обробці, наприклад за допомогою рециклінгу в коксових печах.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

При використанні піщаної фільтрації можна досягнути концентрації в стоках менше ніж 700 – 800 мкг/л (ЕРА-РАН), при ефективності очищення 99 %.

Міжсередовищні наслідки

При всіх цих способах видалення смоли утворюються відходи. Однак ці відходи зі смолою, включаючи шлами після механічного освітлювача, можна повторно використовувати в коксових печах.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Видалення смоли перед очищенням стічних вод можна застосувати як на нових, так і на наявних заводах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Осадження і фільтрація: коксова піч, компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [320, Eurofer, 2007] [340, Eurofer, 2007].

5.3.20 Відгонка аміаку зі стічних вод

Опис

Підтримання низької концентрації аміаку в стоках відпарювальних колон корисно для роботи установки для біологічного очищення стічних вод. Ефективність видалення значною мірою залежить від додавання лугу та пари, а також від конструкції відпарювальної колони (наприклад, кількість стадій). Велика доза NaOH і збільшення кількості стадій можуть значно знизити концентрацію аміаку в стоках.

Коли установка для очищення стоків використовує нітрифікацію з подальшою денітрифікацією, відгонка аміаку в стоках є не такою критичною. І тут слід знайти економічний та екологічний оптимальний баланс між відгонкою аміаку і видаленням аміаку на установці для біологічного очищення стічних вод.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Концентрації аміаку в стоках можуть варіюватися від 20 до 150 мг/л залежно від дози пари та лугу і конструкції відпарювальної колони. Можна досягти значення від 20 до 40 мг/л, але цього може і не знадобитися внаслідок коригування належного балансу між БСК₅ і відношенням P/N у стічних водах перед біологічним очищенням.

Міжсередовищні наслідки

Відпарювальні колони споживають енергію у вигляді пари (0,1 – 0,2 т пари/м³ стічних вод) і споживають луг (NaOH; 6 – 22 л/м³). У минулому використовували вапно замість NaOH. Підвищені дози пари та луги призводять до зниження концентрацій NH₃ у стоках. Крім того, утворюється пара, що містить аміак та H₂S, яку необхідно очищати, наприклад, на установці для отримання сірчаної кислоти, на установці Клауса або на установках із кристалізації сульфату амонію.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних заводів.

Економічні дані

Для відпарювальної аміачної колони в разі очищення 150 м³ стоків на годину потрібні:

- інвестиційні витрати: 0,75 – 0,79 млн євро в 1993 році для колони
- експлуатаційні витрати: 0,18 євро/м³ у 1993 році.

Для відпарювальної аміачної колони при очищенні 120 м³ стоків на годину у випадку установки в Іспанії у 2005 році були потрібні інвестиції розміром 0,8 млн євро (компанія ArcelorMittal, м. Авілес, Іспанія).

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Майже у всіх коксових цехах світу використовують відпарювальні аміачні колони.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [276, Італія, 2007] [320, Eurofer, 2007].

5.3.21 Очищення стічних вод

Стічні води коксового виробництва містять суміш вуглеводнів, сполук ціанідів та азоту при порівняно високих концентраціях. Є декілька методів для очищення стічних вод. У всіх випадках стічні води проходять через відпарювальну аміачну колону перед подальшим очищенням.

Стічні води можна очищувати біологічними та хімічними способами. Коли застосовується біологічне очищення, смола видаляється за допомогою фізико-хімічного процесу, а стічні води часто розбавляють, для того щоб уникнути появи потоків, що втікають, які чинять токсичний вплив на мікроорганізми, особливо викликають інгібування нітрифікуючих бактерій.

З біологічних способів для очищення стічних вод коксохімічного виробництва найчастіше застосовується аеробна біологічна система з активним шламом. У деяких випадках особлива увага приділяється нітрифікації та денітрифікації. В інших випадках для очищення стічних вод використовують біологічну систему на основі псевдозрідженого шару.

Опис

Технології, які далі описуються в цьому розділі, включають:

- a) аеробну систему з активним шламом;
- b) нітрифікацію;
- c) нітрифікацію – денітрифікацію.

Технологія (a) – аеробна система з активним шламом

Забруднюючі речовини, що біологічно розкладаються, в аеробній системі з активним шламом зазвичай розкладаються до CO₂, H₂O та мінералів, а неполярні компоненти, що не розкладаються, (типу більшості РАН і важких металів) видаляються з водної фази завдяки частковій адсорбції до активного шלאму. На практиці більшість потенційно небезпечних забруднюючих речовин, таких як феноли, ціаніди й ароматичні вуглеводні розкладаються біологічно, а важкі метали частково видаляються завдяки адсорбції до активного шלאму.

Системи активного шלאму з низьким співвідношенням кількості поживних речовин до маси мікроорганізмів (F/M) є кращими з екологічного погляду. При низькому відношенні F/M створюється також можливість біологічного розкладання органічних сполук, що важко розкладаються. Відношення F/M є відношенням органічної речовини до активного шלאму, тобто зважених речовин у суміші стічних вод з активним шламом (MLSS), і воно виражається як кг ХСК/кг MLSS/добу, де ХСК – це хімічне споживання кисню.

При аерації можна використовувати кисень замість повітря з навколишнього середовища. Це підвищує можливість контролю процесу і знижує можливість потрапляння летючих компонентів у стічні води. Наприклад аерація повітрям, збагаченим киснем, використовується на заводі компанії ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія.

Технологія (b) – нітрифікація

Деякі установки для очищення стічних вод проєктуються для ефективного видалення аміаку (NH_4^+) за допомогою нітрифікації. Традиційна конструкція аеробної системи з активованим вугіллям може бути використана як відправна точка для такого виду установок. Система повинна мати дуже низьке відношення F/M і високий рівень рециркуляції для запобігання уповільненню росту нітрифікаційних бактерій внаслідок їх вимивання. Нітрифікаційні бактерії перетворюють аміак у нітрат (NO_3^-).

За таких умов органічні сполуки, що важко біорозкладаються, можуть також піддаватися мінералізації з високою ефективністю видалення.

Технологія (c) нітрифікація – денітрифікація

У деяких випадках місцеві органи влади вимагають низького рівня викидів усіх азотних сполук (включаючи нітрати) від стоків. Це вимагає додаткового безкисневого очищення стічних вод. Можливі деякі варіанти планування, але хороші результати були отримані на установках для очищення стічних вод із концепцією попередньої нітрифікації – нітрифікації (pre-DN/N). Два приклади представлені нижче на рис. 5.21 та рис. 5.22.

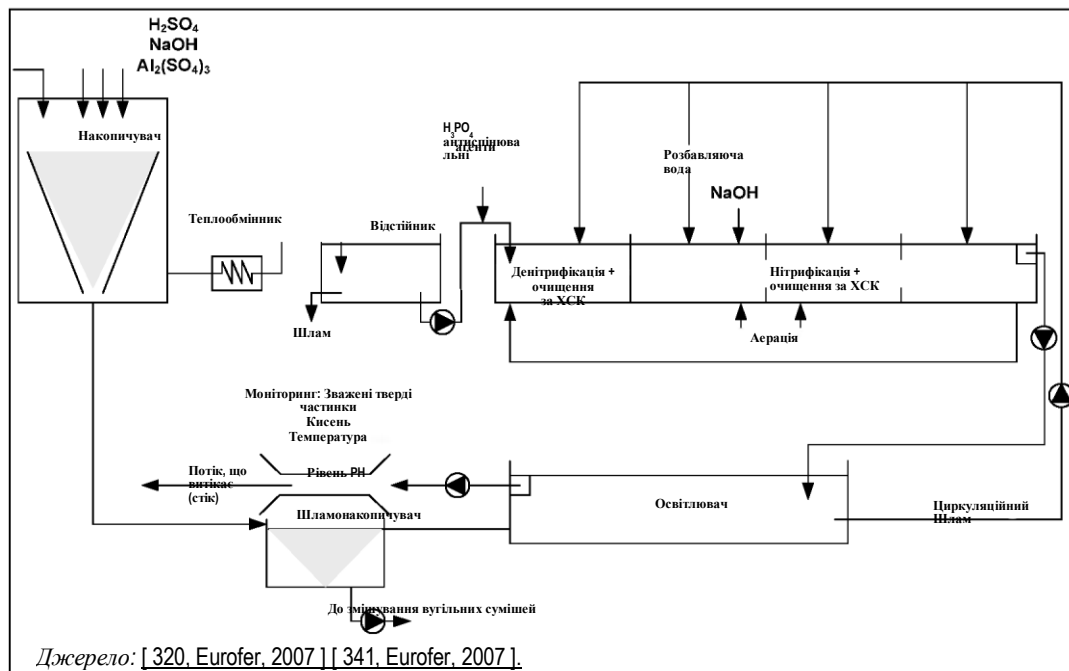
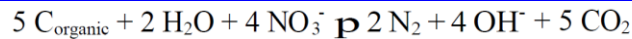


Рис. 5.21. Приклад типового біологічного очищення стічних вод зі стадіями нітрифікації – денітрифікації

В концепції попередня денітрифікація / нітрифікація використовується також система аеробного активного шламу в початковому періоді. Однак перед аерацією стічних вод додається вода зі стадії нітрифікації з високим вмістом нітратів. У безкисневих умовах бактерії використовують нітрати як кінцеві акцептори електронів замість молекулярного кисню (O_2). Азот виділяється як молекулярний азот (N_2). Загальна реакція така:



Установа для очищення стічних вод (WWTP) компанії Hüttenwerke Krupp Mannesmann в м. Дуйсбург, Німеччина, спроектована як багатостадійна біологічна система, яка складається (відповідно до потоків води) з:

- теплообмінника для охолодження стічних вод з відгоночної колони H_2S/NH_3 ;
- усереднювального басейну;
- аераційного басейну (процес із активним шламом для розкладання органіки) із заздалегідь встановленою стадією денітрифікації як першої стадії денітрифікації;
- проміжного освітлювача;
- басейну нітрифікації, спроектованого як носій біологічного шламу;
- другої стадії нітрифікації, з подачею метанолу як зовнішнього джерела вуглецю;
- басейну подальшої аерації для повторного насичення активним шламом;
- кінцевого освітлювача.

Для моніторингу якості стічних вод із біологічним очищенням обладнання моніторингу та контролю включає моніторинг в реальному масштабі часу, для того щоб оператори могли на ранній стадії втрутитися в процес.

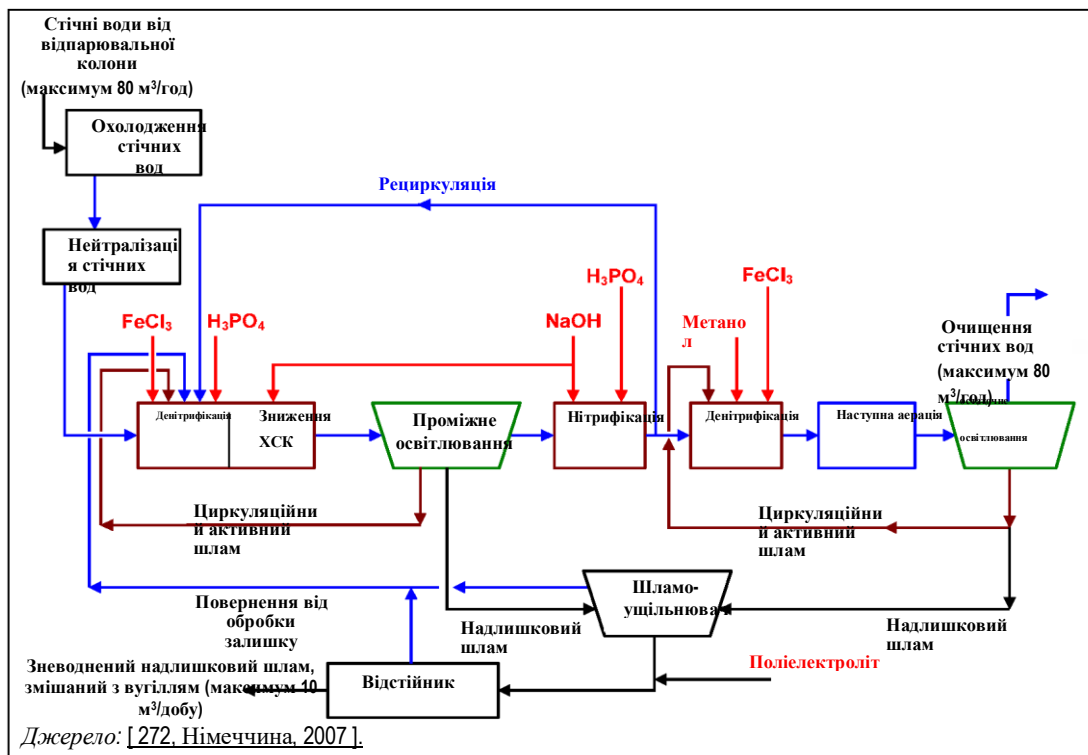


Рис. 5.22. Приклад установки біологічного очищення з попередньою денітрифікацією – нітрифікацією – денітрифікацією

Така установка демонструє дуже хороші результати з очищення стічних вод після коксової печі з дуже низькими викидами сполук азоту, сірки та ціанідів. Концентрації в припливі та стоці наведені в табл. 5.24.

Ще одним прикладом концепції попередньої денітрифікації/нітрифікації є успішна експлуатація установки з 2000 року в компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди.

Вона отримала назву ВІО 2000 і об'єднує очищення стічних вод із коксових печей, доменних печей та агломераційних установок із системою активного шламу, з попередньою нітрифікацією та нітрифікацією для мінімізації ХСК і викидів сполук азоту.

Нітрифікація та зниження ХСК відбуваються одночасно в аеробній частині установки. Кінцевими продуктами цієї конверсії є CO_2 , вода та нітрати, NO_3^- .

Денітрифікація є біологічним процесом, при якому нітрати перетворюються бактеріями в газоподібний азот. Цей процес відбувається за анаеробних або безкисневих умов. Тому повинна бути спеціальна частина установки, в якій концентрації розчиненого кисню будуть більш-менш рівні нулю. Однак у разі денітрифікуючих бактерій необхідне деяке ХСК як живильне середовище. Вводячи (частину) вхідних речовин в аноксичну частину установки та переробляючи нітрифіковані стічні води, ХСК та нітрати поєднуються. Оскільки денітрифікація має місце в першій частині установки, цей процес називається попередньою денітрифікацією.

Таблиця 5.22: Склад різних потоків стічних вод компанії Corus м. Еймьойден, Нідерланди (2007 рік)

Параметр	Одиниці вимірювання	Доменна піч	Агломераційна установка	Коксове виробництво	Грунтові води ⁽¹⁾	Усього
Витрата	м ³ /год	140 – 150	50 – 55	80 – 90	35 – 40	320
Температура	°С	40 – 44	35 – 40	30 – 35	10 – 12	33
Зважені тверді частинки	мг/л	25 – 35	10 – 25	20 – 50	<10	25
ХСК (COD)	мг/л	65 – 120	250 – 450	3 000 – 3 500	150 – 350	1 100
Азот за методом К'ельдаля	мг/л	130 – 150	200 – 300	200 – 300	100 – 200	180
Загальні CN^-	мг/л	5 – 20	–	20 – 60	20 – 50	15
Цинк	мг/л	2 – 4	–	–	–	–
Метали	мг/л	1 – 3	1 – 3	–	–	–
Феноли	мг/л	–	–	500 – 700	–	–
SCN^-	мг/л	–	–	200 – 250	–	–

⁽¹⁾ Забруднені ґрунтові води від коксового заводу.

Основним елементом нової конфігурації очищення води компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, є установка біологічного очищення, установка карусельного типу, яка була побудована в 1999-2000 роки (див. рис. 5.23 і рис. 5.24). Установка карусельного типу є звичайною для країн Західної Європи, де такого типу установки застосовуються досить часто для очищення побутових стічних вод.

Великі басейни з поверхневими аераторами і порівняно високими швидкостями роблять установку складнішою ніж у разі поршневого руху рідини. Аератори контролюються за допомогою безперервного виміру розчиненого кисню та порівняння його зі встановленим значенням 1,5 – 2 мг/л. Окрім того, контролюється рН за допомогою додавання каустичної соди, коли рН нижче 6,8, або за допомогою додавання сірчаної кислоти, коли рН в басейні вище ніж 7,4.

Крім біологічного очищення, були встановлені піщані фільтри з промиванням зворотнім струменем. Незважаючи на той факт, що можна легко очищувати об'єднані стічні води, іноді присутні дуже дрібні біологічні пластівці в зливові кінцевого відстійника.

Надмірний шлам відкачується спочатку до загущувача. Потім шлам зневоднюється і змішується з вугіллям, та використовується як частина шихти для печей.

Систему карусельного типу з поверхневими аераторами, встановлену в блакитних боксах, можна побачити нижче на рис. 5.24. Ці бокси ізольовані для того, щоб не було проблем шуму в безпосередній близькості від установки. Світло-блакитні колони попереду – це шість пісочних фільтрів.

Розміри карусельної установки такі: обсяг аерації складає $15\,000\text{ м}^3$; це означає, що гідравлічний час витримки складає 33 год. Обсяг відстою становить $1\,500\text{ м}^3$. Діаметр відстійного басейну дорівнює 29 м. Поверхневі навантаження становлять $5\text{ м}^3/\text{м}^2/\text{год}$.

Шламівідстійник є басейном із діаметром 9,5 м і об'ємом 250 м^3 . Середній вихід шламів становить $45\text{ м}^3/\text{добу}$ із 3 % сухої твердої речовини. Максимальна витрата рециркуляції шламу становить $640\text{ м}^3/\text{год}$ (подвійну кількість припливу). Дозування фосфорної кислоти ґрунтується на величині 2 мг/л фосфату в стоці. Це означає додавання приблизно 5 л/год 75 %-ої фосфорної кислоти [379, компанія Corus, м. Еймьойден, 2009].

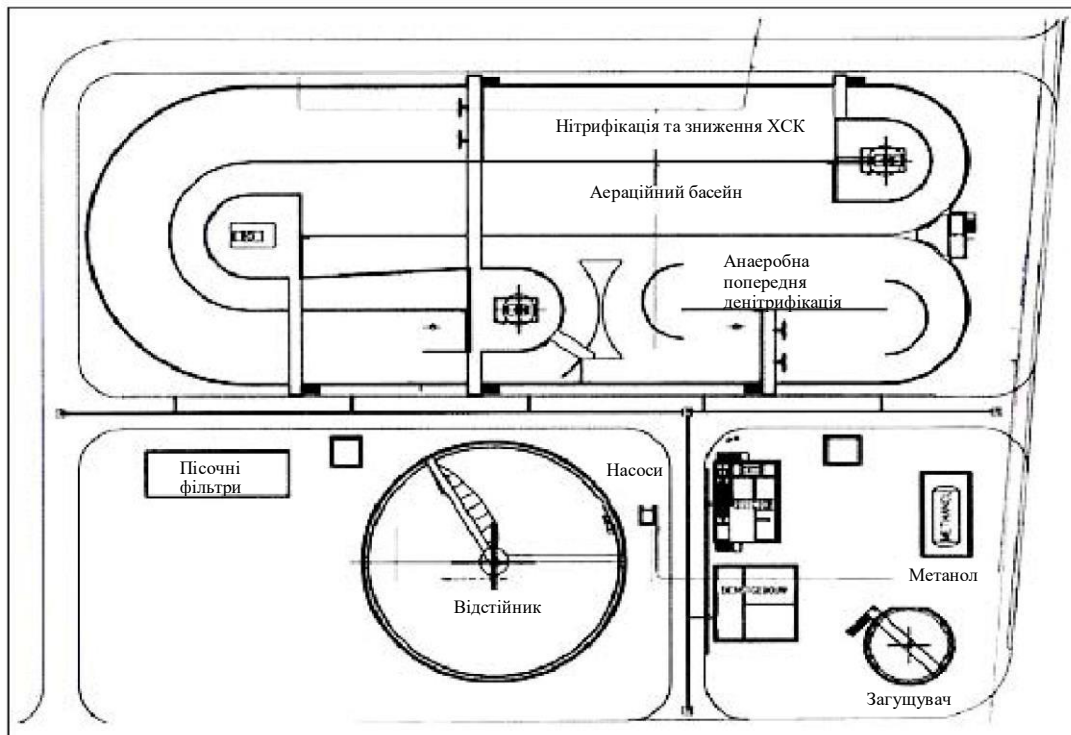


Рис. 5.23. Поверховий план установки для біологічного очищення стічних вод компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди



Джерело: [379, компанія Cogus, м. Еймьойден, 2009]

Рис. 5.24. Вид згори установки для біологічного очищення стічних вод компанії Cogus, м. Еймьойден, Нідерланди

Інші технології для видалення зважених твердих частинок типу флоатації та піщаних фільтрів або очищення стічних вод разом із побутовими стічними водами можуть бути альтернативними, якщо будуть встановлені попередні умови.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Технологія (а) – аеробна система з активним шламом

В табл. 5.23 наведені показники роботи для аеробних систем з активним шламом від європейських коксохімічних виробництв.

Таблиця 5.23: Концентрація в стоках і питомі скиди від європейських коксових печей, що використовують очищення стічних вод за допомогою аеробних систем з активним шламом

Компонент	Концентрація	Одиниці вимірювання	Питомі викиди	Одиниці вимірювання
ХСК (COD)	140 – 700	мг/л	0,2 – 1	(кг/т коксу)
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	37	мг/л		
Азот за методом К'ельдаля	20 – 120	мг/л	0,01 – 0,1	(кг/т коксу)
NH ₃	< 1 – 100	мг/л	0 – 0,1	(кг/т коксу)
SCN ⁻	< 0,1 – 35	мг/л	0 – 0,05	(кг/т коксу)
Ціаніди, що легко виділяються	<0,1	мг/л		
Фенол	< 0,1 – 10	мг/л	0 – 0,005	(кг/т коксу)
РАН	0,003 – 0,2	мг/л	0 – 0,001	(кг/т коксу)

Джерело: [200, Європейська Комісія, 2001] [208, Ліндфорс та ін., 2006]

Технологія (b) – нітрифікація

Загалом, системи з низьким питомим навантаженням характеризуються кращими показниками і дають можливість розкласти аміак за допомогою нітрифікації. Низьке питома навантаження також підвищує ступінь розкладання

органічних сполук із низьким рівнем розкладання. Якщо застосовується нітрифікація, концентрації нітрату (NO^-) у стоках будуть порівняно високого порядку (200 мг/л).

Технологія (c) нітрифікація – денітрифікація

Системи нітрифікації – денітрифікації відрізняються дуже низьким співвідношенням F/M (0,05 – 0,2 кг ХСК/кг МЕСС/добу) і допомагають досягти дуже гарних результатів при очищенні стічних вод коксових виробництв. Викиди азоту від цих систем є особливо низькими порівняно із системами з високими співвідношеннями F/M тільки з однією нітрифікацією. Концентрації на прийомі та в стоках на чотирьох подібних заводах наведені в табл. 5.24.

Таблиця 5.24: Концентрації у вхідному та вихідному потоках стічних вод та деякі аспекти систем очищення стічних вод

Аспект/параметр	Одиниці вимірювання	Установа А	Установа В ⁽¹⁾	Установа С	Установа D ⁽²⁾	
Виробництво коксу	млн т/рік	1,25	0,60	1,03	1,08	
Витрата водовугільної суспензії (надлишкова вода)	м ³ /год	42	22	65	80	
Розведення іншими стічними водами (див. п. 5.2.2.2)	м ³ /год	40	5–10	20	–	
Загальна витрата	м ³ /год	86	30.1±3.5	85	80	
Питома витрата стоків (питома витрата стічних вод)	м ³ /т коксу	0,59	0,44	0,69	0,65	
Співвідношення елементів харчування до мікроорганізмів (F/M)	кг ХСК/кг MLSS/добу	≤0,15	NA	0,5 ⁽³⁾	NA	
Потік, що втікає (вихід):	pH	–	NA	9,2±0,33	9,0 – 9,5	8,5
	Зважені тверді частинки	мг/л	30 – 40	NA	NA	NA
	ХСК (COD)	мг/л	3 650±310	3161±1269	3220±590	200 – 2 000
	Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	мг/л	NA	NA	1025±190	NA
	BOD ₅	мг/л	2 100	NA	NA	800 – 3 000
	Фенол	мг/л	964	705±276	650	500 – 1500
	SCN ⁻	мг/л	355	NA	350	150 – 200
	Азот за методом Кельдаля	мг/л	NA	NA	300	NA
	Амонійний азот	мг/л	125±25	NA	50±15	150±200
	Нітритний азот	мг/л	NA	NA	NA	NA
Нітратний азот	мг/л	NA	NA	NA	NA	
Масило та смола	мг/л	40	NA	NA	NA	
PAH (6 Borneff)	мкг/л	200	NA	NA	NA	
Потік, що втікає (вихід):	pH	–	7,7	8	7,6	8,1±0,3
	Зважені тверді частинки	мг/л	42	33±21	75	NA
	ХСК (COD)	мг/л	189±30	137±43	213±70	74±10
	Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	мг/л	NA	NA	45±16	NA
	BOD ₅	мг/л	8,1±2,3	NA	15±5	4,8±1,7
	Фенол	мг/л	0,06	0,02±0,03	<0,1	0,02±0,01
	SCN ⁻	мг/л	3	NA	1,3	0,87±0,46
	CN ⁻ , що легко виділяється	мг/л	NA	0,01	NA	0,02±0,01
	Сульфіди, що легко виділяються	мг/л	NA	NA	NA	0,03±0,02
	Азот за методом Кельдаля	мг/л	8,8 ± 4 (4)	NA	NA	4,96±1,33
	TN _b -N (зв'язаний азот)	мг/л	NA	NA	13	10,67±7,04
	Амонійний азот	мг/л	3 ± 3 ⁽⁴⁾	0,28±0,56	<1	<1
	Нітритний азот	мг/л	0,9 ± 1,5 ⁽⁴⁾	0	1,3	0,01±0,07
	Нітратний азот	мг/л	22 ± 6,6 ⁽⁴⁾	8,2±6,92	11	6,11±6,68
	Масило та смола	мг/л	5	NA	NA	<5 ⁽⁵⁾
PAH (6 Borneff)	мкг/л	<50	NA	<20	1,06±1,12	
Фосфор	мг/л	NA	0,4±0,29	NA	1,3±0,4	

(1) Діапазони відображають середні щорічні значення для стоків у 2009 році.
(2) Діапазони відображають середньодобові значення для стоків у 2005 році, за винятком SCN, де використані значення за 2004 рік.
(3) У першій з трьох стадій.
(4) Діапазони відображають середні щорічні значення для стоків у 2006, 2008 та 2009 роках.
(5) ВТХ.
Примітка: – TN_b: Загальний зв'язаний азот.
– Всі значення є середньоарифметичними ± стандартні відхилення (за наявності даних).
– NA – немає даних.
Джерело: [65, InfoMil, 1997] [88, ЛЬОР та ін., 1996] [89, ЛЬОР та ін., 1997] [173, УВА-Німеччина, 2005] [196, Джосіс, 2010] [197, Джосіс, 2010] [260, Німеччина, 2007] [272, Німеччина, 2007] [320, Eurofer, 2007] [341, Eurofer, 2007].

Отримані концентрації в скидах для установки біологічного очищення компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди (2007 рік) після спільного очищення стічних вод з коксової печі, доменних печах та агломераційної установки наведені в таблиці 5.25.

Таблиця 5.25: Концентрації в скидах для установки біологічного очищення компанії Cogus, м. Еймьойден, Нідерланди (2007 рік) після спільного очищення стічних вод із коксової печі, доменних печах та установки для спікання

Параметр	Одиниці вимірювання	Середнє	Максимум
Витрата	м ³ /год	340	400
Зважені тверді частинки	мг/л	60	80
ХСК (COD)	мг/л	135	150
Азот за методом К'ельдаля	мг/л	15	30
Фосфати	мг/л	5	10
Загальні CN ⁻	мг/л	11	13
CN ⁻ що легко виділяються	мг/л	0,35	0,45
SCN ⁻	мг/л	2,0	4,0
Феноли	мг/л	<0,5	1,0
Сума Cr, Cu, Pb, Ni та Zn	мг/л		0,011 – 0,013
Cd	мкг/л		10
Hg	мкг/л		5
As	мкг/л		2,5

Примітка: Середнє означає ковзне (рухоме) середнє з 10 серед зібраних зразків. Максимум означає максимум у випадкових зразках.
Джерело: [379, компанія Cogus, м. Еймьойден, 2010].

Міжсередовищні наслідки

Активний шлам утворюється на установці для очищення стічних вод. Надлишковий активний шлам можна додавати у вугільну шихту коксової печі.

Експлуатаційні дані

Технологія (а) – аеробна система з активним шламом

Додаються фосфати і каустична сода. Каустична сода використовується для регулювання рН. Осадження збільшується при додаванні FeCl₃ та полімеру. При цьому на деяких заводах досягаються гарні результати навіть без цих добавок.

Можливість застосування

Для отримання оптимальних результатів слід належно проводити попередню денітрифікацію/нітрифікацію як описано вище у пункті (с).

Економічні дані

Технологія (с) нітрифікація – денітрифікація

- інвестиційні витрати: 0,6 млн євро в 1994 році для розширення системи нітрифікації для попередньої денітрифікації/нітрифікації. Загальні інвестиції склали 4,6 млн євро;
- експлуатаційні витрати: 345 000 євро на рік, включаючи платежі за стічні води, розраховані в 1996 році (0,57 євро/т коксу).

Стимули для впровадження

Потреба в низьких скидах сполук азоту вимагає відповідної системи очищення стічних вод.

Приклади установок

Технологія (а) – аеробна система з активним шламом

компанія SSAB Tunnplåt AB, завод в м. Лулео, Швеція.

Технологія (с) нітрифікація – денітрифікація

Установки для очищення стічних вод коксохімічного виробництва з використанням концепції попередньої денітрифікації/нітрифікації були впроваджені компанією ArcelorMittal в м. Гент, Бельгія, компанією ArcelorMittal в м. Сереманж, Франція, компанією ZKS в м. Діллінген, Німеччина, компанією Hüttenwerke KruppMannesmann, м. Дуйсбург, район Хукінген, Німеччина (див. табл. 5.24).

Установку для очищення стічних вод коксохімічного виробництва з використанням концепції остаточної додаткової відгонки аміаку було впроваджені компанією Rivagroup, м Таранто, Італія.

Довідкова література

[21, EC Coke, 1996] [65, InfoMil, 1997] [88, Льюїс та ін., 1996] [89, Льюїс та ін., 1997] [201, Колін та ін., 2003] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [260, Німеччина, 2007] [272, Німеччина, 2007] [320, Eurofer, 2007] [341, Eurofer, 2007]

6 ДОМЕННІ ПЕЧІ

6.1 Процеси, що застосовуються

Перша справжня доменна піч на основі коксу була введена у 1735 році [152, Ullmann's, 1994]. Доменна піч залишається поза всякими сумнівами найважливішим процесом для виробництва рідкого металу (чавуну). Технологія, ймовірно, буде продовжувати домінувати у виробництві рідкого металу в середньостроковій перспективі. На рис. 6.1 показаний загальний вигляд двох доменних печей [344, Eurofer, 2007].



Джерело: [200, Єврокомісія, 2001]

Рис. 6.1. Загальний вид двох доменних печей із трьома повітрянагрівачами для кожної та димовою трубою для відхідних газів із повітрянагрівачів

Доменна піч є закритою системою, в якій залізомісткі матеріали (шматкова залізна руда, агломерат та/або окатиші), добавки (шлакоутворювачі, такі як вапняк) і відновники (тобто кокс) у безперервний спосіб подаються зверху шахти печі через завантажувальну систему, яка запобігає викидам доменного газу. На рис. 6.2 показана спрощена схема доменної печі, що складається із власне печі, ливарного двору, повітрянагрівачів і двостадійного очищення доменного газу.

Гаряче дуття, збагачене киснем, і допоміжні відновлювальні агенти вдуваються на рівні фурм, забезпечуючи протитечійний рух відновлювальних газів. Повітряне дуття реагує з відновлювальними агентами з утворенням, здебільшого, монооксиду вуглецю (CO), який, зі свого боку, відновлює оксиди заліза до металевого заліза. Рідкий чавун збирається у горні разом зі шлаком, і регулярно відбувається випуск чавуну і шлаку. Рідкий чавун транспортується в ковші сигароподібної форми в сталеплавильний цех, а шлак переробляється для виробництва заповнювача, грануляту або брикетів для дорожнього будівництва і виробництва цементу. Доменний газ збирається на колошнику доменної печі. Він очищується та розподіляється по цехам для використання як палива для нагрівання або для виробництва електроенергії.

Є різні відновлювальні агенти. Вуглець/вуглеводні у вигляді зернистого або пилоподібного вугілля, мазут, залишків нафтопродуктів, відпрацьованих масел, жирів та емульсій, тваринних жирів, есо-oil, природного газу, коксового, конвертерного, доменного газу, відходів пластмас, кам'яновугільної смоли тощо зазвичай є в наявності в достатній кількості при невеликій ціні.

Однак вибір між деякими відновлювальними агентами не визначається однією ціною. Крім того, що це – відновлювальний агент, кокс також розпушує стовп основних шихтових матеріалів і забезпечує проходження газових потоків у шихті доменної печі. Без цієї другої функції (несучої здатності) робота доменної печі була б неможлива.

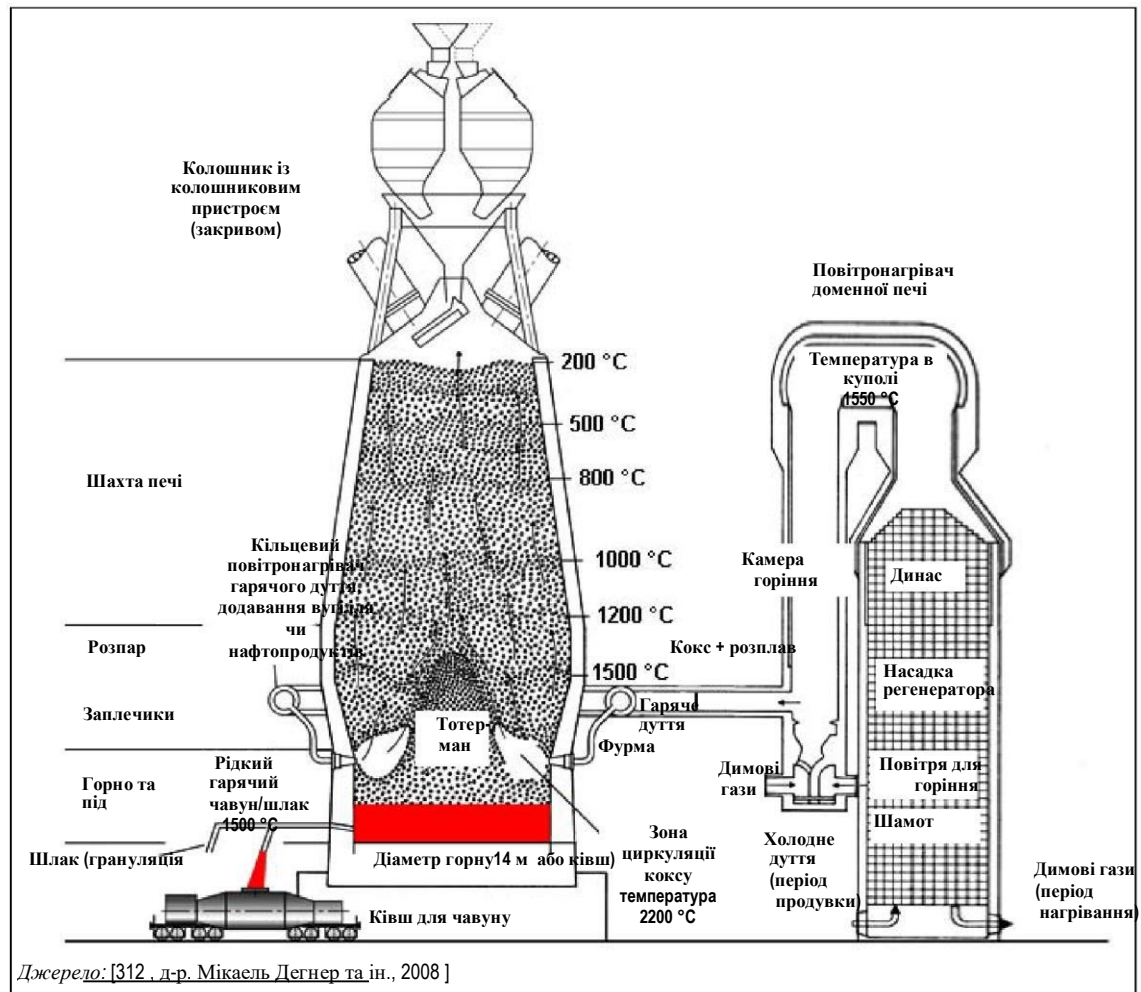


Рис. 6.2. Спрощена схема доменної печі

Залізні руди, що нині переробляються, характеризуються більшим вмістом гематиту (Fe_2O_3) та іноді невеликою кількістю магнетиту (Fe_3O_4). У доменній печі ці компоненти поступово відновлюються з утворенням оксиду заліза (FeO), а потім частково відновлюються і науглецьовуються з утворенням чавуну. В кінцевому підсумку металева частина шихти плавиться, реакції завершуються, і рідкий чавун та шлак накопичуються в горні. Відновлювальний вуглець коксу реагує з утворенням CO і CO_2 . Додаються флюси і добавки для зниження температури плавлення порожньої породи, підвищення засвоєння сірки шлаком, забезпечуючи необхідну якість рідкого чавуну і подальшу переробку шлаку.

В зв'язку з тим, що в доменній печі шихта рухається вниз, температура зростає, тому полегшуються реакції відновлення оксидів та утворення шлаків. Шихта піддається серії змін складу такого типу:

- оксиди заліза в шихті поступово відновлюються (з утворенням губчастого заліза та в кінцевому підсумку розплавленого чавуну)
- кисень залізної руди реагує з коксом або монооксидом вуглецю, в такий спосіб утворюючи монооксид вуглецю або діоксид вуглецю, які збираються у колошника
- компоненти порожньої породи об'єднуються із флюсами з утворенням шлаку. Цей шлак є складною сумішшю силікатів з меншою щільністю, ніж розплавлений чавун
- кокс, переважно, виконує функцію відновлювального агента, але також і палива. Він залишає піч у вигляді монооксиду вуглецю, діоксиду вуглецю або вуглецю в розплавленому чавуні
- будь-який наявний водень також діє як відновлювальний агент, реагуючи з киснем із утворенням води.

Відбуваються такі операції:

- підготовки шихти
- завантаження і транспортування сировинних матеріалів
- технологічний процес в доменній печі
- підготовки гарячого дуття
- безпосереднє вдування відновлювальних агентів
- лиття
- охолодження і переробка шлаку.

6.1.1 Підготовка шихти

Для отримання гарячого чавуну потрібні великі кількості сипучих матеріалів типу шматкової руди, суміші агломерату зі шматкової руди і окатишів, агломерату та допоміжних речовин.

Надмірно великі шматки руди повинні бути роздроблені, подрібнені та просіяні для отримання частинок необхідного розміру. Руда зазвичай піддається певним стадіям підготовки.

Зазвичай попередньо підготовлені руди та інші матеріали постачають судами, залізницею та іноді вантажівками і розвантажуються за допомогою відповідних розвантажувальних пристроїв. Залежно від попередніх умов та їх властивостей, наприклад, зміни їх реакційної здатності та їх змочувальної здатності, вони підлягають зберіганню на відкритому повітрі, під дахом, в бункері, в посудинах або в ущільненому вигляді, тимчасовому (проміжному) або тривалому зберіганню. Нерівномірності в рудах різного походження балануються за допомогою змішування. Цей процес усереднення відбувається на рудоусереднювальних складах.

Що стосується питання, що саме включає в себе підготовка шихти, то можна виявити різні погляди з цього приводу. Зазвичай підготовка шихти включає в себе процеси приготування, змішування перед агломераційною установкою на рудоусереднювальних складах, транспортування агломерату, коксу та можливого безпосереднього транспортування шматкової руди, а також усі процеси дозування до завантаження на колошник доменної печі. Іноді включається розвантаження, транспортування та зберігання руд і коксу, а іноді розглядаються тільки операції з рудами.

Система дозування включає грохоти (для залізної руди і коксу), віброживильники (для флюсів) та дозувальні бункери. З дозувальних бункерів сировинні матеріали транспортуються до скіпових візків або до колошників доменної печі за допомогою стрічкового транспортера. У разі використання агломерату та/або окатишів додатково до шматкової руди до естакадного бункеру доменного цеху додаються відповідні системи зберігання та дозування.

Для більшості доменних печей дозування сировинних матеріалів і завантаження через колошник доменної печі здійснюється автоматично за допомогою системи телемеханіки з диспетчерського пункту та системи підготовки шихти, що піддається повному знепилюванню за допомогою системи з рукавним фільтром.

6.1.2 Транспортування і завантаження сировини

Суміш залізовмісних матеріалів (шматки залізної руди, агломерату та/або окатишів) та добавок (флюси) разом називається «шихтою». Шихта та супутній для неї кокс завантажуються в колошник доменної печі або за допомогою скіпових візків, або за допомогою механічних конвеєрних стрічок. Вони надходять до печі за допомогою герметичної системи завантаження, яка відокремлює пічні гази від атмосферного повітря. Ця система необхідна, оскільки тиск у доменній печі перевищує атмосферний тиск (0,25 – 2,5 бар). У той час як багато нових великих доменних печей мають високий тиск під колошником (до 2,5 бар), сучасні печі працюють за набагато меншого тиску. Він може бути всього 0,25 бар, залежно від строку служби печі та інших обмежувальних факторів, таких як тиск дуття, та обмеження, пов'язані із конструкцією системи очищення газу.

Герметична система завантаження може бути з конусним та безконусним завантажувальним пристроєм. Протягом завантаження можуть відбуватися викиди пилу та доменного газу. Видалення газів із колошника печі та з'єднання із системою очищення доменного газу можна використовувати для контролю викидів на цій стадії процесу.

6.1.3 Робота доменної печі

У доменній печі сировинні матеріали надходять на колошник, в той час як продукти (розплавлений чавун і шлак) розливаються з нижньої частини (горна). Тверда шихта рухається вниз, зустрічаючись із потоком гарячого відновлювального газу. Доменний газ із залишковою теплотворною здатністю збирається під колошником печі для очищення.

Доменну піч можна розділити на шість температурних зон:

- колошник: на колошнику відбувається завантаження шихти і видалення доменного газу;
- шахта: в шахті гарячий доменний газ віддає своє тепло твердій шихті. Температура шихти зростає від температури навколишнього повітря приблизно до 950 °С, а оксиди заліза частково відновлюються в цій зоні;
- розпар: розпар з'єднує шахту із заплечиками. У цій частині температура підвищується додатково з 950 °С приблизно до 1 250 °С. Має місце подальше відновлення оксидів заліза, і починаються реакції коксу;
- заплечики: тривають реакції коксу в зоні заплечиків. Розплавляється чавун та утворюється шлак;
- фурми: в цій зоні гаряче дуття вдувається в піч за допомогою серії фурм (до 42 штук). Фурми розташовані по верхньому периметру горна та оснащені великою трубою (кільцевим повітропроводом), що оточує піч на висоті заплечиків. Температура тут може перевищувати 2 000 °С, а оксиди повністю відновлюються

- горн: в нижній частині горну, металопримальнику, збираються рідкі продукти плавки, тобто розплавлений чавун і шлак. Навколо горну розташовано від однієї до чотирьох льоток, і в будь-який момент часу в роботі знаходяться одна або дві льотки.

Шахта печі, розпар, заплечики і фурмена зона зазвичай охолоджуються водою, тоді як горн охолоджується водою, мастилом або повітрям. Піч облицьована вогнетривким матеріалом (товщина горну становить принаймні 1,5 м).

Продуктивність по чавуну знаходиться в діапазоні приблизно від 0,5 млн т/рік для малих доменних печей та до 5,5 млн т/рік для великих доменних печей.

Технологія доменного процесу використовує високоякісну руду. Будь-які елементи, що йдуть разом із залізом, перерозподіляються між фазою рідкого чавуну і шлаком. У фазу рідкого чавуну потрапляють фосфор, сірка, манган та кремній. Титан, алюміній, кальцій, магній і велика частина кремнію та сірки потрапляють у шлак у вигляді оксидів або металоїдів. Є також можливість того, що деякі елементи випаровуються та відкладаються на різних частинах доменної печі. Це особливо стосується цинку (Zn) та свинцю (Pb), які потрапляють у доменну піч із залізними рудами і стають побічними продуктами на агломераційній установці.

Загальна питома кількість цинку в шихті зазвичай змінюється від 100 до 250 г/т виробленого чавуну. Як правило, на більшості сучасних печей питома частка цинку обмежується величиною 100 – 150 г/т чавуну. Пил та шлами з високим вмістом цинку або свинцю зазвичай не приймаються як повернення на агломераційну установку, або ж вони використовуються тільки в обмеженій кількості [344, Eurofer, 2007].

Видалення цинку і свинцю з печі виробляється при експлуатації доменної печі так, що температура в центрі печі підтримується вище 400 °С. Цинк тоді з більшою ймовірністю буде віддалятися з доменним газом у вигляді дрібних частинок ZnO, які майже повністю залишаються при очищенні (колошникового) доменного газу [105, Паздей та ін., 1995].

Доменний газ

Доменний газ складається з 20 – 28 % CO, 1 – 5 % H₂, інертних сполук (50 – 55 % N₂, 17 – 25 % CO₂), деяких сполук сірки і ціанідів та великої кількості пилу від шихти. Доменні печі з вдуванням природного і коксового газу мають більший вміст водню (до 10 %) в колошниковому газі. Кількість ціанідів може бути особливо високою протягом операцій продувки доменної печі; але це відбувається тільки випадково, і потім вносяться добавки до системи для мінімізації утворення ціанідів. Теплотворна здатність доменного газу становить приблизно 2,7 – 4,0 МДж/нм³. Виробництво доменного газу становить приблизно 1 200 – 2 000 нм³/т чавуну.

Після очищення доменний газ часто використовується як паливо після збагачення коксовим газом, конвертерним або природним газом, які мають більшу теплотворну здатність. Доменний газ можна також використовувати без поліпшення якості (наприклад, у повітрянагрівачах), якщо застосовуються сучасні пальники та/або підігрів повітря для горіння і якщо застосовуються відповідні заходи безпеки [145, коментарі UBA (UBA Comments), 1997].

6.1.3.1 Застосування відновлювальних агентів

Відновлювальні агенти, що використовуються для переробки оксидів заліза в доменній печі, включають кокс, вугілля, нафтовий газ та інші джерела вуглеводнів. Вони використовуються, здебільшого, для отримання відновлювального газу, і, отже, для сприяння відновленню оксидів заліза до металевого заліза, а потім для науглецювання заліза. Найважливішим відновлювальним агентом є кокс, вироблений за допомогою процесу коксування (див. Розділ 5).

Частина коксу в доменній печі може бути заміщена вугіллям, нафтопродуктами або газом, що вдуваються на рівні фурм, і це також називається прямим вдуванням.

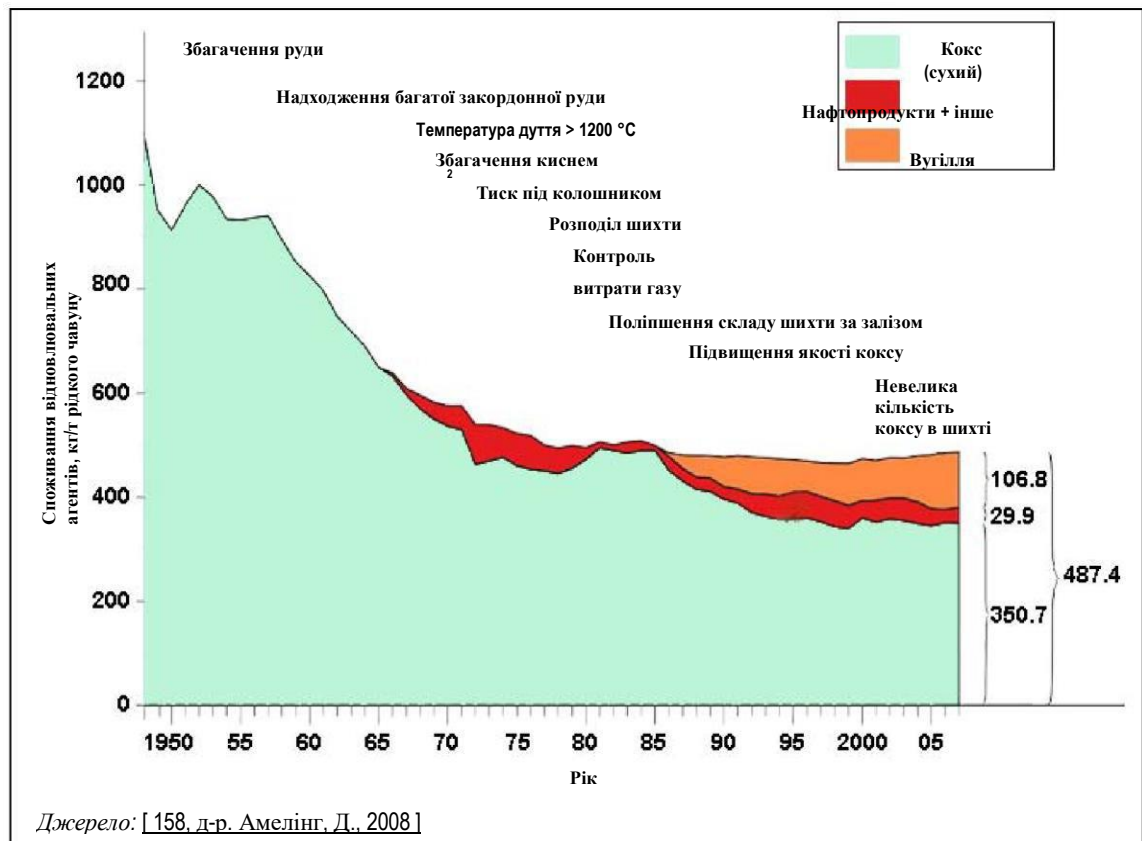


Рис. 6.3. Середнє споживання відновлювальних агентів доменними печами в Німеччині

На рис. 6.3 показано середнє споживання відновлювальних агентів в доменних печах Німеччини і зміна потреби у відновлювальних агентах та їх типів із 1950 року. З цього малюнка можна побачити, що загальна потреба різко знижувалася протягом наступних проміжків часу завдяки застосуванню згаданих заходів. Власне, застосування нафтопродуктів почалося в кінці 1960-х років, в той час як вдування вугілля з'явилася в 1985 році, і вона зростала.

Вдування вугілля або нафтопродуктів в доменні печі є технологією, яка зараз широко застосовується в Європі та в усьому світі. На рис. 6.4 даються рівні споживання відновлювальних агентів для різних країн або регіонів у 2006 році. Можна побачити, що в усьому світі кокс та вугілля є основними відновлювальними агентами, що використовуються. Застосування заміщення коксу вугіллям за допомогою вдування останнього залежить від ряду факторів, зокрема таких як продуктивність, властивості коксу, бажана якість чавуну, тип вугілля (наприклад, антрацит) та умови (вологість) вугілля тощо. [11, Кемпелл та ін., 1992] [65, InfoMil, 1997].

Проте, слід підкреслити, що деяка кількість коксу все ще необхідна в доменній печі, щоб була можливість належної роботи печі. Вважається, що теоретичний максимум для вдування вугілля на рівні фурми становить 270 кг/т гарячого чавуну. Це граничне значення встановлено газопроникністю коксу і термохімічними умовами в печі. Кокс забезпечує необхідну несучу здатність для підтримки шихти доменної печі та забезпечує достатню газопроникність.

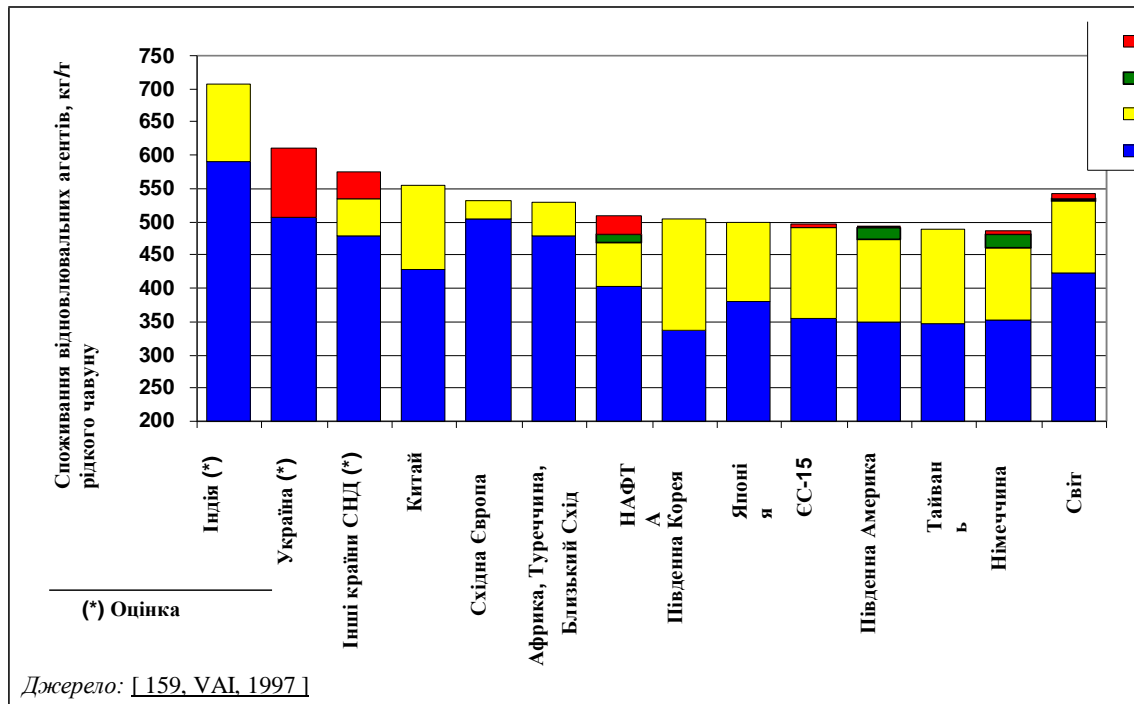


Рис. 6.4. Споживання відновлювальних агентів у доменних печах у світі у 2006 році

Безпосереднє вдування відновлювальних агентів означає заміну частини коксу іншим джерелом вуглеводнів, який вдувається в піч на рівні фурм (див. також пункт 6.2.2.4). Як було згадано вище, вугілля та нафтопродукти найчастіше використовуються як робочі агенти. Також можуть використовуватися інші вуглеводні, такі як мазут, залишки нафтопродуктів, відпрацьовані масла, що утилізуються, кам'яновугільна смола, гранульовані матеріали або, частіше, пилоподібне вугілля, природний або коксовий газ і пластик. При зниженні споживання коксу зменшується загальний рівень забруднень і споживання енергії.

Вдування пилоподібного вугілля (PCI) або вдування нафтопродуктів дають важливі економічні та експлуатаційні вигоди, зокрема:

- менше споживання дорогого коксівного вугілля і більший діапазон використовуваного вугілля
- продовження строку служби коксових печей
- підвищення продуктивності доменних печей
- велика гнучкість у роботі доменних печей (регулювання речовин, що вводяться до фурм, набагато легше ніж коригування шихти)
- підвищення стабільності якості чавуну і вмісту кремнію
- зниження загальних викидів від сталеплавильних цехів внаслідок зниження викидів при отриманні коксу.

Недоліками PCI є:

- додаткові витрати на збагачення. Необхідність постачання великої кількості кисню вимагає кисневої станції
- додаткова потреба в розпилювачі на наявних заводах і додаткові вимоги для обслуговування установок для вдування.

Вдування додаткових кількостей вугілля і нафтопродуктів знижує температури в зоні циркуляції коксу, що впливає на ефективність роботи доменної печі. Це означає, що в доменних печах зі звичайною відновлювальною плавкою допустиме вдування вугілля обмежується до 150 кг/т чавуну. Для підтримки стійких умов циркуляції та водночас для досягнення підвищених рівнів введення вугілля та/або нафтопродуктів (до 260 кг/т чавуну) є різні варіанти. Звичайним варіантом є використання кисню для збагачення дуття або вдування вугілля і нафтопродуктів разом із киснем на рівні фурми. Останній варіант називається оху-coal (вдування кисню з пиловугільним паливом) і оху-oil (вдування кисню з нафтопродуктами) (див. пункт 6.3.12).

Під час написання цього довідкового документа (2010 рік) нові доменні печі або наявні системи вдування проєктувалися для рівнів PCI 200 кг/т чавуну або більше.

Довідкова література

[158, д-р Амелінг, Д., 2008] [160, Міжнародне енергетичне агенство «Центр чистого вугілля» (IEA Clean Coal Centre), 2006] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [211, Ремус, Райнер, 2008] [277, Вісенбергер, 2007]

6.1.4 Робота повітрянагрівачів

Гаряче дуття для роботи доменної печі забезпечується за допомогою повітрянагрівачів (іноді їх називають «Каупер доменної печі»). Повітрянагрівачі – це допоміжні установки, що використовуються для підігріву дуття. Підвищення температури дуття приводить до зниження потреб у вуглеці. Основною функцією гарячого дуття є постачання кисню, необхідного для газифікації коксу, і, отже, постачання газу, який при контакті з шихтою відновлює оксиди заліза.

Повітрянагрівачі працюють у циклічному режимі. Вони нагріваються за допомогою горючих газів (зазвичай це збагачений доменний газ) доти, поки в куполі повітрянагрівача не буде досягнута необхідна температура (приблизно 1 100 – 1 500 °С). Горючий газ потім відключається, і холодне навколишнє повітря продувається через повітрянагрівачі в протилежному напрямку. Холодне повітря нагрівається гарячими цеглинами, і, в такий спосіб, виходить гаряче дуття (900 – 1 350 °С), яке направляється до доменної печі. Процес триває доти, поки повітрянагрівач не зможе більше забезпечувати належну температуру дуттєвого газу, після чого знову починається початковий цикл нагрівання. Тривалість кожного циклу залежить від умов у конкретному доменному цеху, таких як джерело енергії, характеристики системи і заходи економії енергії.

Загалом, повітрянагрівачі можна класифікувати як апарати з внутрішньою або зовнішньою камерою горіння (див. рис. 6.5). Ця різниця є важливою для викидів CO.

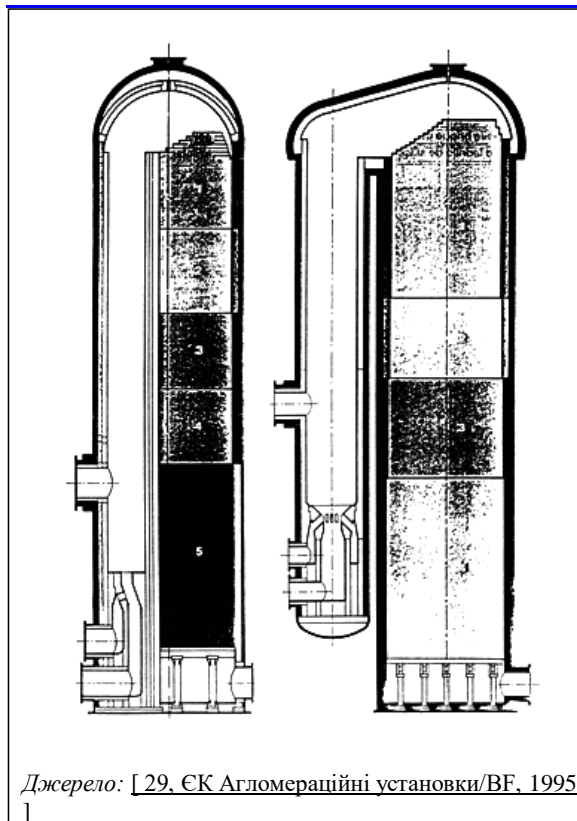


Рис. 6.5. Повітрянагрівачі (каупери) з внутрішніми і зовнішніми камерами горіння в розрізі

Для кожної доменної печі необхідно три або чотири повітрянагрівача. Викиди у повітря відбуваються протягом стадії нагрівання повітрянагрівача.

6.1.5 Розливка

У доменній печі періодично відбувається розливка для видалення чавуну і шлаку з горну. З цією метою одна з льоток відкривається у боковій стінці нижньої частини горна за допомогою буру для відкриття льотки або буру з нагрівальним елементом. У деяких випадках для відкриття льотки використовують кисневу фурму. Зазвичай доменна піч має від однієї до чотирьох льоток. Кількість льоток визначається продуктивністю (розміром) доменної печі.

У сучасних доменних печах чавун і шлак випускають разом (зазвичай шлак виходить слідом за чавуном). Шлак та чавун згодом розділяються за допомогою скімерного пристрою на ливарному дворі, після чого вони продовжують текти по окремому жолобові.

Чавун, що розливається з доменної печі, протікає по вогнетривкому жолобу або жолобу з низькоцементним покриттям, який футерований теплотривкою сумішшю оксиду алюмінію та вуглецю або кремнезему та карбіду, і розливається в ковші (безпосередньо або по похилому жолобу). Ці ковші можуть бути закритого або відкритого типу, або сигароподібного виду. У розплавленому стані чавун має температуру приблизно 1 440 – 1 500 °С.

Шлак, що розливають з печі, стікає по жолобах на установку для грануляції у шлакові ковші або у відкриту канаву.

Наприкінці циклу розливки льотка закладається механічно за допомогою вдування спеціальної теплостійкої глиняної суміші, з використанням гармати для забивання льотки.

6.1.6 Охолодження і переробка шлаку

[174, Euroslag, 2006] [347, Eurofer, 2007]

Кількість шлаку, що утворюється, залежить від вмісту порожньої породи в шихті доменної печі, чорних металів у шихті, коксової золи і золи від матеріалів, що вдуваються, наприклад вугілля і кількості флюсу, що вимагається для досягнення необхідної якості рідкого чавуну. Для того, щоб шлак доменної печі був прийнятним для використання за межами металургійних заводів, необхідно вжити додаткових заходів для забезпечення того, щоб шлак відповідав необхідним хімічним та/або фізичним властивостям. Шлак може бути спрямований на різні види використання, включаючи матеріал для дорожнього будівництва, як інертних складових бетону, теплової ізоляції (мінерального утеплювача) та як заміна клінкеру у виробництві цементу. Загальне використання шлаку доменних печей є метою, яка у багатьох випадках вже виконана [347, Eurofer, 2007].

Під час написання (2010 рік) використовувалося три основні процеси для обробки рідкого шлаку доменних печей:

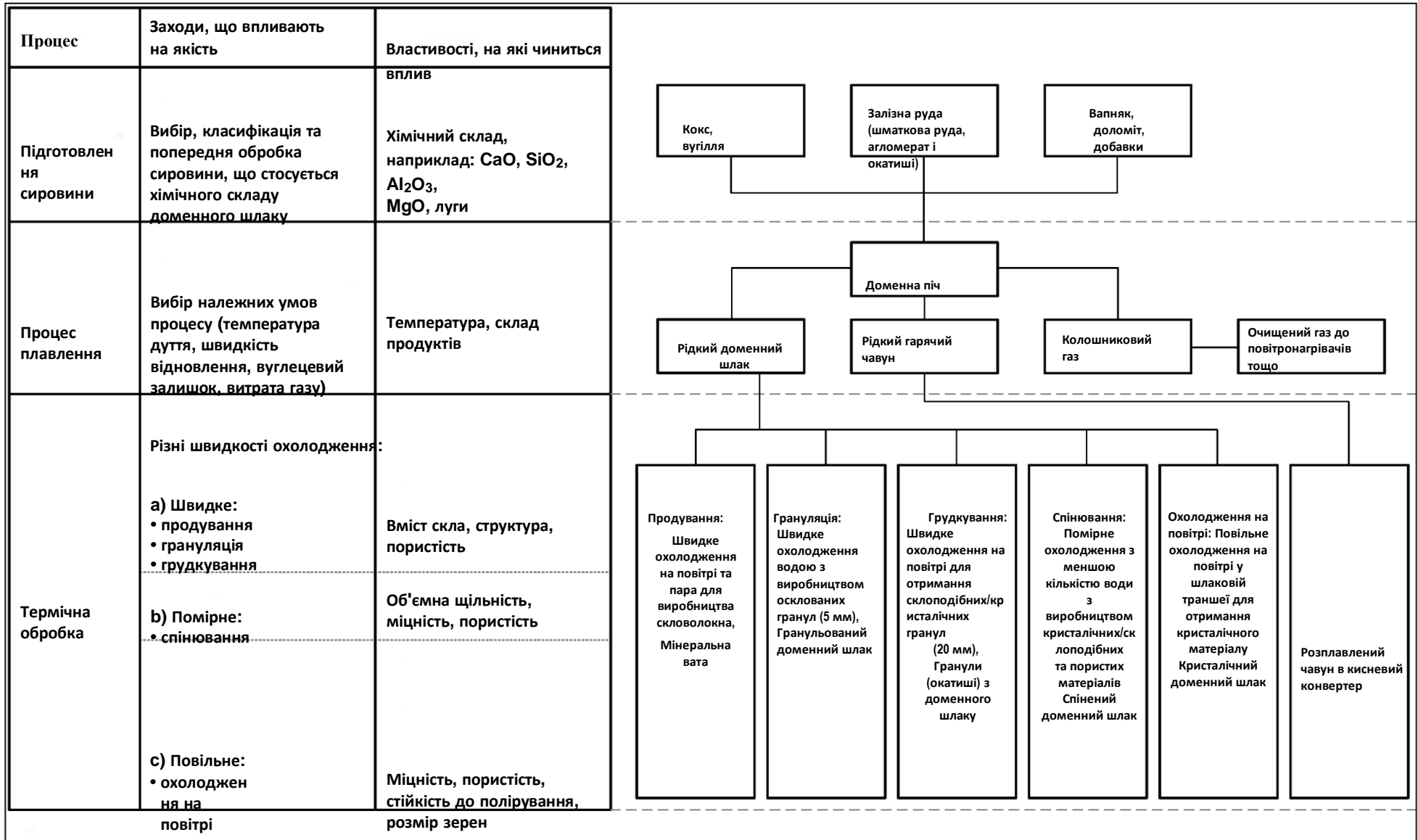
- процес грануляції шлаку з водою (75 %)
- процес брикетування шлаку (2 %)
- процес у шлаковому відвалі (який також називається охолодженням на повітрі) (23 %).

Під час всіх цих процесів охолодження шлаку може утворюватися сульфід водню, що має характерний запах.

Грануляція шлаку з використанням повітря зараз використовується для переробки шлаків доменних печей у промисловому масштабі. У всіх таких процесах шлак диспергується, а частки охолоджуються навколишнім (оточуючим) повітрям. Часто застосовується додаткове обприскування водою для прискорення охолодження. Внаслідок деяких недоліків (наприклад, високі вимоги до місця, шуму, неконтрольованих викидів газоподібних сполук сірки, викидів дрібнодисперсних частинок), цей вид грануляції практикується дуже рідко.

Інші процеси, такі як продування для отримання мінеральної вати і спінування для отримання пінистого доменного шлаку, використовуються не так часто.

Можливі напрямки використання рідкого шлаку, що розливається з доменної печі, і заходи впливу на його якість, наведені на рис. 6.6.



Джерело: [174, Euroslag, 2006] [344, Eurofer, 2007] [347, Eurofer, 2007]

Рис. 6.6. Резюме методів контролю і технологічних схем для рідких доменних шлаків

6.1.6.1 Процес грануляції шлаку

[241, Польща, 2007] [347, Eurofer, 2007] [392, Шмідт та ін., 2003]

Грануляція була найпоширенішим процесом, що використовувався під час написання документа (2010 рік) в країнах ЄС для переробки доменного шлаку. Процес пов'язаний із литтям розплавленого шлаку через струмінь води високого тиску в грануляційну насадку (іноді в грануляційну камеру), розташовану в безпосередній близькості від доменної печі. Для грануляції шлаку використовується в деяких випадках прісна вода у відкритій/закритій системі (іноді використовується морська вода).

Після грануляції суспензія зі шлаку і води зазвичай транспортується у водостічну систему, що складається з горизонтального відстійника (наприклад, OCP – процес із відкритим циклом), вертикальної фільтрувальної воронки або обертового зневоднювального барабана (наприклад, процес INBA® та процес RASA®). У деяких випадках суспензія зі шлаку і води транспортується у відстійник перед відведенням води. У деяких випадках збираються водяні пари та конденсуються.

Після зневоднення залишкова вологість гранульованого шлаку зазвичай складає близько 10 %. Фільтрувальний шар періодично промивається водою і продувається повітрям для видалення тонкодисперсних частинок. На рис. 6.7 та рис. 6.8 показано два приклади технологій грануляції: процеси VCP і процес INBA.

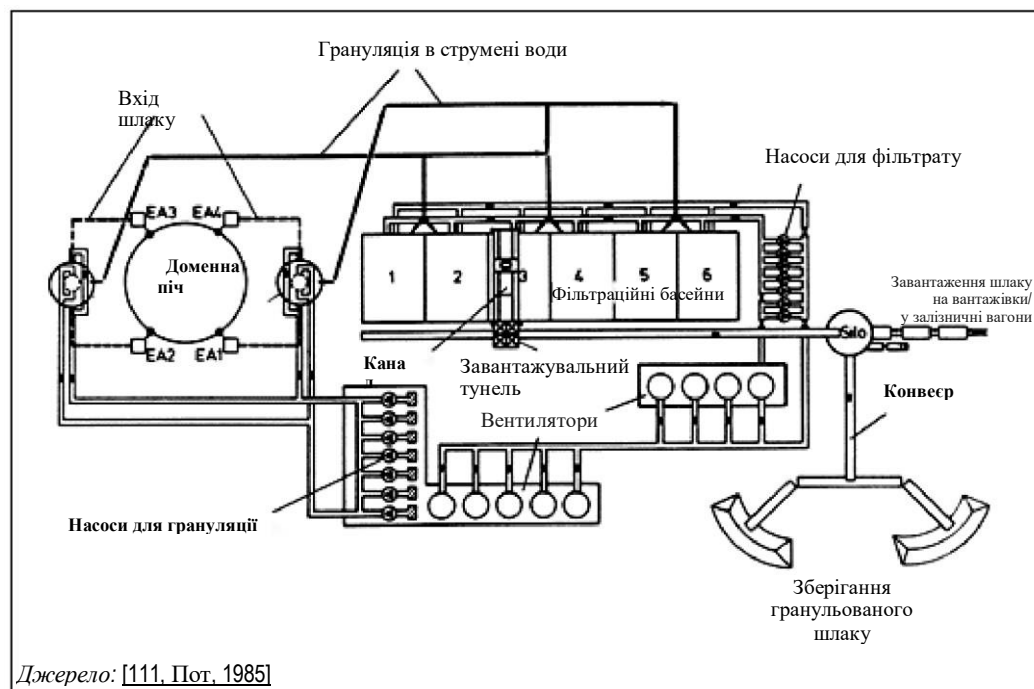
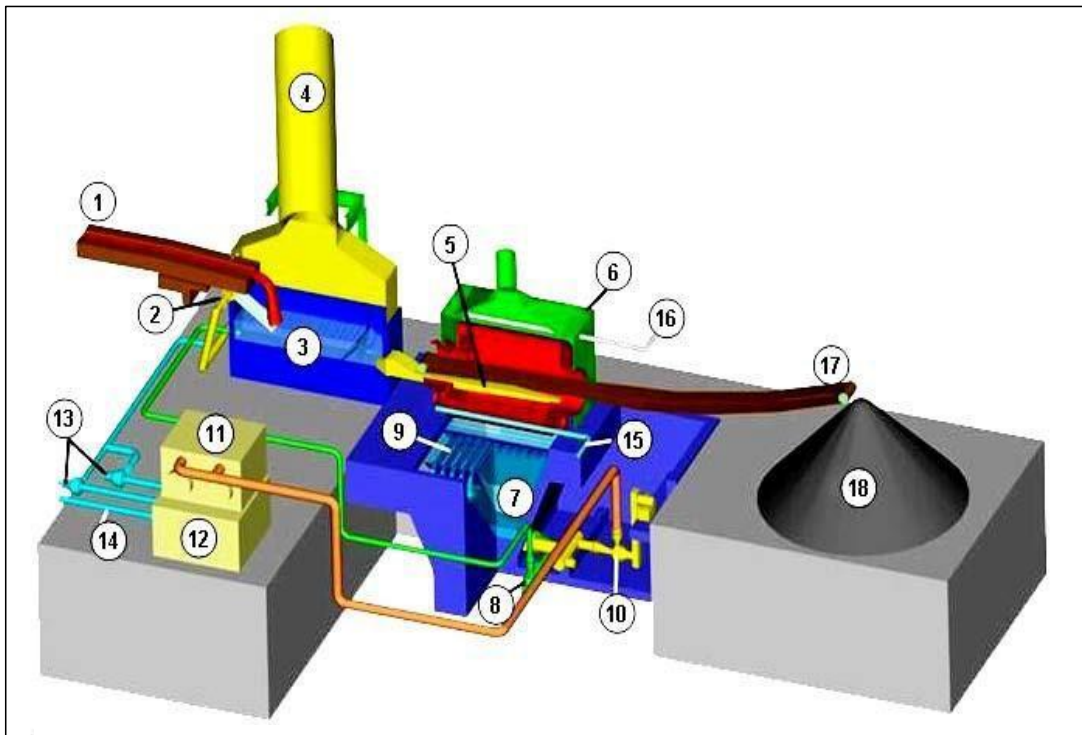


Рис. 6.7. Приклад грануляції доменного шлаку з відкритим циклом



1	Жолоб (ринва) для випуску чавуну	2	Модуль для продування	3	Грануляційний бункер
4	Димова труба	5	Розподільвач та сповільнювачі потоку	6	Зневоднювальний барабан
7	Бак із гарячою водою	8	Рециркуляційний насос	9	Система каналів із переливанням
10	Насос охолоджувальної камери	11	Охолоджувальна камера	12	Бак із холодною водою
13	Водяний насос для грануляції	14	Підживлююча вода	15	Вода для очищення барабану
16	Повітря для очищення барабану	17	Конвеєрна стрічка	18	Відвал для матеріалів

Джерело: [140, Eurofer, 2009]

Рис. 6.8. Грануляція доменного шлаку в процесі INBA

6.1.6.2 Процес брикетування шлаку

Процес брикетування використовується тільки на декількох заводах в ЄС і на кількох заводах у Канаді. Розплавлений шлак розподіляється в шарі на пластині, яка діє як відбивач. Смугу шлаку розтинають струмені води, які ініціюють розбухання та охолодження шлаку. Потім шлак викидається за допомогою центрифуги в повітря на обертовий барабан для завершення продування та охолодження. Частинки шлаку прямують різними траєкторіями відповідно до їх розмірів, які варіюються від подрібненого піску до збільшених гранул [347, Eurofer, 2007].

При належному виконанні технічна вода повністю витрачається під час випаровування та у вигляді вологості продукту. Питоме споживання води менше ніж потрібно для мокрої грануляції.

Подібно до гранульованого шлаку, брикетований шлак використовується як заміна клінкеру у виробництві цементу.

6.1.6.3 Переробка шлаку в шлаковій траншеї

[392, Шмідт та ін., 2003]

Процес у шлаковій траншеї (який називається також охолодженням на повітрі) пов'язаний із розливанням розплавленого шлаку тонкими шарами безпосередньо до шлакової траншеї поруч із печами. Або ж після збору шлаку в ковшах розплавлений шлак повільно охолоджується та кристалізується на відкритому повітрі. Траншеї одна за одною заповнюються і спорожняються, а шматковий шлак руйнується та дробиться для використання як великого заповнювача. На практиці час охолодження може бути знижено за допомогою обприскування гарячого шлаку контрольованою кількістю води, хоча при цьому збільшується можливість емісії запахів. При належному виконанні охолоджувальна вода повністю витрачається під час випаровування.

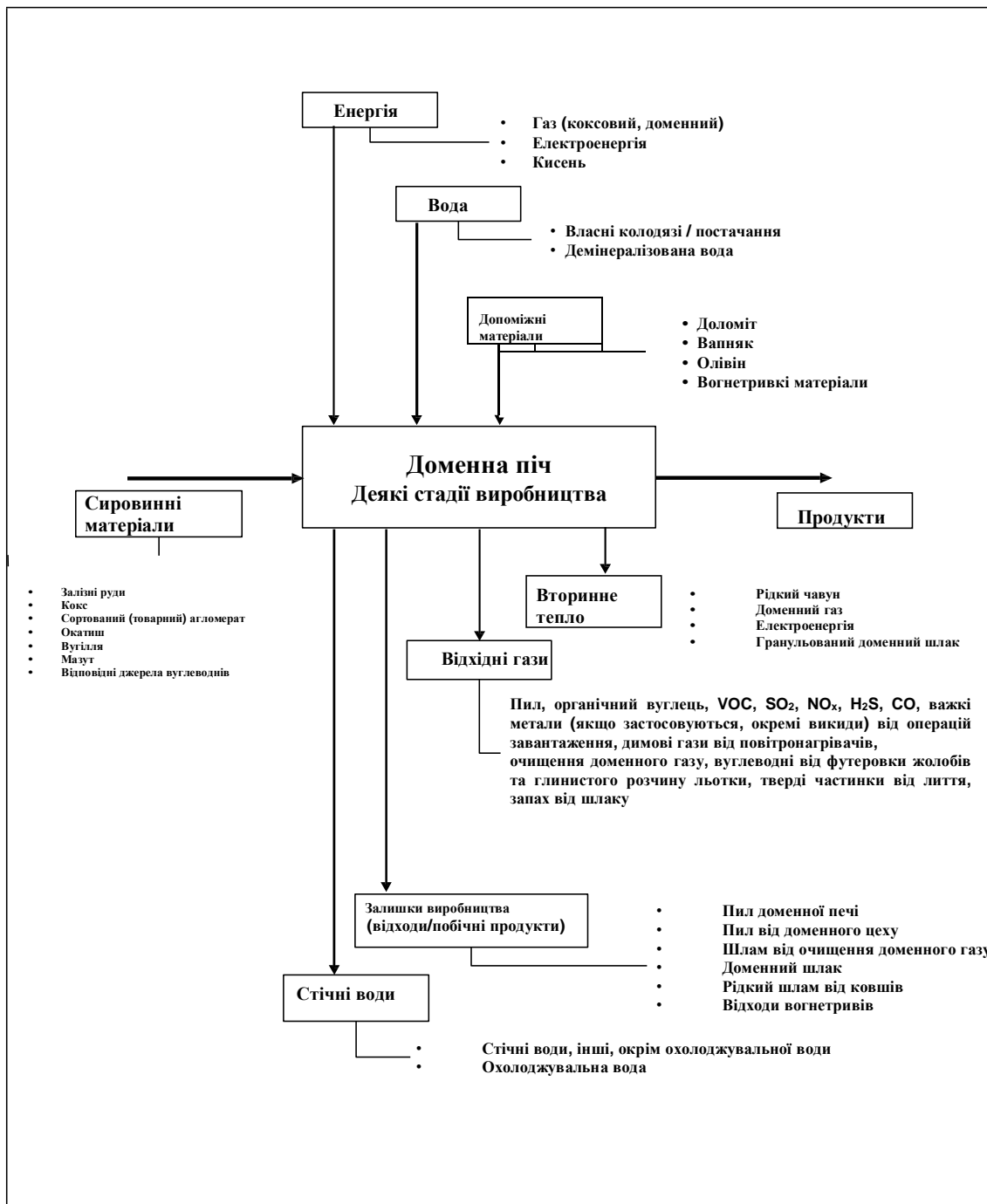
У процесі в шлаковій траншеї виходить шматковий кристалічний шлак, який є бажаним наповнювачем у будівництві (наприклад, сировина для дорожнього будівництва). Час охолодження чинить сильний вплив на якість одержуваного шматкового шлаку. Охолодження водою покращує також мікроструктуру, досягаються кращі механічні властивості.

Деякими ідентифікованими недоліками цього процесу є те, що якість продукту може опинитися під дуже сильним впливом охолодження, що призводить до обмеженого застосування продукту, а також те, що поводження з рідким шлаком і дроблення твердого шлаку вимагають набагато більших затрат праці порівняно з грануляцією і брикетуванням.

6.2 Поточний рівень викидів і споживання

6.2.1 Огляд основних потоків і даних споживання та виробництва

На рис. 6.9 представлений огляд вхідних і вихідних масових потоків для доменної печі. Цей огляд можна використовувати для збору даних від однієї доменної печі.



Джерело: [200, Єврокомісія, 2001]

Рис. 6.9. Загальне уявлення про масові потоки в доменній печі

На рис. 6.10 наведено приклад загальної схеми процесу в доменній печі разом із вхідними та вихідними масовими потоками.

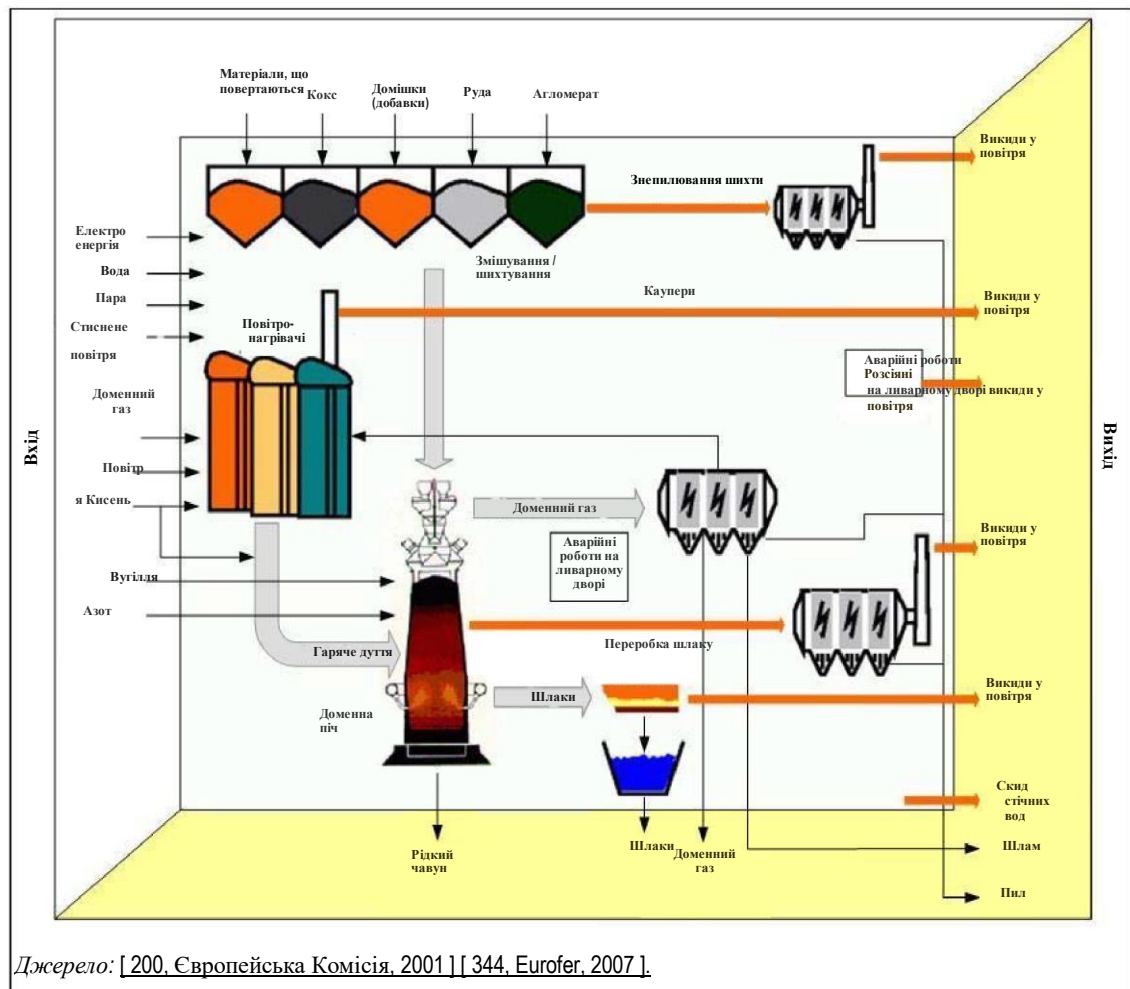


Рис. 6.10. Загальна схема процесу в доменній печі із зазначенням індивідуальних операцій, а також вхідних і вихідних масових потоків

Питомі фактори виробництва і питомі коефіцієнти викидів були визначені для доменних печей. У табл. 6.1, табл. 6.2 і табл. 6.5 наведені дані для цих показників, отримані для багатьох доменних печей, і в такий спосіб дається репрезентативна картина сучасних заводів.

Вхідні елементи

Таблиця 6.1: Вхідні дані для доменних печей в різних країнах-членах ЄС

Вхідні елементи	Одиниці	Максимум	Мінімум	Середньо- зважене значення
Сировинні матеріали				
Агломерат	кг/т чавуну	1 621	116	1 088
Залізна руда	кг/т чавуну	684	0	180
Окатиші	кг/т чавуну	972	0	358
Кокс	кг/т чавуну	515	282	359
Відходи	кг/т чавуну	106	0	20,1
Вапняк/вапно	кг/т чавуну	80	0	25,7
Вдування у фурму				
Рідке паливо	кг/т чавуну	116	0	30,1
Вугілля	кг/т чавуну	232	0	162
Коксовий газ	кг/т чавуну	46,9	0	1,1
Природний газ	кг/т чавуну	5,6	0	2,2
Кисень	кг/т чавуну	85,1	0	54,4
Інше ⁽¹⁾	кг/т чавуну	73,5	0	3,6
До повітрянагрівачів				
Доменний газ	МДж/т чавуну	2287	1,2	1 536
Коксовий газ	МДж/т чавуну	817	0,024	284
Природний газ	МДж/т чавуну	819	0	168
Конвертерний газ	МДж/т чавуну	259	0,124	213
Енергія				
Електроенергія	МДж/т чавуну	850	107	268
Інше				
Кисень	м ³ /т чавуну	67	4,6	43
Азот	м ³ /т чавуну	59	33	46
Пара	МДж/т чавуну	435	14,8	48
Стиснене повітря	м ³ /т чавуну	35	0,008	9,1
Охолоджувальна вода ⁽²⁾	м ³ /т чавуну	22,9 ⁽⁴⁾	0,37 ⁽⁴⁾	–
Технічна вода ⁽³⁾	м ³ /т чавуну	13	0,28	3,4

(1) Інше включає пластмаси, утилізовані масла, жири, емульсії тощо.
(2) Вода, яка не має безпосереднього контакту в процесі.
(3) Технічна вода є складовою частиною процесу і не міститься в певній системі охолодження, наприклад вода в шлаковій траншеї.
(4) Відмінності відображають прямоточну і замкнену систему. Середньозважені значення не розраховані, так як прямоточна система не повинна порівнюватись із замкненою системою.
Примітка: — НМ: рідкий чавун.
— Вхідні дані для доменної печі за 2004 рік, на основі виробництва 73,4 млн т чавуну.
Джерело: [140, Eurofer, 2009] [234, Польща, 2007] [346, Eurofer, 2007].

Вихідні елементи

Таблиця 6.2: Вихідні дані за 2004 рік для доменних печей

Вихідні елементи	Одиниці вимірювання	Максимум	Мінімум	Кількість	Тоннаж чавуну
Енергія					
Доменний газ	МДж/т чавуну	6 061	3 377	16	62 956 753
Електроенергія	МДж/т чавуну	91	40	6	31 160 302
Залишки виробництва (відходи/побічні продукти)					
Шлаки	кг/т чавуну	346,6	150,0	18	69 223 393
Пил колошникового газу	кг/т чавуну	18,0	3,4	13	61 044 562
Шлам колошникового газу	кг/т чавуну	22,3	2,0	15	66 268 056
Пил від знепилювання ливарного двору	кг/т чавуну	5,1	0,6	8	41 197 012
Використані вогнетриви	кг/т чавуну	5,9	0,3	8	48 063 570
Стічні води	м ³ /т чавуну	13,736 (*)	0,096 ⁽²⁾	12	54 428 253
Дані ґрунтуються на таких параметрах:					
– Вироблено чавуну 73 459 787 т. Не було даних для окремих доменних печей Власне, через це значення вище ніж будь-яке інше у стовпчику «Тоннаж чавуну».					
– Вироблено доменного шлаку 19 562 299 т					
(*) Відображено відмінності прямої та замкнутої системи Примітка: — НМ= рідкий чавун.					
— Кількість позначає кількість доменних печей в ЄС.					
— Тоннаж чавуну: Кількість рідкого чавуну, що вироблена на установках, із яких було надано звітні дані щодо кожного виробу.					
Джерело: [140, Eurofer, 2009] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [234, Польща 2007] [346, Eurofer, 2007]					

У наступних таблицях 6.3 – 6.6 наведена додаткова інформація зі значними подробицями про коефіцієнти викидів у повітря (після газоочищення) для зони завантаження, ливарного двору та основних окремих операцій, пов'язаних із роботою доменної печі.

Таблиця 6.3: Викиди від підготовки вугілля для вдування

Операція / джерело викидів	Пил (г/т чавуну)
Підготовки вугілля для вдування	
Кількість даних	15
Діапазон (мінімум – максимум)	2 – 54
$\bar{x} \pm s$	12 ± 16
Примітка: — НМ= рідкий чавун (неочищена рідка сталь).	
– $\bar{x} \pm s$ = середнє значення і стандартне відхилення (розраховується тільки у тому випадку, якщо є достатньо даних).	
Джерело: [200, Єврокомісія, 2001].	

Таблиця 6.4: Викиди із зони завантаження

Параметр	Одиниці вимірювання	Діапазон
Пил	г/т чавуну	2,7 – 81,4
PM ₁₀	г/т чавуну	0,2 – 11,0
Джерело: [200, Європейська Комісія, 2001] [346, Eurofer, 2007]		

Високі значення для викидів пилу із зони завантаження повідомлялися залежно від типу розпилення води і наявності або відсутності системи відведення, що направляє газ із повітряного шлюзу до системи очищення доменного газу (див. п. 6.3.5). При відсутності зазначеної системи коефіцієнти викидів для зони завантаження, виходячи з повідомлень, дуже високі та становлять 400 і 850 г пилу/т чавуну на двох бельгійських заводах [170, N.N., 1997].

Таблиця 6.5: Викиди в повітря з ливарного двору доменної печі (на кінці труби)

Параметр	Одиниці вимірювання	Максимум	Мінімум
Пил	г/т чавуну	41,95	0,42
PM ₁₀	г/т чавуну	25,92	0,26
SO ₂	г/т чавуну	193,80	7,34
NO _x	г/т чавуну	2,08	2,08
CO	г/т чавуну	35,63	21,52
Cr	мг/т чавуну	10,41	2,76
Mn	мг/т чавуну	53,02	45,12
Ni	мг/т чавуну	10,61	1,99
Pb	мг/т чавуну	24,33	2,19
Zn	мг/т чавуну	12,9	3,81
Hg	мкг/т чавуну	200,3	55,50
As	мкг/т чавуну	299,8	205,69
Cd	мкг/т чавуну	223,3	65,3

Примітка: — Тверді частинки утворюються в повітрі протягом розливання внаслідок окислення: проблеми викликають два місця: (а) річка; (б) міксерний ківш. Для зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу від цього незначного окислення розплавленого чавуну жолоби футерують і застосовується відсмоктування як у районі річки, так і під час заливання у міксерний ківш. Повітря з цих місць очищується в електрофільтрах або в рукавних фільтрах перед викидом в атмосферу. Представлені дані стосуються скидання після очисного обладнання.
— НМ= рідкий чавун.

Джерело: [140, Eurofer, 2009] [346, Eurofer, 2007].

Тверді частинки викидаються в повітря протягом розливання внаслідок окислення. Два місця викликають побоювання; там, де знаходиться річка, і місце розміщення міксерного ковша. Для зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу від цього незначного окислення розплавленого чавуну жолоби футерують і застосовується відсмоктування як у районі річки, так і під час заливання у міксерний ківш. Повітря з цих місць очищується в електрофільтрах або в рукавних фільтрах перед викидом в атмосферу. Представлені дані з табл. 6.5 стосуються скидання після очисного обладнання.

Таблиця 6.6: Викиди в повітря від грануляції доменного шлаку

Операція/джерело викидів	Пил (г/т чавуну)	H ₂ S (г/т чавуну)	SO ₂ (г/т чавуну)	NO _x (г/т чавуну)	CO (г/т чавуну)
Грануляція шлаку NR	NA	14/1 – 300 ⁽¹⁾	13/1 – 142 ⁽¹⁾	LS	LS
x±s		63±95	31±42		

(1) Низькі значення (близько 1 г/т чавуну) стосуються установок для гранулювання шлаку з конденсацією диму Примітка:
— НМ= рідкий чавун (неочищена рідка сталь).
— x±s = середнє значення і стандартне відхилення (розраховується тільки у тому випадку, якщо є достатньо даних)
— NR – Кількість даних / діапазон даних (мін.-макс.).
— LS – малозначні показники
— NA – немає даних.

Джерело: [200, Єврокомісія, 2001].

6.2.2 Екологічні проблеми для процесу доменного виробництва

Доменна піч є, перш за все, джерелом викидів у повітря пилу та газів. Коли застосовуються технології боротьби із забрудненнями для зниження викидів, відбуваються взаємодії між середовищами.

Загалом, пункти з 6.2.2.1 по 6.2.2.5 присвячені опису найважливіших екологічних проблем для процесів у доменній печі:

- Викиди у повітря від:
 - підготовки шихти
 - завантаження і транспортування
 - доменного газу (як непрямі викиди від спалювання)
 - повітрянагрівачів
 - ливарного двору
 - переробки шлаку
- Стічні води від:
 - переливу води від очищення доменного газу
 - стічних вод від грануляції шлаку
 - прориви систем охолодження
- Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти від:
 - пилу від розливання (лиття)
 - пилу та шламу від очищення доменного газу
 - шлаку з доменної печі
- Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти від:
 - прямого вдування (безпосереднього вдування) відновлювальних агентів
 - потреби у відновлювальних агентах
- Шум.

6.2.2.1 Викиди у повітря

[145, коментарі UBA (UBA Comments), 1997] [247, Нідерланди, 2007]

Підготовка шихти

Важливими можуть бути викиди від сушки/дроблення вугілля. Наявні дані з однієї бельгійської доменної печі показують, що викиди пилу знаходяться в діапазоні від 54 до 139 мг/нм³, СО від 292 до 383 мг/нм³, СН₄ – 1 250 мг/нм³. Всі значення стосуються вмісту кисню 3 % [171, N.N., 2007].

Вугільний пил для безпосереднього вдування зазвичай зберігається в бункерах та посудинах. Викиди у повітря можуть відбуватися також при витісненні повітря протягом завантаження. З цієї причини повітря, що містить пил, зазвичай збирається і згодом піддається сухому знепилюванню.

Завантаження і транспортування

У зв'язку із тим, що тиск в печі вище атмосферного тиску, використовується герметична система завантаження конусного або безконусного типу.

Можуть бути викиди всіх складових доменного газу, але основними є монооксид вуглецю (СО) та пил. При використанні системи з утилізації газу можливі набагато менші викиди при завантаженні й транспортуванні.

Доменний газ

У неочищеному доменному газі міститься пил (включаючи важкі метали та вуглець), монооксид вуглецю, діоксид вуглецю, сполуки сірки, аміаку, ціанідів, вуглеводні та РАН. Доменний газ використовується як джерело енергії.

Газ піддається очищенню, для того щоб він відповідав технічним умовам і використовувався для різних процесів спалювання, таких як підігрів дуття у повітрянагрівачах (див. п. 6.1.4) або нагрівання в коксовій печі (див. п. 5.1.2.2). Отже, відбуваються (непрямі) викиди при спалюванні доменного газу.

Очищення доменного газу зазвичай складається з попереднього очищення для видалення грубого пилу і подальшого мокрого очищення для видалення тонкодисперсного пилу (і, отже, важких металів), SO₂ і сполук ціанідів. На деяких доменних печах застосовуються електрофільтри.

Вміст пилу в неочищеному доменному газі суттєво відрізняється від однієї печі до іншої, а також великою мірою залежить від умов технологічного процесу, змінюючись від 5,5 до 40 кг/т чавуну, що виплавляється. Після очищення в доменному газі зазвичай міститься менше 10 мг/нм³ пилу. Ці викиди відбуваються у місці спалювання.

У табл. 6.7 наведені дані декількох складових доменного газу.

Таблиця 6.7: Склад неочищеного доменного газу (перед очищенням)

Компонент неочищеного доменного газу	Значення	Одиниці вимірювання	Питомі викиди	Одиниці вимірювання
Виробництво доменного газу	1,0 – 7,0	1 · 10 ⁵ нм ³ /год	1 200 – 2 000	нм ³ /т чавуну
Пил	3 500 – 30 000	мг/нм ³	7 000 – 40 000	г/т чавуну
Вуглеводні	67 – 250	мг/нм ³	130 – 330	г/т чавуну
Сполуки ціанідів (як CN ⁻)	0,26 – 1,0 ⁽¹⁾	мг/нм ³	0,5 – 1,3	г/т чавуну
Аміак	10 – 40	мг/нм ³	20 – 50	г/т чавуну
• РАН ⁽²⁾				
• Бензопірен	0,08 – 0,28	мг/нм ³	0,15 – 0,36	г/т чавуну
• Флуорантен	0,15 – 0,56	мг/нм ³	0,30 – 0,72	г/т чавуну
Монооксид вуглецю	20 – 28	об.-%	300 – 700	кг/т чавуну
Діоксид вуглецю	17 – 25	об.-%	400 – 900	кг/т чавуну
Водень	1 – 5	об.-%	1 – 7,5	кг/т чавуну

(1) Викиди протягом продувки можуть бути значно вище.
(2) Є також багато інших поліциклічних ароматичних вуглеводнів (РАН).
Джерело: [65, InfoMil, 1997] [344, Eurofer, 2007].

Протягом двостадійного очищення доменного газу пил видаляється з високим ступенем ефективності, що також стосується і сполук, пов'язаних із пилом, таких як більшість важких металів і РАН. У табл. 6.8 показаний склад доменного газу після очищення. У газі все ще утримуються деякі важкі метали, але порівняно з агломераційними установками (див. п. 4.2.1) навантаження за ними значно нижче.

Таблиця 6.8: Склад доменного газу (після двостадійного очищення)

Компонент очищеного доменного газу	Концентрація	Одиниці вимірювання	Питомі викиди	Одиниці вимірювання
Виробництво доменного газу	1,0 – 7,0	$1 \cdot 10^5$ нм ³ /год	1 200 – 2 000	нм ³ /т чавуну
Пил	1 – 10	мг/нм ³	1 – 20	г/т чавуну
Вуглеводні	NA	мг/нм ³	NA	г/т чавуну
H ₂ S	14	мг/нм ³	17 – 26	г/т чавуну
Сполуки ціанідів (як CN-)	NA	мг/нм ³	NA	г/т чавуну
Аміак	NA	мг/нм ³	NA	г/т чавуну
Метали				
• Mn	0,10 – 0,29	мг/нм ³	0,22 – 0,37	г/т чавуну
• Pb	0,01 – 0,05	мг/нм ³	0,02 – 0,07	г/т чавуну
• Zn	0,03 – 0,17	мг/нм ³	0,07 – 0,22	г/т чавуну
Монооксид вуглецю	20 – 28	об.-%	300 – 700	кг/т чавуну
Діоксид вуглецю	17 – 25	об.-%	400 – 900	кг/т чавуну
Водень	1 – 5	об.-%	1 – 7,5	кг/т чавуну

Примітка: NA = Немає даних.
Джерело: [65, InfoMil, 1997] [344, Eurofer, 2007].

В ЄС мокре газоочищення є найчастіше застосовуваною технологією як друга стадія очищення доменного газу. При цьому утворюється потік забруднених стічних вод, в якому містяться зважені тверді речовини (наприклад, вуглець і важкі метали), сполуки ціанідів, азоту тощо. Сепаровані тверді частинки створюють проблему відходів унаслідок наявності важких металів, особливо цинку. В той час як великі частки пилу зазвичай повертаються в цикл на агломераційну установку, шлам від газоочищення зазвичай зневоднюється та повертається на агломераційну установку (зазвичай за допомогою гідроциклону, який відокремлює фракції з низькими і високими концентраціями важких металів), або вони направляються на безпечний полігон [247, Нідерланди, 2007] [248, Eurofer, 2007].

Повітрянагрівачі

Повітрянагрівачі обігріваються за допомогою газу. Залежно від конкретної ситуації є такі поєднання:

- доменний газ + коксовий газ
- доменний газ + природний газ
- доменний газ + конвертерний газ
- будь-які інші поєднання чотирьох використовуваних газів (доменний, коксовий, природний, конвертерний газ) або моногаз.

У коксовому газі містяться сполуки сірки, які викидаються у вигляді SO₂ у повітрянагрівачах, коли цей газ використовується для нагрівання повітря. В роботі [145, коментарі UBA (UBA Comments), 1997] повідомляється, що кілька повітрянагрівачів із сучасними пальниками і з підігрівом повітря для горіння працюють з використанням доменного газу без збагачення [344, Eurofer, 2007].

У табл. 6.9 наведені виміряні концентрації викидів для основних забруднюючих речовин від повітрянагрівачів.

Таблиця 6.9: Концентрації викидів від повітрянагрівачів

Параметр	Діапазон (мг/нм ³) Середнє річне значення	Діапазон (мг/нм ³) Середнє піврічне значення
Пил	< 0,1 – 12	
CO	4,11 – 2 891	20
NO _x	19 – 115	20 – 120
SO _x	4 – 154	60 – 210
Hg	0,003	
Cd, Tl	0,0057 ⁽¹⁾	
Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	0,24 ⁽¹⁾	
HF	<0,08	
HCl	3 ⁽¹⁾	
PCDD/F	0.002 – 0.004 (нг/нм ³)	

⁽¹⁾ Значення відповідають максимальним величинам, але не є середньорічними.
Примітка: Значення отримані із семи установок в ЄС і відповідають середньорічним значенням та з трьох німецьких установок додатково для півгодинних середніх.
Джерело: [171, N.N., 2007] [200, Єврокомісія, 2001] [244, Плікерт, 2007] [346, Eurofer, 2007].

Витрата димових газів із повітрянагрівачів становить приблизно від 100 тис. до 500 тис. нм³/год на одну доменну піч. Питома витрата відхідних газів становить 400 – 1 500 нм³/т чавуну. Концентрації викидів SO₂ знаходяться в діапазоні від 4 до 154 мг/нм³ залежно від застосовуваного газу (на середньорічній основі, див. табл. 6.9), що відповідає 1,6 – 154 г/т чавуну. У випадку суміші доменного газу і не підданого десульфурації коксового газу питоми викиди можуть дійти до 400 г SO₂/ т чавуну, що відповідає 267 – 1 000 мг/нм³.

Повітрянагрівачі є основним джерелом викидів NO_x в доменному процесі. NO_x утворюються в результаті високих температур у повітрянагрівачі. Концентрації викидів знаходяться у діапазоні від 19 до 115 мг/нм³ (на середньорічній основі, див. табл. 6.9), що відповідає 6 – 173 г/т виплавленого чавуну [344, Eurofer, 2007].

Викиди пилу з повітрянагрівачів зазвичай знаходяться від 1 до 12 мг/нм³, що відповідає 0,4 – 18 г/т виплавленого чавуну [344, Eurofer, 2007].

Викиди CO значні у випадку камер внутрішнього горіння (див. рис. 6.5). Тріщини в цегляній кладці, яких дуже важко уникнути, свідчать про те, що доменний газ може без спалювання переходити у відхідні гази і може видалятися за концентрацій до 2 891 мг CO/нм³. У разі зовнішньої камери горіння з контрольованим спалюванням концентрація буде <50 мг CO/нм³ [171, N.N., 2007], [344, Eurofer, 2007].

Ливарний двір

Лиття чавуну пов'язане з утворенням викидів пилу. В середньому за відсутності очищення викиди знаходяться у діапазоні від 400 до 1 500 г/т виплавленого чавуну. Ці викиди здебільшого виникають внаслідок контакту між розплавленим чавуном, шлаком і навколишнім повітрям. Для того, щоб уловити пил, що утворюється при розливанні, в багатьох доменних печах в ЄС використовуються системи знепилювання на ливарному дворі (уловлювання пилу в льотці, відокремлення шлаку і заливання рідкого чавуну в міксерний ківш) з витратою від 200 тис. до 700 тис. нм³/год. Викиди пилу залежать від застосовуваного методу очищення (в деяких випадках їх все ще немає) та ефективності видалення пилу. У багатьох випадках застосовуються рукавні фільтри, за допомогою яких можна досягти рівня викидів менше ніж 10 мг пилу/нм³. Питомі викиди пилу варіюються від 0,5 до 45 г/т виплавленого чавуну, при середньому значенні 32 г/т виплавленого чавуну. Окрім того, має місце викид певної кількості SO₂ з рідкого шлаку і чавуну протягом розливання (7 – 195 г/т виплавленого чавуну) [344, Eurofer, 2007].

Таблиця 6.10: Концентрації викидів із ливарного двору доменної печі та знепилювання шихти

Параметр	Діапазон (мг/нм ³) Середнє річне значення	Порівняльний період часу
Пил	0,3 – 10,4 0,38 – 0,49	AAV DAV
SO _x	12	AAV
Hg	<0,0001	AAV
Cd, Tl	0,00004	AAV
As, Co, Ni, Se, Te	<0,003	AAV
Pb, Co, Ni, Se, Te	<0,5	AAV
Pb, Cr, Cu, Mn, V	0,004 – 0,014	AAV
Sb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Sn	<1	AAV
HCl	0,7	AAV
H ₂ S	1,2	AAV

Примітка: Значення знаходяться в діапазоні, отриманому на чотирьох установках в ЄС, і вони відповідають щорічним середнім значенням та відповідають середньодобовим значенням для пилу для однієї німецької установки.
Джерело: [200, Єврокомісія, 2001] [244, Плікерт, 2007] [346, Eurofer, 2007].

Переробка шлаку

Під час реакції води з розплавленим шлаком, особливо із сполуками сірки (зазвичай CaS і MnS) утворюється пара і відбуваються викиди H₂S і SO₂. Ці викиди є потенційними джерелами запаху і викликають проблеми корозії обладнання. Їх важливість змінюється відповідно до використовуваної технології переробки шлаку. Доменний шлак, що тече по шлаковому жолобу, має вміст сірки близько 1 – 2 ваг. %. Основною сполукою сірки у шлаку є CaS [392, Шмідт та ін., 2003].

Викиди можуть змінюватися значною мірою від однієї доменної печі до іншої, від одного циклу переробки шлаку до іншого і в межах одного циклу переробки шлаку. Діапазон спостережуваних питомих викидів широкий. Наявні дані варіюються від 1 до 320 г H₂S/т рідкого чавуну і від 1 до 150 г SO₂/т рідкого чавуну для грануляції шлаку. Для промислової установки INBA із середньою витратою шлаку 3,5 т/хв і за передбачуваної витрати повітря/пари, що викидається через димову трубу 10 000 нм³/год, підсумкові концентрації H₂S і SO₂ перебуватимуть у діапазоні від 50 до 28 000 мг/нм³ для H₂S і 135 – 15 600 мг/нм³ для SO₂. Якщо шлак не піддається дії води, але охолоджується повітрям, відбуватимуться тривалі низькі викиди переважно SO₂. З погляду усунення шкідливих умов це слід розглядати як перевагу [344, Eurofer, 2007] [392, Шмідт та ін., 2003].

Викиди H₂S і SO₂ є потенційними причинами появи запахів і корозії обладнання. Викиди газоподібних сполук сірки значною мірою залежать від виду системи грануляції, витрати шлаку, співвідношення шлаку до води і температури води при грануляції. Оскільки розчинність H₂S і SO₂ знижується з підвищенням температури води, в системах грануляції холодною водою спостерігаються знижені викиди газоподібних сполук сірки, ніж у системах грануляції гарячою водою [242, Кофлін, 2007] [392, Шмідт та ін., 2003].

Задля зниження викидів деякі установки працюють із конденсацією диму. Конденсат і вода від зневоднення шлаку циркулюють після охолодження, коли використовується прісна вода. Повторне використання води не проводиться, коли для грануляції шлаку використовується морська вода і конденсація диму. З використанням цієї технології викиди H₂S знаходяться у діапазоні від 1 до 10 г/тонну чавуну.

Вода, яка використовується в процесі грануляції і брикетування, може значною мірою збиратися та повторно використовуватися при використанні прісної води. Ці системи можуть працювати так, що утворюватимуться невеликі кількості стічних вод.

Пара, що утворюється протягом цього процесу, містить пил, SO_2 і H_2S , які зазвичай викидаються в атмосферу. Були проведені випробування щодо повторного використання фізичного тепла шлаку, але зараз немає системи, що працює у промисловому масштабі. Потенціал з утилізації енергії становить приблизно 0,35 ГДж/т чавуну.

Виробництво шматкового шлаку з траншей зазвичай призводить до великих викидів SO_2 і H_2S , які важче контролювати. Поліпшення фізичних властивостей за допомогою води зазвичай має місце в радіальних відстійниках.

6.2.2.2 Стічні води

Стічні води від очищення відхідних газів

Вода після мокрого очищення доменного газу зазвичай очищується, охолоджується та повертається до скрубера (див. рис. 6.11). Очищення зазвичай відбувається в радіальних відстійниках.

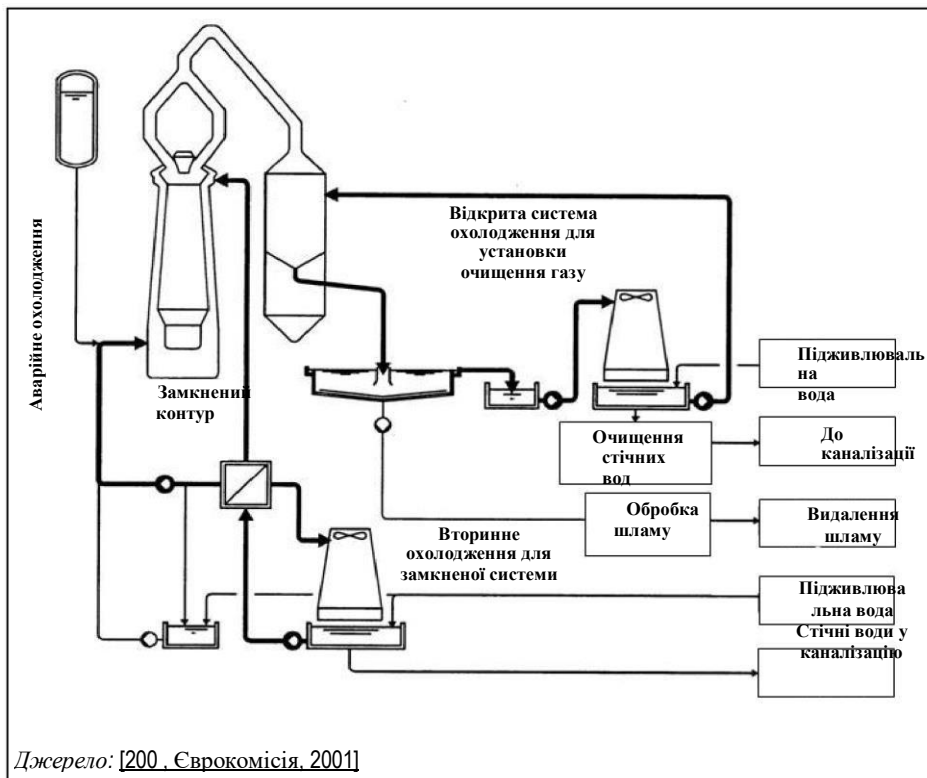


Рис. 6.11. Схема управління водою в доменній печі

Підживлення відстійника зазвичай становить $0,1 - 0,35 \text{ м}^3/\text{т}$ чавуну залежно від якості сировинних матеріалів/технічних умов та наявності води, що впливає на заходи, які вживаються для оптимізації повторно використовуваної води. Зокрема, для сировинних матеріалів із високим вмістом солі можуть знадобитися значно більші об'єми промивних вод.

У табл. 6.11 наведені деякі дані про склад стічних вод від мокрого очищення доменного газу перед очищенням.

Таблиця 6.11: Склад стічних вод від мокрого очищення газу після доменної печі після очищення

Параметр	Концентрація, мг/л
CN=	0,1 – 50
Cl	73,6 ⁽¹⁾
F	1,74 ⁽¹⁾
SO ₄ ²⁻	42 ⁽¹⁾
NH ₄ ⁺	2,0 – 200
S	0 – 5
Fe	6,77 ⁽¹⁾
Mn	0,48 ⁽¹⁾
Zn	0,1 – 29,36
Pb	0,01 – 5
Na	19,19 ⁽¹⁾
Феноли	0,1 – 5

⁽¹⁾ Середнє значення.
Примітка: Дані дослідження, проведеного у 1990 і 1992 роках. Шість доменних печей (з об'ємом 837 – 1 680 м³) виробляли від 280 до 400 кг шлаку/т рідкого чавуну. Середня основність шлаку (CaO/SiO₂) становила 0,9 – 1,1. Подача лугів: 1,4 – 4,8 кг/т рідкого чавуну.
Джерело: [232, Браухон та ін., 1990] [233, Поос та ін., 1993].

Було продемонстровано, що вміст ціанідів зростає під час опускання шихти в доменній печі та протягом перехідних періодів (зупинка, повторний пуск), що частіше було в кінці кампанії доменної печі. За цих умов, вміст ціанідів у скрубєрній воді може бути вищим. У цих умовах, як видається, утворення ціанідів у доменній печі було пов'язане з наявністю лугових металів [232, Браухон та ін., 1990] [233, Поос та ін., 1993].

Стічні води від грануляції шлаку

Підживлення води від системи грануляції шлаку переважно залежить від наявності води і знаходиться в діапазоні від 0,125 до 10 м³/т чавуну, що виробляється. Інформація щодо концентрацій забруднюючих речовин та питомих викидів для стічних вод від грануляції доменного шлаку прісною водою представлена в табл. 6.12. Питомі викиди ґрунтуються на споживанні прісної води у кількості 7921113 м³ і виплавленні чавуну 2221686 т, що відповідає питомому споживанню прісної води 3,57 м³/т чавуну.

Таблиця 6.12: Концентрації забруднюючих речовин та питомі викиди для стічних вод від грануляції доменного шлаку

Параметр	Одиниці вимірювання	Середнє	Медіанне значення	Діапазон (мін.-макс.)	Стандартне відхилення	Питомі викиди	Одиниці вимірювання
Витрата води						3,57	м ³ /т чавуну
Pb	мкг/л	2,52	2,00	<2,00 – 6,40	1,10	7,13	мг/т чавуну
Cd	мкг/л	2,41	2,00	<2,00 – 6,90	1,08	7,13	мг/т чавуну
Cu	мкг/л	4,06	3,80	<2,00 – 9,50	2,05	13,55	мг/т чавуну
Zn	мкг/л	20,92	20,00	<20,00 – 38,00	3,62	71,31	мг/т чавуну
Cd	мкг/л	0,20	0,20	<0,20 – 0,23	0,01	0,71	мг/т чавуну
Ni	мкг/л	3,74	3,15	<2,00 – 10,00	1,98	11,23	мг/т чавуну
Fe	мг/л	0,44	0,18	0,03 – 2,60	0,61	0,64	г/т чавуну
Cl	мг/л	262,96	264,00	140 – 402	57,60	941,26	г/т чавуну
АОХ	мкг/л	21,63	16,50	<10,0 – 66,0	13,18	58,83	г/т чавуну
Зважені тверді частинки	мг/л	27,11	5,90	0,6 – 145,0	42,68	21,04	г/т чавуну
DOC	мг/л	4,70	4,00	3,10 – 8,70	1,46	14,26	г/т чавуну
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	мг/л	5,51	5,00	3,10 – 11,3	2,06	17,83	г/т чавуну
ХСК (COD)	мг/л	22,17	22,50	14,00 – 27,00	4,22	80,22	г/т чавуну
НС	мг/л	0,15	0,10	<0,10 – 0,25	0,05	0,36	г/т чавуну

Примітка: — SS: Зважені тверді частинки.
— HC: Вуглеводні нафтопродуктів.
— SD: Стандартне відхилення.
— Дані ґрунтуються на медіанному значенні 24 вимірювань (для ХСК на шести вимірюваннях).
— Дані від компанії Stahlwerke, Бремен, Німеччина, вимірювання методом випадкової вибірки для складу стічних вод від грануляції шлаку з березня 2000 по листопад 2006 року
— Числові значення, виділені курсивом, вказують, що виміряні значення нижче граничного показника, розрахованого як межа визначення.
Джерело: [357, Німеччина, 2007].

Прориви систем охолодження

Відбуваються прориви потоку охолоджувальної води (див. рис. 6.11). Інформація про репрезентативні кількості та хімічний склад відсутня.

6.2.2.3 Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти

Пил під час випуску

На ливарному дворі може виділятися від 0,6 до 5,1 кг пилу на тонну рідкого чавуну (див. табл. 6.2). Звичайною практикою є сепарація цього пилу в рукавному фільтрі з тим, щоб його можна було легко повторно використовувати, наприклад, на агломераційній стрічці або шляхом повернення до доменної печі після холодного брикетування (див. п. 2.5.4.4.4) або коли використовується пряме вдування [344, Eurofer, 2007].

Пил та шлам від очищення доменного газу

Доменний газ зазвичай очищується за дві стадії: відділення крупних частинок, тобто за допомогою пилосбірників або циклонів, з подальшим відділенням дрібнодисперсного пилу в мокрому електрофільтрі або скрубєрі. При цьому утворюється від 3,5 до 18 кг сухого пилу/т чавуну та від 2 до 22 кг шламів/т чавуну (див. табл. 6.2).

У табл. 6.13 наведено типовий склад сухого крупного пилу. Цей пил складається, перш за все, з вуглецю та заліза від стирання коксу та агломерату, відповідно. Крупний пил зазвичай повертається на агломераційну стрічку. Це набагато важче для шламу через те, що вміст цинку в ньому більше в 10-20 разів, а вміст свинцю – у 20-30 разів вище.

Таблиця 6.13: Типовий склад (% , ваг.) сухого крупного пилу після очищення доменного газу

Параметр	Концентрація, % за масою	Параметр	Концентрація, % за масою
C	25 – 40	S	0,2 – 1,3
Fe	15 – 40	SiO ₂	4 – 8
Pb	0,02 – 0,07	P ₂ O ₅	0,04 – 0,26
Zn	0,1 – 0,5	CaO	2 – 8
Mn	0,1 – 0,5	MgO	0,3 – 2
Al ₂ O ₃	0,2 – 3,7	Na ₂ O	0,03 – 0,64
Ti	0,02 – 0,2	K ₂ O	0,24 – 0,96

Джерело: [64, IISI, 1985] [95, Мергінс, 1986].

Сполуки цинку та свинцю здебільшого видаляються з доменного газу на стадії мокрого очищення. Багато частинок, що стосуються сполук цинку та свинцю або цих важких металів, мають розміри зерен менше ніж 25 мкм, і вони концентруються в цій фракції шламу. Вони можуть відділятися від фракції, багатой чорними металами та вуглецем, в гідроциклоні [344, Eurofer, 2007].

Таблиця 6.14: Типовий склад (% , ваг.) шламів від очищення доменного газу

Параметр	Концентрація, % за масою	Параметр	Концентрація, % за масою
C	15 – 47	S	2,4 – 2,5
Fe	7 – 35	SiO ₂	3 – 9
Pb	0,8 – 2,0	P ₂ O ₅	0,1 – 0,44
Zn	1 – 10	CaO	3,5 – 18
Mn	0,12 – 0,14	MgO	3,5 – 17
Al ₂ O ₃	0,8 – 4,6	Na ₂ O	0,15 – 0,24
		K ₂ O	0,08 – 0,36

Джерело: [64, IISI, 1985] [95, Мергінс, 1986].

На рис. 6.12 показані шляхи використання пилу і шламу від очищення доменного газу, не розрізняючи їх.

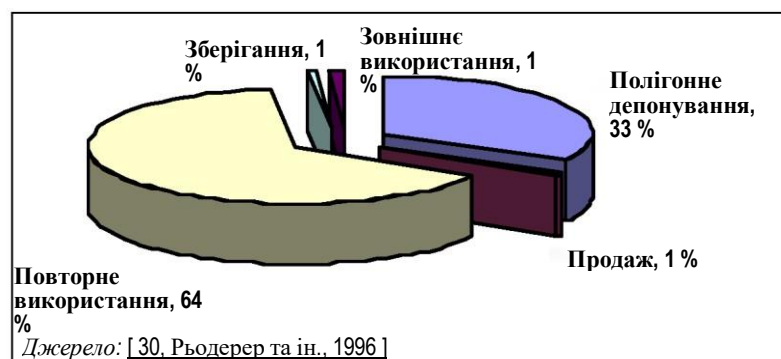


Рис. 6.12. Способи використання пилу і шламів від очищення доменного газу в ЄС

Шлак із доменної печі

Питома кількість шлаку залежить, перш за все, від сировини, що використовується, але зазвичай вони складають від 175 до 350 кг/т чавуну. Склад різних видів доменного шлаку наведено в табл. 6.15 [344, Eurofer, 2007]

Таблиця 6.15: Хімічний склад доменного шлаку (% мас.) для основності нижче і вище 1,0 та інші приклади

Класифікація CaO/SiO ₂	>1,0 середня	<1,0 висока	Доменна піч 1	Доменна піч 2	Доменна піч 3
Fe загальний	0,2 – 0,6	0,4			
FeO			0,49	0,24	0,80
Mn загальний	0,2 – 0,7	0,3			
MnO			0,48	0,66	1,00
TiO ₂	0,5 – 2,7	0,7		0,77	
Al ₂ O ₃	9,0 – 14,0	9,2	13,09	12,63	10,90
S заг., переважно CaS	0,8 – 2,0	1,6		1,12	1,15
SiO ₂	33,2 – 37,0	38,4	32,88	36,78	36,90
CaO	38,1 – 41,7	35,6	33,76	36,64	35,80
MgO	7,0 – 11,0	18,0	15,96	11,19	10,70
Na ₂ O	0,3 – 0,6	0,5		0,35	0,35
K ₂ O	0,6 – 0,8	0,8		0,54	0,40
CaO/SiO ₂	1,1 – 1,2	0,9			
(CaO+MgO)/SiO ₂	1,3 – 1,5	1,2			
TiO ₂			2,05		

Джерело: [47, Гайзелер, 1992] [270, Райнард, 2007] [385, Малмберг та ін., 2005] [392, Шмідт та ін., 2003] [394, Колетта та ін., 2002].

Шлак використовується для різних цілей (див. рис. 6.13).



Рис. 6.13. Кінцеве використання доменного шлаку в ЄС

6.2.2.4 Потреба в енергії та відновлювальних агентах

Основним параметром для визначення споживання енергії є використання відновлювальних агентів (наприклад, коксу, вугілля, нафтопродуктів), яке значною мірою визначає також викиди CO₂ від доменного процесу. Подача відновлювальних агентів знаходиться під впливом деяких робочих параметрів, таких як температура гарячого дуття, кількість і якість агломерату й окатишів, якість коксу (вміст золи, сірки, значення CSR – гаряча міцність коксу [реакційна здатність коксу]), надходження лугів, кількість шлаку, ільменіту, Pb/Zn та Si. Так, середня потреба у відновлювальному агенті в різних країнах ЄС у 2002 році демонструвала широке розмаїття – від 453 до 514 кг/т чавуну, при середній потребі в країнах-членах ЄС-15 486 кг/т чавуну.

У спеціальному доменному процесі, коли переробляється залізо, яке містить матеріали відходів, що переробляються на агломераційній стрічці, з виробництвом чавуну, споживання відновлювальних агентів значно вище, ніж у звичайній доменній печі внаслідок більшого надходження шихтових матеріалів, що чинять вплив, як це було згадано вище (див. п. 2.5.4.4).

Доменний процес є процесом зі значним споживанням енергії, та, отже, зі значними викидами CO₂ (внаслідок високої частки споживання відновлювальних агентів), найвищими в чорній металургії (див. рис. 2.1 і рис. 2.2). У табл. 6.16 наведено приклад споживання/виробництва енергії в доменній печі з підвищеним тиском на колошнику, з використанням вдування вугілля та з утилізацією високого тиску колошникового газу в 1986 році для виробництва електроенергії без урахування енерговмісту чавуну.

Таблиця 6.16: Приклад споживання/виробництва енергії в доменній печі з підвищеним тиском на колошнику та з використанням газових утилізаційних безкомпресорних турбін

Енергоносій		Питома енергія (ГДж/т чавуну)
Вхід (споживання):	Кокс	12,4
	Вугільний пил	1,63
	Гаряче дугтя (від кауперів)	4,52
	Електроенергія	0,12
	Разом (валове значення)	18,67
Вихід (виробництво):	Електроенергія	0,35
	Доменний газ	5,15
<i>Джерело: [65, InfoMil, 1997].</i>		

Багато заводів із відповідним тиском на колошнику (> 1,5 бар) та достатнім перепадом тиску є придатними для встановлення дроселюючих турбін для утилізації енергії тиску колошникового газу.

Покращення процесу спричинило зміни, адже питоме споживання вугілля на європейських металургійних заводах значно зменшилося.

Тенденція безпосереднього вдування відновлювального агенту, ймовірно, приводитиме до подальшого зниження питомого споживання коксу, що, відповідно, сприятиме економії енергії під час виробництва коксу. У більшості доменних печей вдування відновлювальних агентів відбувається на рівні фурм. При цьому, кокс у колошниковому шарі шихти, що завантажується, частково заміщується.

Це дає можливість оператору оптимізувати використання відновлювальних агентів. Іншими перевагами є зменшене виробництво коксу і, через це, зниження питомих викидів від коксових печей на тону виплавленої сталі. На багатьох заводах вдувають вугільний пил, або гранульоване вугілля, або нафтопродукти. На сьогодні деякі оператори доменних печей вдувають коксовий або природний газ. Дві компанії вдувають відходи пластмас у свої печі для використання матеріалів із високим вмістом вуглеводнів для відновлювальних процесів протягом декількох років [145, коментарі UBA (UBA Comments), 1997], та принаймні в ЄС із 2001 року впроваджена одна така установка. Там, де це доречно, увага також приділяється іншим речовинам, які вдуваються та класифікуються як есо-oil, зокрема регенованим або відпрацьованим маслам/оліям, жирам, смолі, тваринним жирам та емульсіям [344, Eurofer, 2007].

6.2.2.5 Шумове забруднення

Шумове забруднення може відбуватися від фурм доменних печей, особливо коли вони не встановлені з відповідним осьовим вирівнюванням [242, Кофлін, 2007].

6.3 Техніки та прийоми, які слід враховувати при визначенні НДТМ

У цьому розділі описані технології (або їх поєднання) і пов'язаний із ними моніторинг, які спрямовані на досягнення високого рівня захисту навколишнього середовища в економічній діяльності у контексті тематики цього документа.

Він включає технології, інтегровані в процес, і заходи, які передбачають очищення в кінці виробничого циклу. Запобігання утворенню відходів та управління ними, включаючи мінімізацію відходів та процедури рециклінгу, також будуть розглянуті. Крім того, в документі описані технології для зниження споживання сировинних матеріалів, води та енергії.

У Додатку III до Директиви перерахований ряд критеріїв для визначення ВАТ (НДТМ), власне, інформація в цьому розділі стосується саме цих міркувань. Наскільки можливо, використана стандартна структура, наведена в табл. 6.17, для загального уявлення про інформацію, зібрану щодо кожної технології, з метою порівняння технологій та оцінки їх на основі визначення ВАТ згідно з Директивою.

Цей розділ необов'язково дає вичерпний перелік технологій, які можна застосовувати в секторі. Можуть існувати інші технології для конкретної установки, які можна було б розглянути для визначення НДТМ.

Таблиця 6.17: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі

Тип розглянутої інформації	Основний зміст інформації
Опис	Короткий технічний опис із використанням за необхідності малюнків, діаграм і технологічних схем
Екологічні переваги, яких можна досягнути	Основні потенційні екологічні вигоди, що досягаються за допомогою реалізації технології (включаючи економію енергії, води, сировини, а також зростання виходу продукції, ефективності використання енергії тощо)
Міжсередовищні наслідки	<p>Вплив на навколишнє середовище та інші середовища внаслідок реалізації технології, включаючи детальні дані щодо впливу на навколишнє середовище технології порівняно з іншими (переваги та недоліки, що підтримуються даними, якщо вони є) для оцінки впливу технології на навколишнє середовище в цілому. Це може включати такі питання, як:</p> <ul style="list-style-type: none"> • споживання сировини і води; • споживання енергії та внесок у зміну клімату; • потенціал руйнування озонового шару; • фотохімічний потенціал утворення озону; • підкислення в результаті викидів у повітря; • тверді частинки в навколишньому повітрі (включаючи мікрочастинки та метали); • евтрофікацію ґрунтів і водойм (у результаті викидів у повітря або скидів у воду); • потенціал виснаження кисню у воді; • стійкі/токсичні/біоаккумуляовані компоненти у воді або ґрунті (включаючи метали); • утворення або зниження (відходів) відходів; • можливість повторного використання або рециклінгу (відходів) залишків; • шум та/або запах; • ризик аварій.
Експлуатаційні дані	Реальні технічні дані (включаючи порівняльні умови, періоди моніторингу та методи моніторингу) про рівні викидів, споживання ресурсів (сировини, води, енергії) та кількості відходів, що утворюються. Будь-яка інша корисна інформація про те, як працює, обслуговується або контролюється технологія.
Можливість застосування	Вказівка щодо типу установок або процесів, у яких технологія може або не може застосовуватися, а також обмеження для реалізації в певних випадках, з урахуванням, наприклад, віку установки (нова або наявна), факторів, пов'язаних із модернізацією (наприклад, наявність місця), розміру установки (велика або невелика), вже впроваджених технологій і типу або якості продукції.
Економічні дані	Витрати (капітальні експлуатаційні) і будь-яка можлива економія (наприклад, зниження споживання сировини або енергії, платежів за розміщення відходів) або доходи, зокрема детальний опис того, як вони були розраховані/оцінені. Економічна інформація, важлива для нового будівництва та модернізації наявних установок. Все це дає змогу ідентифікувати, де це можливо, спільний економічний вплив технології.
Стимули для впровадження	Особливі місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи безпеки) або не екологічні механізми (наприклад, зростання продуктивності, підвищення якості продукції), які регулюють або стимулюють реалізацію технології до теперішнього часу.
Приклади установок	Посилання на установку (установки), для яких була впроваджена технологія, і по якій була зібрана інформація та використана при написанні розділу. Вказівка щодо ступеня використання технології в Європі чи у світі.
Довідкова література	Література або інший довідковий матеріал (наприклад, книги, звіти, дослідження, вебсайти), які були використані при написанні розділу і в яких міститься більш докладна інформація щодо технологій.

6.3.1 Пиловідалення з ливарного двору (льотки, жолоби, скімери, місця зливу до ковшів-торпедо)

Опис

Чавун і шлак розливаються з доменної печі та стікають по жолобах у ківш та, відповідно, на установку для переробки шлаку. Протягом випуску плавлення/лиття рідкий чавун вступає в контакт з атмосферним киснем, коли він тече по жолобах. В результаті високої температури чавуну (1 300 – 1 500 °С) він реагує з киснем із утворенням оксидів заліза (наприклад, Fe_2O_3) та з появою «бурого диму». Шлак не реагує з атмосферним киснем, оскільки більшість його компонентів вже окислені. Однак оксиди лужних металів (наприклад, Na_2O та K_2O) можуть випаровуватися зі шлаку з появою викидів твердих частинок.

Перші вимірювання димових газів під час знепилювання на ливарному дворі вказують на викиди пилу, що знаходяться в діапазоні від 100 до 400 мг/м³ (поодинокі вимірювання), без застосування заходів придушення.

Зазвичай застосовуються два типи заходів для зниження викидів пилу під час лиття (розливання):

- покриття жолобів мобільними кришками
- розсіювання кисню під час розливання чавуну за допомогою покривального шару з азоту. Отже, це запобігає утворенню оксидів заліза (див. п. 6.3.2).

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Протягом лиття утворюється приблизно 400 – 1 500 г пилу на тонну виплавленого чавуну, коли не застосовуються заходи уловлювання пилу. Видалення повітря із зони розташування жолобів призводить, власне, до більшого утворення пилу, внаслідок зростання наявного кисню.

У випадках, коли жолоби покриті кришками і пил видаляється та очищується, найважливішим параметром є ефективність видалення. Особливу увагу слід приділяти покриттю жолобів. Покриття жолобів повинні бути щільно з'єднані з метою створення системи без витоків. У районі льотки важко забезпечити ефективність видалення пилу, що утворюється, внаслідок того, що необхідна площа для операцій із розкриття льотки буром і гармати для закладання льотки, а також внаслідок наявності кільцевого повітропроводу, який обслуговує фурми та оточує доменну піч на висоті заплечиків. Зазвичай необхідно забезпечити дуже великий потік для видалення пилу, що утворюється поблизу льотки.

Основними пунктами видалення пилу на ливарному дворі є:

- льотка
- скімерний пристрій
- похилий жолоб (завантаження до міксерного ковша).

Питома витрата газу, що видаляється, (відпрацьованих газів) становить 1 200 – 3 300 м³/т рідкого чавуну. За наявності ефективної системи збору та видалення пилу (наприклад, рукавного фільтра) питомі викиди пилу будуть менше ніж 10 г/т рідкого чавуну [65, InfoMil, 1997]. Ефективність видалення пилу може перевищувати 99 %, а ефективність очищення від пилу за допомогою рукавних фільтрів також може перевищувати 99 % [65, InfoMil, 1997].

На доменній печі А компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія (виплавка близько 3,5 млн т чавуну/рік), система знепилювання ливарного двору має рукавні фільтри, які очищують

700 000 м³ газів на годину. Викиди пилу вимірюються безперервно. Середньорічні викиди становили 11,0 мг/нм³ (2004 рік) та 2,2 мг/нм³ (2005 рік) після заміни футеровки доменної печі та встановлення системи знепилювання на ливарному дворі, що відбулося в кінці 2004 року. Нещодавно середньодобові значення викидів знаходилися в діапазоні від 3 до 10 мг/нм³.

На ливарному дворі доменної печі компанії Voestalpine система знепилювання з рукавними фільтрами, що очищує 355 000 м³/год була встановлена для доменних печей 5 і 6 наприкінці 2005 року. Викиди пилу вимірюються безперервно. Нещодавні значення викидів пилу на основі щодобових середніх значень склали близько 1 мг/нм³ (див. п. 2.5.5).

У Німеччині досягнуті значення викидів пилу із застосуванням рукавних фільтрів склали 0,3 – 1 мг/нм³ (середньорічні значення) та 0,38 – 0,49 мг/нм³ (середньодобові значення).

Таблиця 6.18: Концентрації викидів із ливарного двору доменної печі та знепилювання шихти

Параметр	Електрофільтр	Рукавний фільтр
Пил	10,4	0,3 – 1 0,38 – 0,49 ⁽¹⁾
Hg		<0,0001
Hg, Tl		<0,0005
Cd, Tl	0,00004	<0,0018
As, Co, Ni, Se, Te	0,003	
As, Co, Ni		<0,003
Pb, Co, Ni, Se, Te		<0,5
Pb, Cr, Cu, Mn, V	0,014	
Pb, Cr, Mn		0,00434
Sb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Sn		<1

⁽¹⁾ Середньодобові значення.
Примітка: – Дані після очищення газів на ливарному дворі зі знепилюванням шихти.
– Середньорічні значення в мг/нм³.
Джерело: [244, Плікерт, 2007].

На рис. 6.14 показані щодобові середні викиди з ливарного двору від трьох доменних печей протягом трьох місяців.

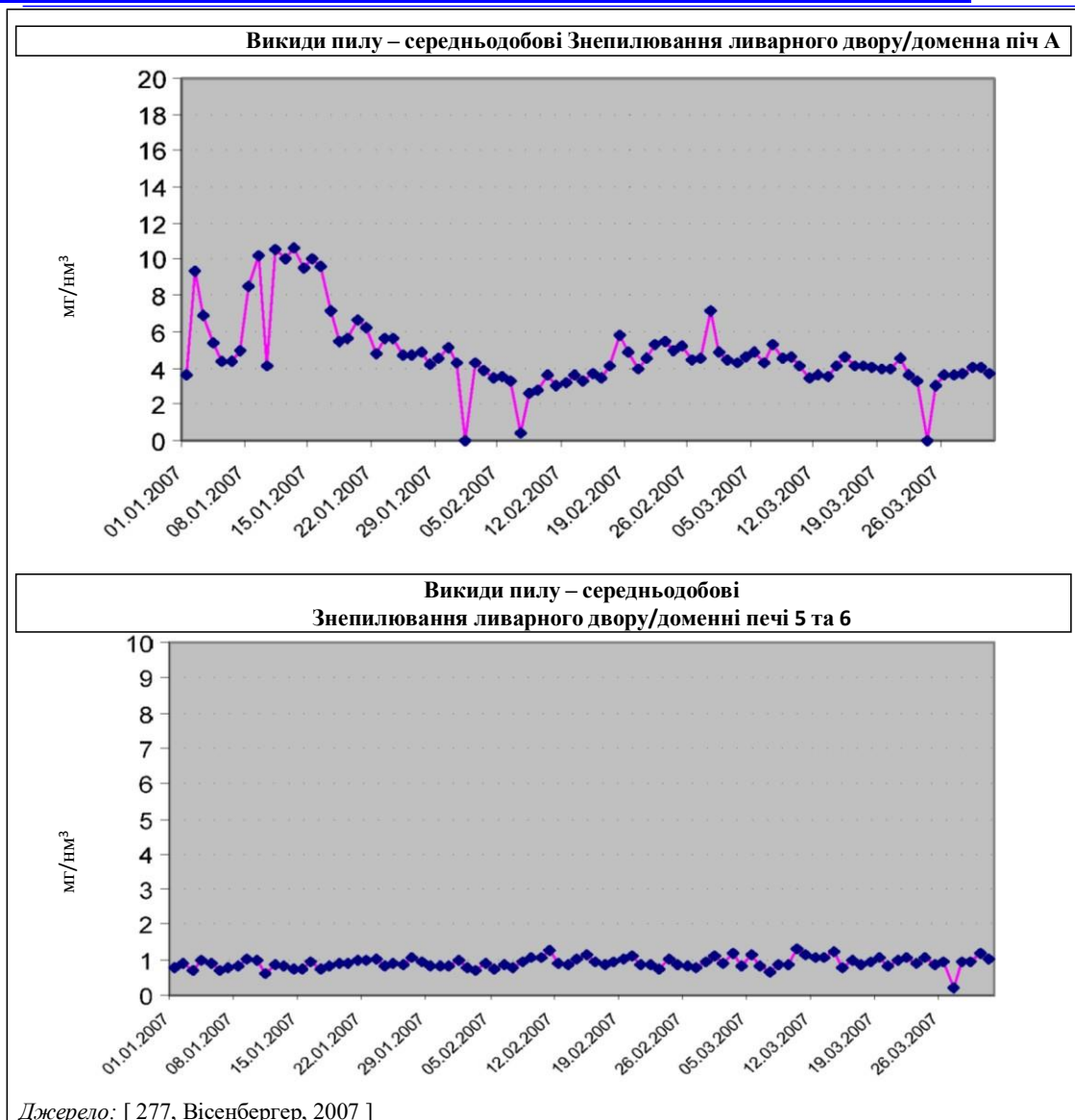


Рис. 6.14. Середньодобові значення викидів для систем знепилювання у ливарному дворі в лютках і випускних жолобах доменних печей компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія

Міжсередовищні наслідки

Застосування видалення та очищення газів вимагає додаткової енергії для живлення потужних вентиляторів. Із даних роботи [65, InfoMil, 1997] можна розрахувати споживання електроенергії, що становить приблизно 0,007 ГДж/т чавуну, на основі щорічної виплавки чавуну в 3 млн т на доменній печі № 7 при 8 640 робочих годинах.

Пил, що вловлюється, характеризується високим вмістом заліза, та його можна повторно використовувати на агломераційній стрічці або повернути у доменну піч після холодного брикетування (див. п. 2.5.4.4.4) або ж, за можливості, вдувати безпосередньо на рівні фурми [344, Eurofer, 2007].

Експлуатаційні дані

Описана технологія на практиці працює без значних проблем.

Можливість застосування

Покриття жолобів і подальше видалення запиленого повітря та його очищення можуть застосовуватися на нових і старих заводах.

Економічні дані

Інвестиції компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, в систему з рукавними фільтрами для очищення 690 000 нм³/год перебували в діапазоні 1 – 2,3 млн євро. Сюди включено тільки обладнання з рукавними фільтрами. Ця сума не охоплює вкладення у схему покриття і видалення.

Розраховані експлуатаційні витрати склали 0,5 – 2,8 євро/т рідкого чавуну, на основі виплавки 3 млн т чавуну на рік на доменній печі № 7 при 8 640 робочих годинах на рік [65, InfoMil, 1997].

Капітальні витрати для системи знепилювання ливарного двору на доменній печі А компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія, за номінальної продуктивності 3 млн т чавуну на рік склали приблизно 14,5 млн євро на рік. Експлуатаційні витрати (без урахування споживання енергії) склали близько 0,42 млн євро на рік.

Для всіх прикладів валюта була конвертована в єкю у 1996 році та переглянута на євро.

На заводі компанії Corus в м. Скаторп, Сполучене Королівство, капітальні витрати на систему знепилювання ливарного двору для доменної печі з номінальною продуктивністю 1 млн чавуну на рік склали в 1997 році приблизно 4 млн євро.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Видалення та очищення газів:

Доменна піч № 7 компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди; доменні печі № 5, № 6 і А компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія; доменна піч компанії Thyssen Krupp Stahl в м. Дуйсбург, Німеччина; доменна піч компанії ArcelorMittal в м. Домброва-Гурнича, Польща; доменні печі компаній SSAB, Швеція, та Rivagroup, Італія.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [353, Eurofer, 2007] [241, Польща, 2007] [244, Плікерт, 2007] [277, Вісенбергер, 2007]

6.3.2 Придушення утворення диму при розливі чавуну

Опис

У розділі 6.3.1 були описані звичайні системи знепилювання викидів із ливарного двору. Ці системи є досить складними і дорогими. Нові підходи запобігають утворенню «бурого диму» при реагуванні розплавленого чавуну з атмосферним киснем (придушення утворення диму). Для запобігання реакції весь маршрут транспортування розплавленого чавуну від лютки через різні розподільні та перевантажувальні пункти до міксерного ковша закривається за допомогою ретельно спроектованих систем укриття. Простір між розплавленим чавуном та укриттями має бути якомога менше, і, в разі необхідності, має заповнюватись азотом (інертним газом). На металургійних заводах із повним циклом із цією метою азот виробляється на блоках поділу повітря під час виробництва кисню.

Цей метод допомагає позбутися встановлення та експлуатації складних і дорогих систем видалення і фільтрації, які були необхідні раніше, і, отже, приводить до значної економії витрат. Знижуються також витрати для повторного використання пилу від фільтрів.

Цей метод працює особливо добре, коли обсяги, що приховані в районі лютки та міксерного ковша порівняно невеликі. В цих умовах можна сконструювати кожухи закритого типу із обмеженим обсягом, що полегшують застосування технології.

Однак була виявлена необхідність у системі відсмоктування в районі льотки і в разі розливання у міксерний ківш великого обсягу, наприклад коли використовується розливання із жолобом, що гойдається (на протипагу зливному жолобу затопленого типу), адже тоді ефективність системи придушення з азотом не є достатньою, і доводиться переходити до класичної припливно-витяжної системи. Можна використовувати загальний фільтр для системи витяжки як для льотки, так і для розливанні у ківш.

На рис. 6.15 наведені характеристики утворення пилу з використанням азоту під час розливання чавуну та без азоту (на рівні міксерного ковша) залежно від витрат розплавленого чавуну. Дані свідчать про те, що при використанні азоту для нейтралізації утворення пилу знижується у 100 разів.

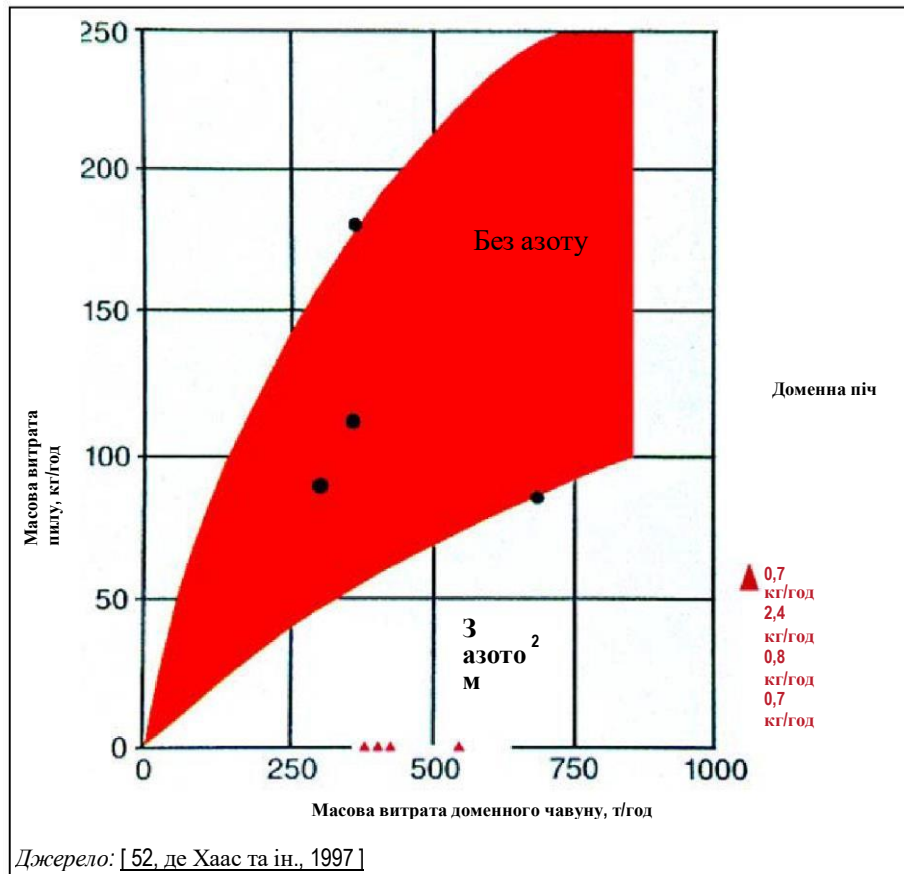


Рис. 6.15. Утворення пилу при розливі чавуну в сигароподібний міксерний ківш із продувкою інертним газом (азотом) або без продувки залежно від витрати рідкого чавуну

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Під час звичайного лиття утворюється 0,4 – 1 кг/т чавуну (див. табл. 6.10). Ця кількість знижується завдяки придушенню утворення пилу приблизно до 0,012 кг/т чавуну [52, де Хаас та ін., 1997]. На рис. 6.16 показано лиття розплавленого чавуну в міксерний ківш із придушенням утворення пилу за допомогою інертного газу.



Джерело: [52, де Хаас та ін., 1997]

Рис. 6.16. Розлив чавуну в ківш сигароподібної форми з придушенням утворення пилу завдяки продувці інертним газом

Міжсередовищні наслідки

Значні взаємодії між середовищами відсутні, якщо система є порівнянною зі звичайними системами знепилювання. При використанні більших кількостей азоту слід забезпечити, щоб азот не накопичувався на ливарному дворі внаслідок небезпеки задухи.

Експлуатаційні дані

Досвід роботи із системою придушення утворення диму в компанії ArcelorMittal в м. Бремен, Німеччина, продемонстрував, що в рамках експлуатації системи не виникає значних проблем. Однак внаслідок змін у льотці та в місці заливання у міксерний ківш у нещодавньому облицюванні доменних печей до системи придушення утворення диму була додана звичайна припливно-витяжна система.

Можливість застосування

Можна застосовувати як на нових, так і на наявних заводах, хоча ефективність системи обмежена, якщо придушуються великі обсяги.

Економічні дані

Порівняння витрат наведено на рис. 6.17. Новий спосіб придушення утворення диму значно дешевше. Установка компанії ArcelorMittal в м. Бремен, Німеччина, з продуктивністю виробництва чавуну 3 млн т/рік вимагає інвестицій у 6,8 млн євро, включаючи придушення утворення пилу та знепилювання льотки із подальшим рукавним фільтром.

Для всіх прикладів валюта була конвертована в єкю у 1996 році та переглянута на євро.

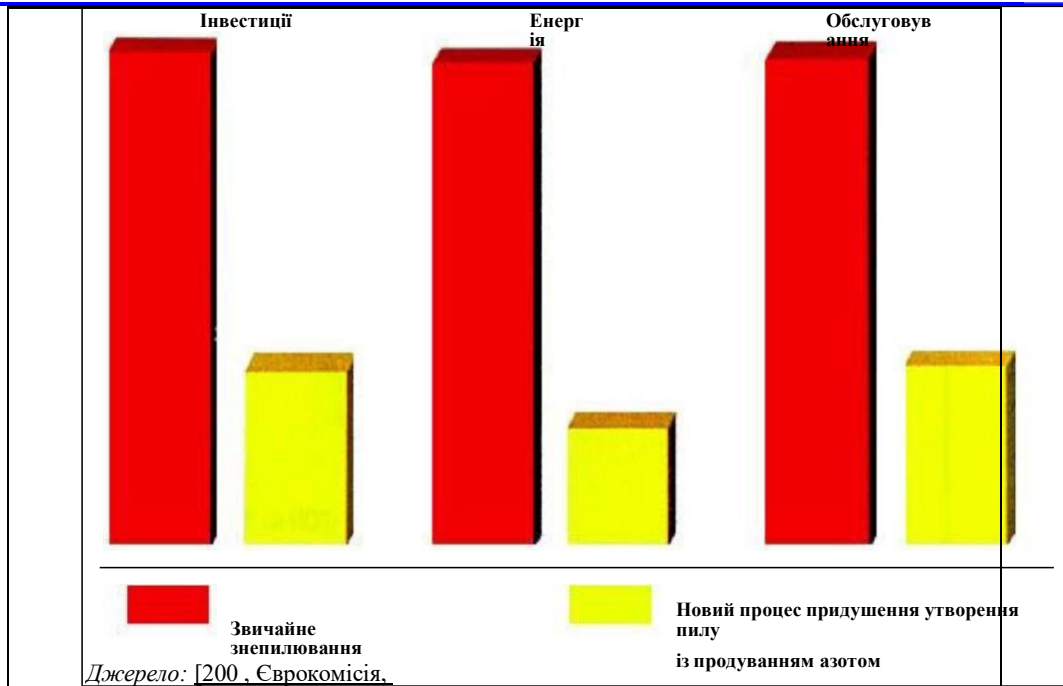


Рис. 6.17. Порівняння капітальних витрат, витрат на енергію та обслуговування для системи придушення утворення диму

Витрати на енергію становлять 190 000 євро/рік, а на обслуговування – 170 000 євро/рік. Це набагато менше ніж для звичайної системи. Витрати на азот, натомість, змінюються залежно від місцевих умов.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Компанія ArcelorMittal в м. Бремен, Німеччина, експлуатує свою систему придушення утворення пилу з 1991 року.

Довідкова література

[50, Грюцмаєр та ін., 1991] [52, де Хаас та ін., 1997] [353, Eurofer, 2007]

6.3.3 Використання футерування жолобу без смоли

Опис

Система каналів на ливарному дворі доменної печі виконується із зовнішнього вогнетривкого шару (наприклад, бетонного). Канави футеруються теплостійким матеріалом, основою якого є глинозем, забитий у вуглецевій матриці. Як сполучна речовина може використовуватися кам'яновугільна смола.

Футеровка захищає зовнішній шар від теплового впливу рідкого чавуну і (особливо) рідкого шлаку. Футеровка піддається зносу та оновлюється через кожні кілька тижнів. Якість вуглецевої матриці є важливим фактором строку служби футеровки жолоба. Слабка матриця не буде тримати глинозем, і тому футеровка буде зношуватися швидше.

Необхідна міцність матриці досягається тільки після нагрівання протягом декількох годин із використанням пальників. При розкладанні смоли протягом нагрівання відбувається зростання викидів вуглеводнів (та PAH). Менша частина викидів відбувається протягом розливання шлаку та рідкого чавуну.

Був розроблений новий тип футерування жолобів, в якому не міститься смола, і він був успішно застосований. З новою футеровкою жолобів викиди летких органічних сполук (ЛОС) та поліциклічних ароматичних вуглеводнів (РАН) стали набагато нижчими. Новий тип мав ту саму шлакостійкість, тоді як міцність може бути навіть вищою ніж для традиційної футеровки жолоба.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У табл. 6.19 наведені дані щодо зниження викидів у результаті використання футерування жолобів без смоли. Дані щодо викидів ґрунтуються на теоретичній моделі.

Таблиця 6.19: Викиди від футерування жолобу без смоли

Компонент	Традиційна футеровка жолоба (г/т чавуну)	Футеровка жолоба без смоли (г/т чавуну)	Зниження викидів
Леткі органічні сполуки (ЛОС)	100	1	99 %
Поліциклічні ароматичні вуглеводні (РАН)	3,5	0,03	99 %

Джерело: [65, InfoMil, 1997] [351, Eurofer, 2007].

Міжсередовищні наслідки

Застосування цієї технології чинить позитивний вплив на здоров'я робітників, оскільки вони менше піддаються впливу шкідливих компонентів. Жодних інших міжсередовищних наслідків зафіксовано не було.

Експлуатаційні дані

На заводі компанії Corus в м. Еймбойден, Нідерланди, футеровка жолоба без смоли на сьогодні застосовується без проблем, і навіть допомогла підвищити строк служби жолобу.

Можливість застосування

Загалом, футеровка жолоба без смоли може застосовуватися як для нових, так і для наявних доменних печей.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Багато операторів доменних печей в ЄС використовують футерування жолобів без смоли.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997].

6.3.4 Очищення доменного газу

Опис

Доменний газ повинен очищуватися для задоволення вимог газових мереж. На виході з доменної печі доменний газ (або «колошниковий газ») містить пил, ціаніди (HCN), аміак (NH₃) та сполуки сірки (див. табл. 6.7 і табл. 6.8).

Доменний газ зазвичай очищується у три стадії: попереднє грубе очищення; охолодження, яке є частиною операції очищення, та кінцеве очищення.

Під час попереднього очищення видаляються великі частки, що полегшує подальше глибоке очищення і дає змогу додавати залізвмісний пил знову до шихти доменної печі або направляти на агломераційну установку (див. табл. 6.13).

Грубе очищення проводиться з використанням дефлекторів, сухого циклонування або пиловловлювачів. Швидкість газу знижується в процесі його поступового опускання через газохід, і частинки пилу осідають у нижній частині пиловловлювача під впливом сили тяжіння. Потім газ залишає пиловловлювач і проходить через трубопровід до обладнання для глибокого очищення.

На другій стадії пил, включаючи оксид цинку (ZnO) та вуглець (C), ціаніди та аміак, видаляється за допомогою мокрого очищення. Скрубери спеціально проєктуються насадкового типу, Вентурі або як скрубери із кільцевим зазором. У деяких випадках застосовуються мокрі електрофільтри.

На сучасних установках особлива увага приділяється падінню тиску через систему очищення, оскільки високе падіння тиску негативно впливає на енергоефективність газоутилізаційної безкомпресорної турбіни (див. п. 6.3.13). Тому мета полягає в конструюванні систем очищення газу з низьким падінням тиску та з високою ефективністю очищення газу.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Системи очищення доменного газу зазвичай бувають високоефективними, досягаючи залишкової концентрації пилу $1 - 10 \text{ мг/нм}^3$. Пил, що не вловлюється системою газоочищення, викидається або спалюється на ділянці спалювання доменного газу.

Падіння тиску в системі очищення газу залежить від типу обладнання, що використовується. Повідомляється про падіння тиску двох сучасних систем в діапазоні від 0,07 до 0,14 бар. Падіння тиску в старих системах знаходиться в діапазоні від 0,15 до 0,5 бар.

Міжсередовищні наслідки

Слід зазначити, що у скруберах утворюється потік забруднених стічних вод. Валове споживання води в системах доменної печі становить $0,1 - 3,5 \text{ м}^3/\text{т}$ чавуну. Сировинні матеріали з підвищеним вмістом солі можуть призвести до необхідності більшої витрати води для очищення доменного газу. У стічних водах, що утворюються, є зважені тверді зважені частинки, наприклад вуглецю та важких металів (Zn, Pb), сполуки ціанідів та аміак. Зазвичай стічні води очищуються за допомогою осадження важких металів та з утворенням твердих відходів (шламу).

У цьому шламі доменної печі містяться порівняно високі концентрації цинку та свинцю (див. табл. 6.14). Це уповільнює рециклінг шламу у виробничому процесі. Зокрема, цинк є «отрутою» для доменної печі. Тому на деяких установках застосовуються гідроциклони для поділу потоку шламу на два потоки; один із низьким вмістом цинку, який можна повернути до агломераційної установки, та другий із високим вмістом цинку, який можна зберігати або депонувати (див. п. 6.3.7).

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

У доменних печах усього світу застосовуються системи очищення доменного газу. На нових установках може застосовуватися сучасна система з низьким падінням тиску і низьким споживанням води та енергії.

На багатьох старих доменних печах установки оснащені «застарілими» скруберами. Ці скрубери можуть допомогти досягти вимог газових мереж, але споживають значні кількості води та енергії та мають порівняно велике падіння тиску. Інколи можливо замінити скрублер на сучасніший, але це слід розглядати в поєднанні із застосуванням газоутилізаційних безкомпресорних турбін (див. п. 6.3.13), робота яких залежить від робочого тиску в печі, серед інших чинників.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Очищення доменного газу широко застосовується на доменних печах усього світу.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [105, Паздей та ін., 1995] [241, Польща, 2007] [244, Плікерт, 2007] [352, Eurofer, 2007]

6.3.5 Система утилізації газу при завантаженні доменної печі

Опис

Шихта доменної печі (кокс та залізовмісні матеріали) надходить до доменної печі в районі колошника (див. п. 6.1.2) через герметичну систему завантаження, яка ізолює пічні гази від атмосфери. Необхідно використовувати таку систему, оскільки тиск в доменній печі має тиск вище атмосферного (0,25 – 2,5 бар). Система завантаження може бути у вигляді двоконусного засипного апарату, або у вигляді найбільш поширеної в сучасних доменних печах безконусної системи (такої як ті, що постачає компанія Paul Wurth, див. рис. 6.18).

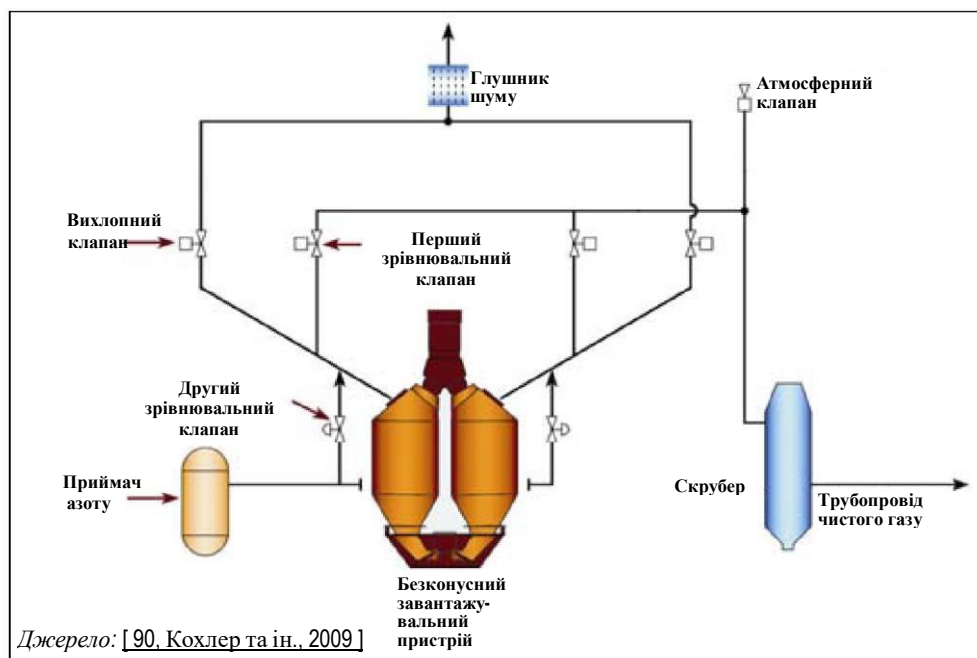


Рис. 6.18. Схема безконусного завантажувального пристрою із клапанами вирівнювання тиску, вихлопним клапаном і з системою утилізації газу

Заповнення засипного апарату робиться за умов атмосферного тиску. Для завантаження доменної печі тиск газу в засипному апараті повинен узгоджуватися із тиском газу в доменній печі. Є різні засоби для досягнення цього підвищеного тиску; найпоширенішим способом є використання напівочищеного доменного газу, що надходить із газової системи доменної печі після видалення крупного пилу, і спрямування його до накопичувача через перший зрівнювальний клапан. Невеликі втрати тиску зрівнюються за допомогою другого зрівнювального клапана з азотом.

На деяких установках засипний апарат очищується і в ньому підтримується високий тиск із подачею азоту.

Щойно засипний апарат вивантажує свій вміст у доменну піч, він ізолюється від печі, а тиск зрівнюється з атмосферним тиском за допомогою скидання газу в повітря через глушник шуму. Залежно від розміру доменної печі, є можливість скидання від 40 до 80 м³ брудного доменного газу за одне завантаження.

Скиданню доменного газу в атмосферу протягом зрівнювання тиску в засипному апараті можна запобігти за допомогою системи утилізації газу, в якій газу перенаправляються через клапан утилізації газу до трубопроводу чистого газу після скрубера. Приклад показаний на рис. 6.19.

Альтернативна система для роботи доменної печі за умов нормального тиску полягає у підтримці тиску в бункері засипного апарату за допомогою газу, наприклад азоту або пари, яка під час написання цього довідкового документа (2010 рік) була встановлена на доменних печах № 5 і 6 компанії Voestalpine Stahl GmbH в м. Лінц, Австрія. Екологічні переваги, яких вдається досягти, майже ті самі, що й для системи утилізації газу з бункером засипного апарату.

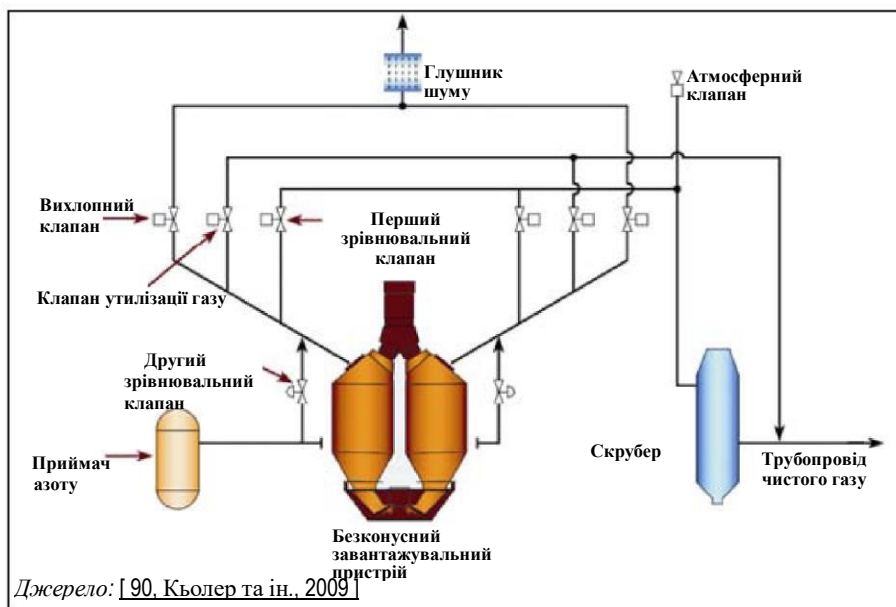


Рис. 6.19. Схема безконусного завантажувального пристрою із клапанами вирівнювання тиску, вихлопними клапанами і системою утилізації газу

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Зменшення викидів колошникового газу (СО і Н₂) та пилу при завантаженні залежить від таких факторів як обсяг завантажувального пристрою, кількість опускань завантажувального пристрою на добу і тиск газу на колошнику. Умови для доменної печі А компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія, наведені в табл. 6.20.

Таблиця 6.20: Умови для доменної печі компанії Voestalpine GmbH, м. Лінц, Австрія

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Продуктивність	т/добу	7 500
Еквівалент розплавленого чавуну	т/завантаження	49,34
Кількість завантажень	штук/добу	152
Кількість вивантажень	штук/добу	304
Обсяг завантажувального пристрою	м ³	55
Тиск під колошником (абс.)	кПа	336
Температура під колошником	°К	373
Базова температура	°К	273
Базовий тиск	кПа	101
Працевдатність	днів на рік	355
Викиди колошникового газу	нм ³ /опускання конуса	134
	нм ³ /добу	40 611
	нм ³ /рік	14416757
СО в колошниковому газі	%	23,53
Викиди СО	нм ³ /рік	3 392 263

Має бути час, коли робота доменної печі призупиняється, наприклад, для обслуговування, коли неможливо запобігти деяким розсіяним викидам із колошника доменної печі. Однак застосування цієї системи на доменній печі А компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія, призвело до зниження викидів колошникового газу на 70 – 95 %.

Міжсередовищні наслідки

Відсутні впливи між середовищами, які б стали відомі.

Експлуатаційні дані

Дані, наведені в табл. 6.21, показують вплив застосування цієї системи у доменній печі А компанії Voestalpine в м. Лінц, Австрія. Експлуатаційні витрати для цієї системи склали приблизно 0,01 євро/т чавуну, включаючи витрати на обслуговування. Тому для цієї печі витрати становлять близько 26 600 євро на рік.

Таблиця 6.21: Зниження неорганізованих викидів через колошник із системою утилізації газу компанії Voestalpine GmbH, доменна піч, м. Лінц, Австрія

Компоненти	Загальне зниження викидів	Питоме зниження викидів
Пил доменної печі, всього	6,19 т/рік	1,73 г/т чавуну
PM ₁₀ (50 %)	3,09 т/рік	0,86 г/т чавуну
CO	3 262 т/рік	911 г/т чавуну
Pb	16,0 кг/рік	4,5 мг/т чавуну
Cr	1,09 кг/рік	0,30 мг/т чавуну
Hg	0,0105 кг/рік	0,0029 мг/т чавуну
Ni	0,22 кг/рік	0,06 мг/т чавуну
Cd	0,314 кг/рік	0,088 мг/т чавуну
V	1,36 кг/рік	0,38 мг/т чавуну
Zn	1,34 кг/рік	0,40 мг/т чавуну
HF	1,39 кг/рік	0,39 мг/т чавуну
HCl	0,026 т/рік	0,007 г/т чавуну

Можливість застосування

Можна застосовувати як для нових, так і для наявних систем утилізації за умови, що піч має безконусну систему завантаження. Технологія не придатна для пристроїв із іншими газами, окрім доменного газу (наприклад, азотом), які використовуються для підтримки тиску в бункері засипного апарату. Натомість, капітальні витрати будуть мінімальними, коли буде проведена повна модернізація завантажувального пристрою або коли вперше буде встановлено безконусний завантажувальний пристрій.

Економічні дані

Інвестиційні витрати склали 1,2 млн євро у 2004 році для доменної печі компанії Voestalpine Stahl GmbH в м. Лінц, Австрія, із продуктивністю 2,75 млн т чавуну/рік. Експлуатаційні витрати, які включають витрати на обслуговування, складають близько 0,01 євро/т чавуну. З погляду викидів пилу протягом десятирічного періоду ці інвестиції допомогли запобігти викидам 62 т пилу. З іншого боку, є можливість повернути капітал завдяки економії на викидах CO та H₂. Вважається, що ця економія становить приблизно 151 000 євро/рік.

Стимули для впровадження

Загалом, стимулом для застосування цієї технології є зниження неорганізованих викидів пилу. Може бути також економія енергії, пов'язана з використанням утилізованих CO і H₂, наприклад у повітрянагрівачах доменної печі.

Приклади установок

Безконусна система із системами первинного і вторинного зрівнювання та без систем утилізації газу застосовується майже на всіх доменних печах Європи. Єдиним відомим прикладом застосування системи утилізації газу є доменна піч А компанії Voestalpine Stahl GmbH в м. Лінц, Австрія.

Довідкова література

[90, Кьолер та ін., 2009] [277, Вісенбергер, 2007]

6.3.6 Очищення і повторне використання скруберної води

Опис

Доменний газ зазвичай очищується у спеціально спроектованих скруберах насадкового типу, Вентурі або із кільцевим зазором (див. також п. 6.3.4). При цьому утворюється потік забрудненої води, в якому містяться зважені тверді речовини (1 – 10 кг/т чавуну), важкі метали, ціаніди та феноли. Можна вжити заходів для мінімізації скидів у воду та для мінімізації споживання води.

Необхідне очищення доменного газу від забруднюючих речовин приблизно до концентрації 0,3 – 4,01 води/нм³. Ці показники відповідають валовому споживанню води в кількості 0,4 – 8 м³/т чавуну. Велика частина цієї води може бути очищена і повторно використана.

Очищення зазвичай проводиться в радіальному відстійнику. Седиментаційні властивості шламу зазвичай поліпшуються за допомогою дозування флокулянтів (аніонні поліелектроліти, змішані полімери або активні силікатні кислоти) або за допомогою установок для контактного фільтрування шламів. Варто приділяти увагу величині рН і жорсткості води.

Потік з етапу седиментації зазвичай надходить на охолоджувальний пристрій (наприклад, градирню, тобто охолоджувальну вежу) для регулювання температури води, а потім повертається назад до промивного блоку для подальшого повторного використання. Свіжа вода додається після охолоджувальних пристроїв, щоб уникнути збагачення розчиненої речовини.

Експлуатаційні дані для семи установок контактного фільтрування шламів для очищення скруберної води можна побачити в табл. 6.22.

Таблиця 6.22: Експлуатаційні дані від семи установок контактного фільтрування в Німеччині для очищення скруберної води

№ устано- новки	Витрата доменного газу	Витрата води (м ³ /год)	Вміст твердих зважених речовин (мг/л)		Тип флокуляції	Дозу- вання агента (мг/л)	Вміст води у шламі (%)	Споживання електроенергії (КВт-год/1 000 м ³)
	(103 нм ³ /год)		до очищення	після очищення				
1	50	225 – 375	1 000 – 3 000	10 – 50	Активна силікатна кислота	5 – 10	60 – 85	40
2	250	1 500	500	50	Змішаний полімер	0,4	85 – 90	17,8
3	55	500	300 – 600	20	Активна силікатна кислота	6	75 – 85	–
4	550	50	100 – 300	20 – 30	Активна силікатна кислота	–	85 – 95	8
5	225	1 100	260	10	Аніонний поліелектроліт	0,13	63	27,5
6	320	1 400	430	13	Аніонний поліелектроліт	0,13	60	21,5
7	125	800	150	20	Змішаний полімер	10	60	–

Джерело: [136, Теобальд, 1988].

Залежно від експлуатаційних умов в доменній печі може знадобитися очищення від ціанідів, особливо протягом операцій продування. На рис. 6.20 приведена схема процесу для очищення скруберної води на доменній печі від ціанідів, яка здійснюється переважно за допомогою додавання формальдегіду до води перед седиментацією. Додавання формальдегіду безперервно контролюється за допомогою системи регулювання (окисно-відновлювального потенціалу), яка встановлюється на потоці води, що протікає, перед установкою для седиментації. Довготривалий досвід вказує, що:

- оптимальний діапазон рН становить 8 – 9
- нижче рН 7 реакція не відбувається
- гліконітрил розкладається при рН вище 12 на ціанід і формальдегід.

Додатково до трансформації ціаніду з формальдегідом з утворенням гліконітрилу може бути здійснено окислення гліконітрилу для зменшення впливу на навколишнє середовище.

У компанії ArcelorMittal, м. Бремен, стічні води з контуру скруберної води надходять у седиментаційну установку для подальшого очищення. рН доводять розчином гідроксиду натрію до рН 10,2 і додають розчин перекису водню (H_2O_2) для окислення гліконітрилу до гліколевої кислоти. Більше того, високий рН забезпечує оптимальне відділення важких металів у скруберній воді, що скидається, перед відправленням отримувачеві.

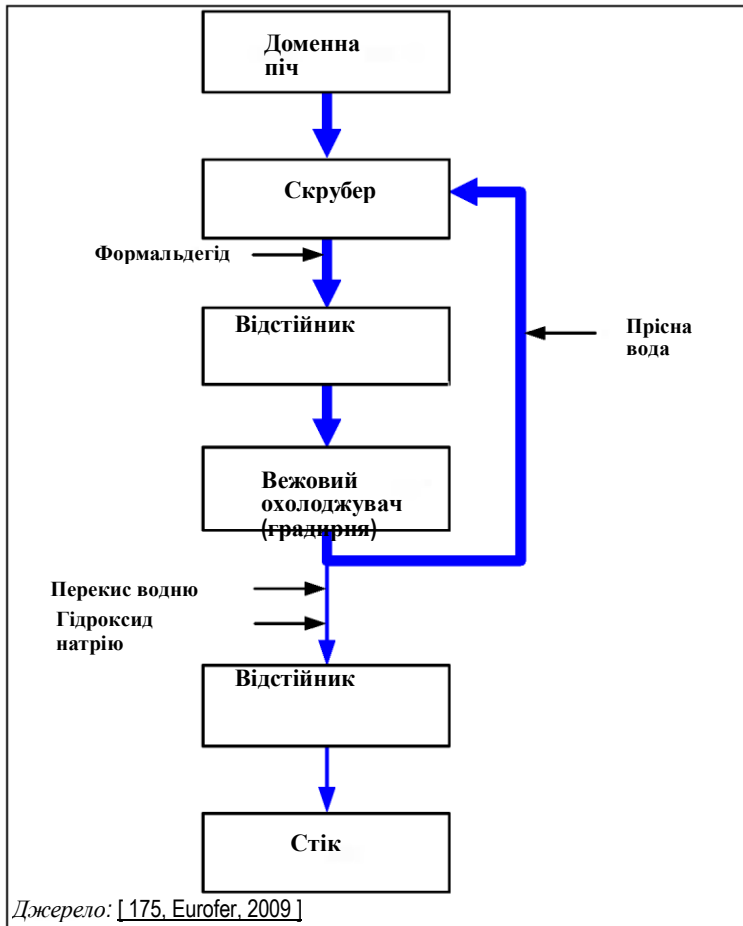


Рис. 6.20. Приклад процесу очищення скруберної води від ціаніду на доменних печах

Шлам після осадження дрібних частинок має порівняно високий вміст цинку (див. табл. 6.14), і його можна очищувати за допомогою гідроциклону (див. також п. 6.3.7).

Нову концепцію очищення стічних вод використовує компанія Cogus в м. Еймьойден, Нідерланди. Вона отримала назву ВІО 2000 і об'єднує очищення стічних вод із коксових печей, доменних печей та агломераційних установок із системою активного шламу, з попередньою нітрифікацією та нітрифікацією для мінімізації ХСК і викидів сполук азоту. Ця система детально описана в п. 5.3.21.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Високої ефективності рециклінгу скруберної води можна досягнути за допомогою підживлення, але тільки для $0,1 \text{ м}^3/\text{т}$ чавуну. Ця вода видалається із системи зі шламом доменної печі та може піддаватися подальшому очищенню.

Концентрації, яких можна досягнути для скруберної води доменних печей щодо установки для очищення стічних вод, представлено в табл. 6.23.

Загальна потреба у воді у 2006 році склала 719 713 м³. При виплавці 3 152 134 т чавуну це еквівалентно питомій витраті стічних вод 0,23 м³/т чавуну.

Таблиця 6.23: Концентрація в скиді стічних вод від скруберної води доменної печі після очищення компанії ArcelorMittal в м. Бремен, Німеччина

Параметр	Одиниці вимірювання	Кількість вимірювань	Середнє значення	Медіанне значення	Максимум	Мінімум	Стандартне відхилення
Cd	мкг/л	39	0,36	0,20	3,00	0,20	0,58
Cr	мкг/л	39	2,20	2,00	3,90	2,00	0,47
Cu	мкг/л	39	9,52	6,10	13,00	2,00	13,75
Fe	мкг/л	39	460,77	90,00	3 700,00	13,00	861,79
Ni	мкг/л	39	12,93	8,90	39,00	2,00	10,10
Pb	мкг/л	39	24,93	8,00	390,00	<2,00	62,08
Zn	мкг/л	39	354,00	130,00	2 600,00	20,00	582,73
CN	мг/л	39	0,84	0,22	9,80	0,01	2,05
CN, що легко виділяються	мг/л	39	0,25	0,04	5,50	0,01	0,89
Cl	мг/л	39	1 000,21	854,00	1 360,00	452,00	414,52
АОХ	мкг/л	39	37,33	19,00	450,00	10,00	70,13
Зважені тверді частинки	мг/л	39	21,91	9,60	166,00	0,60	31,79
DOC	мг/л	39	55,25	54,25	170,00	1,70	40,77
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	мг/л	39	55,66	45,00	174,00	2,20	42,06
ХСК (COD)	мг/л	28	144,12	145,50	280,00	<15	69,84
Вуглеводні нафтопродуктів	мг/л	39	0,16	0,18	0,56	0,10	0,08
Токсичність ікринок риби		12	6,58	4,00	32,00	1,00	8,16
Примітка: Дані вимірювань для випадкової вибірки із квітня 2000 року по листопад 2006 року. Числові значення, виділені курсивом, вказують, що виміряні значення нижче граничного показника, розрахованого як межа визначення. Джерело: [260, Німеччина, 2007] [358, Німеччина, 2007].							

Склад скруберної води для очищення доменного газу та концентрації, яких можна досягнути в скидах, для згаданого комбінованого очищення стічних вод компанії Corus в м. Еймьойден, Нідерланди, наведені в п. 5.3.21 у табл. 5.22 і табл. 5.25.

Міжсередовищні наслідки

Коли рециркулюють значні обсяги води, слід використовувати ефективну систему очищення стічних вод. В іншому випадку виникнуть експлуатаційні проблеми, що впливають на скрубери (засмічення тощо), і буде знижуватись ефективність скрубера. Під час очищення води та рециклінгу утворюються шлами (з високим вмістом цинку). Необхідне невелике підживлення для запобігання накопиченню мінералів/солей.

Для рециклінгу скруберної води потрібна велика кількість енергії (див. табл. 6.2.2). Крім того, слід розглянути дозування флокулянтів.

Можливість застосування

Як на нових, так і на наявних доменних печах може застосовуватись очищення та рециклінг скруберної води. Сучасні установки мають значну перевагу, оскільки їх можна проєктувати з ефективним водяним контуром. Вміст солі в промивній воді впливає на швидкість переробки (рециклінгу). Однак є також можливість встановлення ефективного підводу води на старих заводах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Компанія ArcelorMittal, м. Бремен, Німеччина; компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [136, Теобальд, 1988] [138, Теобальд, 1997] [260, Німеччина, 2007] [358, Німеччина, 2007] [379, компанія Corus, м. Еймьойден, 2009]

6.3.7 Обробка доменних шламів у гідроциклонах**Опис**

У колошниковому газі містяться великі кількості пилу (7 – 40 кг/т чавуну, див. табл. 6.7). Велика частина цього пилу видаляється протягом першої сухої стадії очищення доменного газу. Ця частина складається, передусім, із порівняно грубих частинок із високим вмістом заліза та вуглецю, і вона повертається до агломераційної установки.

Частина доменного газу, що залишається (1 – 10 кг/т чавуну), очищується за допомогою мокрого газоочищення. Після осадження утворюється 3 – 5 кг шламу на т чавуну. Цей шлам має порівняно високий вміст цинку. Високий вміст цинку перешкоджає повторному використанню шламу на агломераційній установці.

За допомогою обробки шламу в гідроциклоні із загального потоку шламу може утворюватися шлам із високим і низьким вмістом цинку. Цинк знаходиться, переважно, у вигляді оксиду цинку (ZnO), для якого характерний дуже маленький розмір частинок. Під час роботи гідроциклону частки з дуже малим розміром концентруються у верхньому продукті, в той час як фракція з малим вмістом цинку виходить із циклонів як злив осаду. Слід зазначити, що ефективність роботи гідроциклону залежить від характеристик шламу.

Шлам зі зливу осаду повторно використовується на агломераційній стрічці. Відзначимо, що це повторне використання можна розглядати щодо загального надходження цинку в доменну піч. Шлам із високим вмістом цинку з верхнього продукту гідроциклону зберігається або депонується на полігонах. Деяка частина успішно утилізується завдяки вмісту цинку, наприклад за допомогою ДК рециклінгу (див. п. 2.5.4.4.2). Можуть виникнути додаткові проблеми з радіоактивними компонентами, які, як правило, залишаються в тонкозернистій фракції.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У табл. 6.24 наведені дані про вміст цинку в шламів доменної печі при використанні гідроциклону.

Таблиця 6.24: Приклад вмісту цинку в шламi доменної печі після гідроциклону

	Питоме утворення шламу (кг/т чавуну)	Вміст цинку (%)	У перерахунку на суху вагу (%)	Обробка
Неочищений шлам	1,0 – 9,7	0,1 – 2,5	100	Гідроциклон
Верхній продукт гідроциклону	0,2 – 2,7	1 – 10	20 – 40	Зберігання у відвалі / на полігоні
Злив осаду з гідроциклону	0,8 – 7,8	0,2 – 0,6	60 – 80	Повернення на агломераційну стрічку

Джерело: [65, InfoMil, 1997] [105, Паздей та ін., 1995].

Міжсередовищні наслідки

Відбувається споживання невеликої, але невизначеної кількості енергії для роботи циклонів.

Експлуатаційні дані

Під час роботи системи проблеми не виявлені.

Можливість застосування

Гідроциклони можуть застосовуватися як на нових, так і на наявних заводах як технології в кінці виробничого процесу, коли застосовується мокре знепилювання, і коли розподіл цинку за розміром зерен дає можливість провести розумну сепарацію.

Економічні дані

У роботі [116, Ренц та ін., 1996] повідомляється, що інвестиції для тристадійної установки з продуктивністю 20 000 т/рік склали 2 млн євро, а експлуатаційні витрати – 25 євро/т.

Для цього прикладу валюта була конвертована в екю у 1994 році та переглянута на євро.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди; компанія Thyssen Krupp Stahl AG, м. Дуйсбург, Німеччина.

Довідкова література

[105, Паздей та ін., 1995] [116, Ренц та ін., 1996]

6.3.8 Конденсація диму при переробці шлаку

Опис

Як згадано в п. 6.2.2.1, під час переробки шлаку утворюються викиди H_2S та SO_2 . Це може викликати проблему появи запахів. Для вирішення цієї проблеми деякі установки для грануляції шлаку працюють із конденсацією диму (див. рис. 6.21). Конденсат і вода від зневоднення шлаку також циркулюють після охолодження, якщо використовується прісна вода. Повторне використання води не практикується, коли морська вода використовується для грануляції шлаку і конденсації диму.

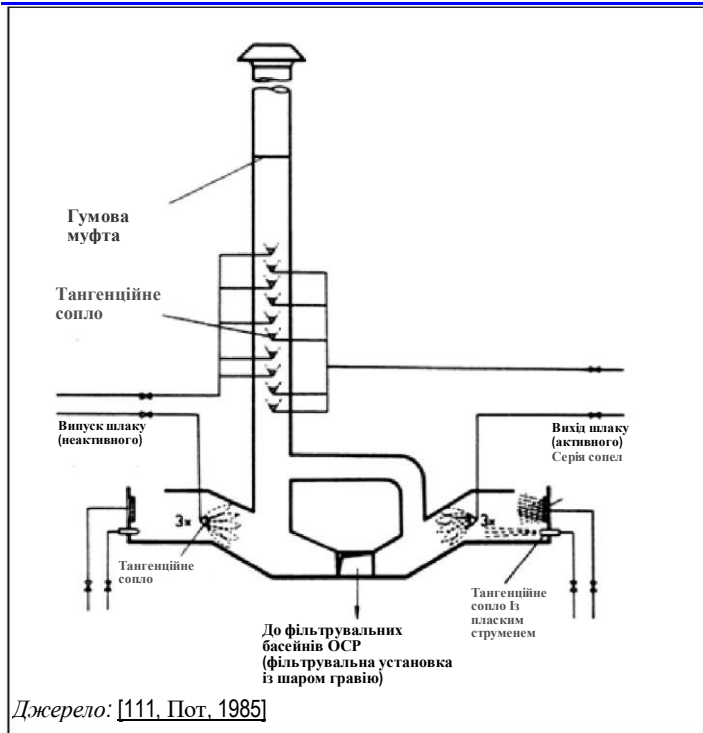


Рис. 6.21. Грануляція доменного шлаку з конденсацією диму

Екологічні переваги, яких можна досягнути

При конденсації диму викиди H_2S знаходяться у діапазоні від 1 до 10 г H_2S на тонну виплавленого чавуну.

Міжсередовищні наслідки

Для охолодження циркулюючої води потрібна значна кількість енергії. Сама собою генерація енергії часто буває пов'язана з викидами сірки. Протягом конденсації диму абсолютна кількість сірки, що зменшується, порівняно мала, і вона може бути пов'язана із кількістю, що викидається під час генерації енергії. В процесі конструювання цих установок слід враховувати проблеми безпеки, особливо пов'язані з воднем.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних заводів.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Кілька установок для грануляції шлаку в Німеччині оснащені системою конденсації диму, наприклад установки компанії Thyssen AG в м. Дуйсбург, Німеччина, але також і компанії Cogus в містах Порт-Толбот і Скандорп, Сполучене Королівство. Інші установки з використанням цієї технології знаходяться у Фінляндії.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006] [242, Кофлін, 2007] [354, Eurofer, 2007]

6.3.9 Використання руд високої якості

Опис

Ідея цієї технології полягає у використанні як сировинного матеріалу переважно агломерату або окатишів із високим вмістом заліза і низьким вмістом порожньої породи. Використовують агломерат із вмістом заліза 61 – 63,5 % та окатиші із вмістом заліза в діапазоні 66,6 – 66,8 %. Іншими важливими факторами є помірний вміст золи в коксі та низький вміст вугілля, що вдувається.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Використання руд із високою якістю підвищує продуктивність і ефективність використання енергії в рамках процесу виплавки чавуну. Споживання відновлювальних агентів нижче, що приводить до зниження викидів CO₂. Можна досягти виходу чавуну 3,4 т/м³/добу та зниження викидів діоксиду вуглецю на 15 – 80 кг на т виплавленого чавуну. Крім того, обсяг шлаку знижується приблизно до 150 – 200 кг/т чавуну, що також знижує викиди від переробки шлаку.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Використання агломерату і окатишів із дуже високим вмістом заліза як сировинних матеріалів можна застосувати також і до інших установок, але необхідним є фундаментальне розуміння впливів різних залізних руд у доменній печі, тобто ефект, пов'язаний з низьким рівнем скачування шлаку, може знизити строк служби вогнетривів доменної печі.

Можливість застосування

Можливість застосування суттєво обмежена наявністю руд із високим вмістом заліза.

Економічні дані

Економічні переваги пов'язані зі зростанням продуктивності, зниженням споживання енергії та зниженням потреби у відновлювальних агентах. Наявність руд із високим вмістом заліза обмежена. Впровадження цієї практики в європейському доменному виробництві призведе до створення монополій для рудників із дуже високим вмістом заліза, що суперечить принципам вільного ринку та чесної конкуренції. Водночас, подальша нестача таких руд буде причиною високих цін на руди з такою якістю.

Стимули для впровадження

Підвищення продуктивності й енергоефективності є стимулом для впровадження цієї технології.

Приклади установок

Агломерат – компанія Rautaruukki, Фінляндія;
окатиші – компанія SSAB, м. Укселесунд, Швеція; окатиші – компанія SSAB, м. Лулео, Швеція.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006]

6.3.10 Підвищення ефективності використання енергії в доменній печі

Опис

Можна використовувати модель для контролю зносу горна доменної печі. Використовуються три різні моделі:

- а) Модель, у якій оцінюється розташування ізотерм із температурою 1 150 °С на основі теплопровідності й вимірювань термопарами у вогнетривкій футеровці горна за умов використання методу кінцевих елементів (FEM);
- б) Модель, яка апроксимує «тотерман» у горні відповідно до теплопровідності. Робота системи охолодження за замкненим циклом допомагає у забезпеченні належного управління піччю;
- в) Плавна безперервна робота у стійкому режимі.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Із використанням цієї технології можна досягнути підвищення енергоефективності, зниження викидів CO₂ та обслуговування (наприклад, вогнетривів). Споживання відновлювальних агентів знижується приблизно на 5 кг/т чавуну в довготривалій перспективі. Це означає зниження викидів CO₂ приблизно на 15 – 20 кг/т чавуну. Строк служби доменної печі може бути продовжений на кілька років.

Для моделі (в)

Досягнення плавної безперервної роботи допомагає у зниженні викидів та ймовірності осадки шихти.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Високий коефіцієнт використання обладнання (наприклад, > 99 %).

Доменна піч дуже добре контролюється.

Моделі є дуже важливими для контролю процесу в доменній печі та зносу горна доменної печі. Крім того, можна підтримувати постійну якість виплавленого чавуну з бажаним рівнем, наприклад щодо вмісту C, Si та S, коли процес та явища в горні можна контролювати.

Можливість застосування

Системи для підвищення енергоефективності зазвичай застосовуються в доменних печах по всій Європі.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Переваги, пов'язані з підвищенням контролю технологічного процесу, що приводить до економії енергії та підвищення якості чавуну.

Приклади установок Компанія Rautaruukki, Фінляндія; компанія SSAB, м. Лулео, Швеція; компанія Ovako, завод Ковергар, Фінляндія. Установки у Сполученому Королівстві.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006] [220, Eurofer, 2008] [242, Кофлін, 2007]

6.3.11 Утилізація і використання доменного газу

Опис

На типовій доменній печі виробляється приблизно 1 200 – 2 000 nm^3 доменного газу на тонну розплавленого чавуну. У доменному газі міститься 20 – 28 % монооксиду вуглецю (CO) та 1 – 5 % водню (див. табл. 6.7 і табл. 6.8). Монооксид вуглецю утворюється під час окислення вуглецю в доменній печі. Значна частина CO надалі окислюється до CO_2 в доменній печі. Монооксид вуглецю та водень є потенційними джерелами енергії, а тому на доменних печах усього світу вживаються заходи для утилізації цієї енергії.

У зв'язку з цим, колошниковий газ доменної печі очищується і зберігається в газгольдерах для подальшого використання як палива. З урахуванням низької калорійності доменного газу на nm^3 він часто збагачується коксовим газом, конвертерним або природним газом перед використанням як палива.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Енерговміст доменного газу зазвичай варіюється від 2,7 до 4,0 МДж/ nm^3 , залежно від концентрації в ньому монооксиду вуглецю. Це тільки 10 % від енерговмісту природного газу. Проте, великі кількості доменного газу, що утворюється, означають, що потенціал утилізації енергії дуже високий. Загальний експорт із доменної печі становить близько 5 ГДж/т гарячого металу, що еквівалентно 30 % від валового споживання енергії в доменній печі.

Міжсередовищні наслідки

Очищення доменного газу неминуче, і воно призводить до появи стічних вод і твердих залишків.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних установок.

Економічні дані

Значні економічні переваги досягаються за допомогою економії енергії.

Стимули для впровадження

Користі можна досягнути завдяки ефективному використанню енергії та економічних переваг.

Приклади установок

Застосовується на багатьох нових та наявних печах світу.

Довідкова література

[200, Єврокомісія, 2001]

6.3.12 Пряме вдування відновлювальних агентів

Загальна інформація

Пряме вдування (безпосереднє вдування) відновлювальних агентів означає заміну частини коксу іншим джерелом вуглеводнів, яке вдувається в піч на рівні фурм (див. більш детальну інформацію в пункті 6.1.3.1).

Ці вуглеводні можуть бути у вигляді мазуту, залишків нафтопродуктів, відпрацьованих масел, що утилізуються, гранульованого вугілля або вугільного пилу, природного газу або коксового газу і відходів пластмас. Вугілля і нафтопродукти найчастіше використовуються як агенти, що вдуваються на рівні фурм. Шляхом зниження потреби у коксі знижується загальне забруднення і потреба в енергії.

Проте, слід підкреслити, що деяка кількість коксу все ще необхідна в доменній печі, для того щоб була можливість належної роботи печі. Кокс забезпечує необхідну несучу здатність для підтримки шихти доменної печі та забезпечення достатньої газопроникності. Вдування через фурми вуглеводнів вимагає додаткового вдування кисню (зі зростаючими рівнями, оскільки зростає інтенсивність вдування) для досягнення температур, що вимагаються в зоні циркуляції печі. Наявний невеликий досвід дуже високої інтенсивності вдування (і, отже, підвищених рівнів кисню), тому безпека також стає більш важливою проблемою, разом з іншими.

На рис. 6.22, в табл. 6.25 і табл. 6.26 показані інтенсивності, що застосовуються при вдуванні для відновлювальних агентів у наявних доменних печах.

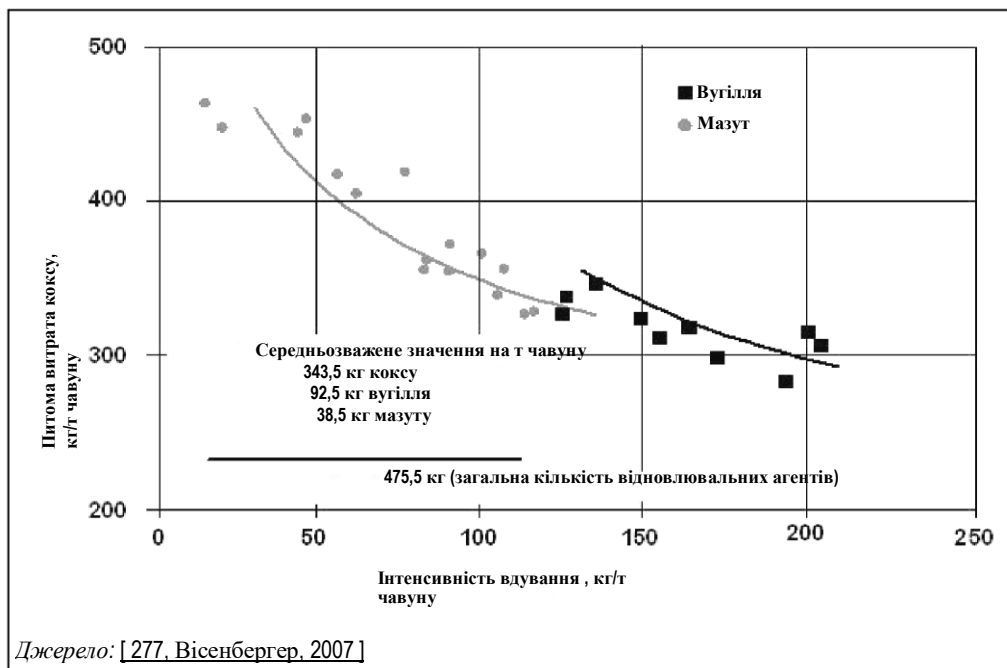


Рис. 6.22. Питома витрата коксу та інтенсивність вдування на 26 доменних печах

Примітка: Дані за 1999 рік та відповідають членам асоціації VDEh.

Таблиця 6.25: Порівняння споживання залишкового коксу і загального споживання вугілля при різних рівнях прямого вдування вугільного пилу

	Інтенсивність вдування (кг/т чавуну)	Залишковий рівень коксу (кг/т чавуну)	Загальне споживання вугілля ⁽¹⁾ (кг/т чавуну)
Немає	0	500	625
Типова	150 – 180	310	538 – 568
Вищого рівня, котрого можна досягнути	~240	270 – 300	577 – 615

⁽¹⁾ Прийнято, що 1 кг коксу виробляється з 1,25 кг вугілля.

Примітка: Значення стосуються сухого коксу і сухого вугілля.

Джерело: [248, InfoMil, 2007] [276, Італія, 2007] [348, Eurofer, 2007].

Таблиця 6.26: Відновлювальні агенти, що застосовуються на різних доменних печах

Відновлювальний агент	ДП 1	ДП 2	ДП 3	ДП 4	ДП 5	ДП 6	ДП 7	ДП 8	ДП 9	ДП 10 ⁽¹⁾
Кокс	267	272	278	333	306	353	389	395	389	
Дрібний кокс	50	78	89	61	22	56				
Вугілля	150	0	0	0	142	0	0	0	0	
Мазут	0	106	78	61	0	50	43	43	49	130
Коксовий газ	0	0	0		0		46	43	0	
Інші	0	0	0	28	0	22	0	0	19 ⁽²⁾	
Усього	467	465	445	483	470	481	478	481	457	460 – 470

(1) Доменна піч, яка працює зі 100 % окатишів. Робочий об'єм доменної печі 600 м³, застосовується до вдування оху-ойл.
(2) Смола.
Примітка: Значення наведені у кг/т чавуну.
Джерело: [208, Ліндфорс та ін., 2006] [277, Вісенбергер, 2007].

Чиста економія енергії при вдуванні вугілля була розрахована за 3,76 ГДж/т вугілля, що вдувається. За інтенсивності вдування 180 кг/т чавуну економія енергії становитиме до 0,68 ГДж/т чавуну, або 3,6 % валового споживання енергії у доменній печі (див. табл. 6.16). Ця економія енергії досягається опосередковано як наслідок зниженого споживання коксу. Підвищена інтенсивність вдування надасть можливість більшої економії енергії.

Пряме вдування відновлювальних агентів може бути застосовано як на нових, так і на наявних доменних печах. Слід зазначити, що цей значно інтегрований у технологічний процес захід тісно пов'язаний із роботою самої доменної печі, що з'являється в результаті стабільності, а також із якістю чавуну і шлаку.

6.3.12.1 Вдування вугільного пилу

Опис

Заміщення коксу вугіллям за допомогою його вдування залежить від ряду факторів, зокрема, таких як продуктивність, властивості коксу, бажана якість чавуну, тиск у доменній печі, тип вугілля (наприклад, антрацит) та умови (вологість) вугілля тощо. [11, Кемпелл та ін., 1992] [65, InfoMil, 1997].

Вдування вугілля на рівні фурм у доменну піч знижує температуру в зоні циркуляції. Ступінь зниження температури залежить від кількості вугілля, що вдувається, і це зниження температури залежить від кількості коксу, що вдувається, і воно може мати шкідливий вплив на роботу доменної печі. У доменних печах зі звичайною відновлювальною плавкою прийнятне вдування вугілля обмежено величиною 150 кг/т чавуну, що забезпечує стабільну роботу печі.

Вважається, що теоретичний максимум для вдування вугілля на рівні фурми становить 270 кг/т гарячого чавуну. Це граничне значення встановлено, з огляду на несучу здатність коксу і термохімічні умови в печі. Для підтримки відповідних умов у зоні циркуляції і водночас для підвищення рівня вдування вугілля до 260 кг/т чавуну застосовується гаряче дуття зі збагаченим киснем і вдування оху-соал на рівні фурм (див. п. 6.1.3.1) у доменних печах країн ЄС. Компанія Cogus в м. Еймьойден, Нідерланди, вдуває вугільний пил у промисловому масштабі. Застосовується стандартний рівень вдування у 250 кг вугілля на т чавуну.

Залежно від вмісту вуглецю у вугільному пилу вдувалося 210 і 260 кг вугілля на т чавуну у 2006 році (дані відрізняються від даних табл. 6.1, оскільки в останньому випадку дані були наведені за 2004 рік).

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Пряме вдування відновлювальних агентів знижує необхідність у виробництві коксу. В такий спосіб забезпечується запобігання викидів у коксохімічному виробництві. На кожну т вугілля, що вдувається, вдається уникнути виробництва приблизно 0,85 – 0,95 кг коксу.

Застосування вдування оху-coal привело до підвищення інтенсивності вдування приблизно на 20 % і відповідно до зниження рівня споживання коксу. Покращується функціонування електрофільтра, що використовується для очищення газу. Разом із підвищеним позитивним впливом на проникність у доменній печі та поліпшеним розподілом вугілля покращується в цілому функціонування доменної печі.

Міжсередовищні наслідки

Вимірювання вказують, що менше 1 % вугілля, що вдувається, викидається з колошника доменної печі.

Експлуатаційні дані

У випадку вдування оху-coal на двох доменних печах існують обмеження, пов'язані з температурою гарячого дуття і збагаченням дуття киснем. Тому вдування оху-coal застосовується з використанням коаксіальної фурми з вихровим потоком окислювача і вугільного пилу для покращення газифікації вугілля. Фурми оху-coal мали раніше обмежені проблеми із засміченням, і, тим самим, мали поліпшений розподіл вугілля фурмами доменних печей.

За високих рівнів вдування вугілля для печі характерна тенденція погіршення розподілу шихти і підвищення опору шихті, що опускається. Це вказує на необхідність ретельного контролю розподілу шихти за низьких рівнів подачі коксу і досягнення балансу між стінками і центральним потоком газу.

Загалом, потрібна повністю підготовлена шихта, для того щоб була можливість досягнення найвищих рівнів вдування вугілля.

За постійних рівнів продуктивності доменної печі застосування високих рівнів вдування вугілля призводить до підвищення часу перебування коксу і шихти у доменній печі порівняно з роботою «тільки з коксом». По суті, кокс і залізовмісні матеріали шихти більше часу мають піддаватися впливу галогенідів лужних металів у доменному газі. Однак за допомогою вдування вугілля забезпечується можливість підвищення продуктивності доменної печі при спільному вдуванні кисню. Залежно від абсолютних рівнів вдування вугілля і кисню та підвищення продуктивності печі швидкість, за якої кокс проходить шахту, може бути нижче ніж при роботі тільки з коксом.

Наявність негазифікованих частинок кам'яновугільної смоли змінює характеристики розплавлених залізовмісних матеріалів, впливаючи в такий спосіб на розташування і форму зони плавлення у доменній печі.

Можливість застосування

Метод може бути застосований на всіх доменних печах, оснащених системою вдування вугільного пилу і збагаченого кисню. Пряме вдування відновлювальних агентів може бути застосовано як на нових, так і на наявних доменних печах.

Економічні дані

Наявні економічні стимули для використання високих рівнів вдування вугілля задля досягнення великої економії витрат, особливо на заводах, які можуть, в іншому випадку, стикатися із капітальними витратами на реконструкцію коксових печей або можуть купувати кокс. Крім того, вдування вугілля може дати змогу використовувати вугілля нижчої якості порівняно із коксовим вугіллям. Це може також знизити витрати.

Повідомлялося про витрати розміром 10 євро/ГДж [65, InfoMil, 1997]. Однак у роботі [11, Кемпелл та ін., 1992] зазначено, що відбувається економія витрат внаслідок меншого споживання коксу. Капітальні витрати на установку вдування вугілля компанії Corus в м. Порт-Толбот, Сполучене Королівство, на доменній печі № 4 у 1997 році склали 24 млн євро (включаючи деякі резервні елементи з іншої ділянки). Для всіх прикладів валюта була конвертована в єку у 1996/1997 роках та переглянута на євро.

Додаткові витрати виникатимуть для збагачення повітря киснем для постачання більшої кількості кисню, в зв'язку із додатковою потребою в млинах для дрібного змелювання на наявних установках і додатковими вимогами на обслуговування установки вдування.

Стимули для впровадження

Економія витрат, підвищення продуктивності та зменшені викиди CO₂ і екологічні вигоди, як результат поліпшеної роботи доменної печі, є стимулами для впровадження цієї технології.

Приклади установок

Вдування вугілля або мазуту в доменні печі є технологією, що зараз широко застосовується в Європі та в усьому світі (наприклад, вдування вугілля у доменні печі компаній ArcelorMittal, Corus (м. Еймьойден, Нідерланди); Rivagroup (м. Таранто, Італія); Thyssen Krupp Stahl (м. Дуйсбург, Німеччина).

Вдування оху-coal було використано фірмою SSAB у Швеції з 1993 року.

Довідкова література

[140, Eurofer, 2009] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [348, Eurofer, 2007]

6.3.12.2 Вдування мазуту з киснем

Опис

Вдування мазуту або інших вуглеводнів знижує температуру в зоні циркуляції, як і у випадку вдування вугілля. Для доменних печей зі звичайною відновлювальною плавкою вдування мазуту обмежено приблизно 65 кг/т чавуну, оскільки зниження температури в зоні циркуляції викликає значні втрати у стабільній роботі печі. Для підтримки відповідних умов у зоні циркуляції і водночас для досягнення вищих рівнів вдування мазуту (до 130 кг/т чавуну) застосовується вдування мазуту з киснем. У цьому випадку встановлюються киснево-мазутні фурми, призначені лише для використання мазуту. Мазут і кисень подаються окремо, а мазут слід попередньо підігріти до 220 °С. Кількість збагаченого кисню становить 7 – 9 %.

Інформація щодо інших варіантів на зразок підвищення температури дуття з використанням плазмового парокисневого дуття або з використанням збагаченого киснем дуття не передавалася.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

З використанням технології оху-oil кількість мазуту, що вдувається, подвоюється. Споживання коксу може бути знижено, а також можна знизити і викиди CO₂.

Мазут, що складається з вуглецю і водню, допомагає компенсувати споживання коксу у відношенні 1:1,2 (1 кг коксу компенсує 1,2 кг коксу). За допомогою обладнання для вдування оху-oil кількість мазуту подвоюється до рівня 130 кг/т чавуну. Отже, економія коксу становить близько 15 кг/т чавуну, а зниження рівня викидів CO₂ становить приблизно 50 кг/т чавуну. Досягаються екологічні вигоди, і значно підвищується енергоефективність.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

На практиці вдування оху-oil працює дуже надійно.

Можливість застосування

Устаткування для подачі мазуту і кисню дуже доступно. Практика застосування вдування оху-oil є надійною. Пряме вдування відновлювальних агентів може бути застосовано як на нових, так і на наявних доменних печах.

Економічні дані

Використання методу вдування мазуту приводить до економії витрат завдяки зростанню продуктивності. Додаткові витрати з'являтимуться для збагачення повітря і у зв'язку з додатковими вимогами для обслуговування установки для вдування.

Стимули для впровадження

Економія витрат, зростання продуктивності й зниження викидів CO₂ є стимулами для впровадження, які приводять до економічних та екологічних результатів у вигляді поліпшення роботи доменної печі.

Приклади установок

Технологія оху-oil була застосована компанією Ovaکو у м. Коверхар, Фінляндія.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006]

6.3.12.3 Вдування газу

Опис

З 2003 року компанія Voestalpine Stahl GmbH в м. Лінц, Австрія, експлуатує свої невеликі доменні печі 5 і 6 з одночасним вдуванням відновлювального газу і мазуту як стандартну виробничу процедуру із заміною 70 % мазуту коксовим газом. У 2004 році на цих печах середній рівень вдування мазуту склав 45,5 кг/т чавуну, а рівень вдування коксового газу – 46,9 кг/т чавуну, із загальним еквівалентним споживанням коксу 477,8 кг/т чавуну. Eta-СО становив 43,5 із приблизно 8 % H₂ у доменному газі.

Максимальний рівень вдування коксового газу на рівні фурм склав 100 кг/т чавуну. Це граничне значення встановлено в зв'язку з термохімічними умовами в печі. У коксовому газі міститься залишковий H₂S та органічні сполуки сірки. Реальне надходження коксового газу набагато менше (див. табл. 6.1). Рівень концентрації цих сполук сірки залежить від рівня сірки у вугіллі та/або від ефективності установки десульфурації. Використання коксового газу в доменному процесі як відновника, замість використання як палива на заводах, може привести до зниження викидів сірки на заводах, оскільки частина сірки накопичуватиметься у доменному шлаку.

Приклад схеми вдування коксового газу представлений на рис. 6.23.

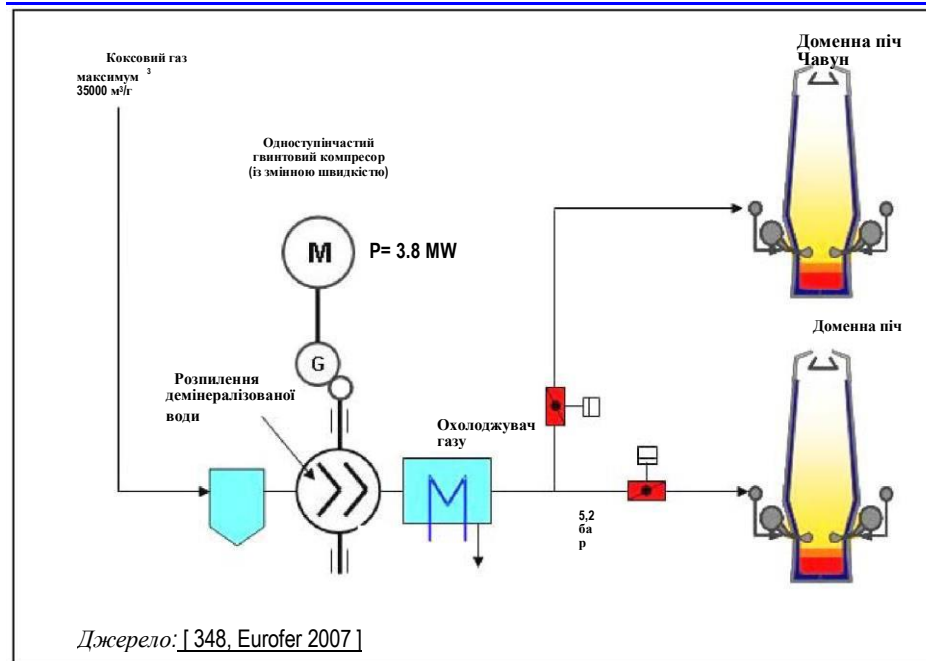


Рис. 6.23. Приклад схеми вдування коксового газу

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Жодних даних не надано.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Коефіцієнт заміщення для коксового газу становить близько 1 кг газу за 0,98 кг коксу, або 0,81 кг мазуту. Окрім того, заміщення відновника з високим вмістом вуглецю типу коксу і мазуту у доменному процесі відновником із малою часткою вуглецю типу коксового газу приводить до абсолютного зниження викидів CO₂ від доменного процесу. Коли коксовий газ використовується у доменній печі, необхідно заміщувати цей газ, який зазвичай використовується у нагрівальних печах тощо, доменним газом, конвертерним або природним газом. Логічне зниження викидів CO₂ в діапазоні від 70 до 90 % може стати результатом для колишніх споживачів коксового газу.

Зниження вмісту сірки у розплавленому чавуні також можливо, оскільки коксовий газ має менше надходження сірки, ніж мазут або кокс. Споживання агентів десульфурації (наприклад, вапна, CaS₂, Mg) у процесі попередньої десульфурації можна знизити. Потрібен компресор для вдування коксового газу, результатом чого є додаткове споживання енергії близько 204 кВт-год/т коксового газу (на основі споживання на порівняльній установці у 2005 році).

Можливість застосування

В той час, як вдування у фурми коксового газу також можна застосувати на нових та наявних доменних печах, воно також значною мірою залежить від наявності газу, який можна ефективно використовувати в іншому місці заводу з повним циклом. Пряме вдування відновлювальних агентів може бути застосовано як на нових, так і на наявних доменних печах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Основними стимулами є як економічні, так і екологічні вигоди в результаті покращеної роботи доменної печі.

Інвестиції компанії Voestalpine Stahl GmbH для установки вдування склали близько 10 млн євро для продуктивності близько 5 000 т чавуну на добу. Загальні питомі експлуатаційні витрати склали: 1,3 євро/т чавуну або 12 євро/1 000 м³ коксового газу (2 400 000 євро/рік та 200 млн м³ коксового газу/рік).

Приклади установок

Вдування коксового газу в доменну піч застосовується в Європі компанією Voestalpine Stahl GmbH на заводі в м. Лінц, Австрія.

Довідкова література

[348, Eurofer, 2007]

6.3.12.4 Вдування відходів пластмас

Опис

Максимальний рівень вдування пластмас на рівні фурм, відповідно до загальноприйнятої теорії, складає 70 кг/т чавуну. Це граничне значення встановлено, виходячи з термохімічних і кінетичних умов у зоні циркуляції. У пластмасах можуть міститися хлор і важкі метали на зразок ртуті, кадмію, свинцю і цинку. Рівень концентрації цих елементів у пластмасах впливає на склад газоподібних сполук і твердих частинок в доменному газі, та на поведінку сепарації в системі очищення доменного газу. В результаті цього пластмаси мають відповідати певним вхідним критеріям для цих елементів. Невелика зміна параметрів скрубера допоможе зіставити ці рівні концентрацій в доменному газі зі стандартними умовами роботи, коли не відбувається вдування пластмас.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У доменній печі пластмаси заміщують частину відновлювальних агентів, таких як кокс, і в такий спосіб відбувається запобігання викидів, пов'язаних із коксом.

Міжсередовищні наслідки

Співвідношення для пластмас залежить від приблизних кількостей вуглецю і водню, які можна отримати із пластмас, що вдуваються. 1 кг пластмас може замінити близько 0,75 кг коксу. Можливе зниження вмісту сірки в чавуні, оскільки пластмаси мають менший вхідний вміст сірки, ніж мазут або кокс. Споживання агентів десульфурації (наприклад, вапна, CaC₂, Mg) в процесі попередньої десульфурації можна знизити.

Залежно від складу використаних відходів (наприклад, легка фракція після подрібнення) кількість хрому, міді, нікелю і молібдену у доменному газі може зрости.

Експлуатаційні дані

Компанія Voestalpine Stahl GmbH в м. Лінц, Австрія, отримала заключний дозвіл на вдування 220 000 т пластмас на рік у 2005 році, і вона наростила потужності до рівня 70 кг/т чавуну. У 2008 році рівень вдування пластмас склав 18 – 25 кг за використання повітря високого тиску. Пластмаси за складом мають відповідати певним вимогам. У табл. 6.27 наведені вимоги для пластмас, які використовуються для вдування цією компанією.

Таблиця 6.27: Вимоги до складу пластмас, які використовуються для вдування у доменну піч компанії Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц, Австрія

Параметр	Концентрація, % за масою		Параметр	Концентрація, % за масою
Cl	<2 %		Pb	250
S	<0,5 %		Ni	500
Co	1 000		Hg	0,5
Cr	500		Cd	9
As	5		Zn	1 000

Примітка: Всі значення наведені у мг/кг сухих пластмас.
Джерело: [211, Ремус, Райнер, 2008].

Установки для вдування пластмас компанії ArcelorMittal у містах Бремен та Айзенхюттенштадт (обидві в Німеччині) перебували в експлуатації кілька років. У 2004 році на печі № 3 у Бремені вдували в середньому 52,3, у той час як на печі № 1 в Айзенхюттенштадті вдували в середньому 67,4 кг/т чавуну пластмас. Під час написання довідкового документу (2010 рік) на обох доменних печах припинили вдування пластмас з економічних причин.

Можливість застосування

Пряме вдування відновлювальних агентів може бути застосовано як на нових, так і на наявних доменних печах. Слід зазначити, що цей спосіб значною мірою залежить від місцевих умов і ринкової ситуації.

Економічні дані

Інвестиції для установки вдування пластмас компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія, склали 20 млн євро для потужностей із вдування до 220 000 т/рік. У зв'язку з обслуговуванням установки для вдування виникатимуть додаткові витрати.

Стимули для впровадження

Для деяких типів відходів більше неможливе депонування на полігонах внаслідок обмежень на вміст вуглеводнів. Тому мають бути знайдені інші шляхи для поводження з цими матеріалами.

Приклади установок

Вдування пластмас в доменну піч застосовується в Європі компанією Voestalpine Stahl GmbH на заводі в м. Лінц, Австрія. Повідомлялося, що на чотирьох доменних печах був досвід із переробки легкої фракції після подрібнення (~ 200 тис. т/рік).

У березні 2008 року компанія Salzgitter Frachstahl GmbH, Німеччина, почала вдування пластмас.

Довідкова література

[11, Кемпелл та ін., 1992] [65, InfoMil, 1997] [132, Стірс та ін., 1994] [211, Ремус, Райнер, 2008] [221, Томас та ін., 2002] [222, Янсен та ін., 2002] [238, Янке та ін., 1997] [276, Італія, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [348, Eurofer, 2007] [390, Аткінсон та ін., 2004]

6.3.12.5 Пряме вдування відпрацьованих масел, жирів та емульсій як відновлювальних агентів і залишків твердого заліза

Опис

Відпрацьовані масла, жири та емульсії відпрацьованих масел у воді утворюються у всій промисловості. Ці залишки можна вдувати у доменну піч на рівні фурм як часткову заміну коксу та вугілля.

Спрощена схема прямого вдування рідкого повернення у доменну піч наведена на рис. 6.24. Альтернативними методами є хімікати або термічна дисоціація.

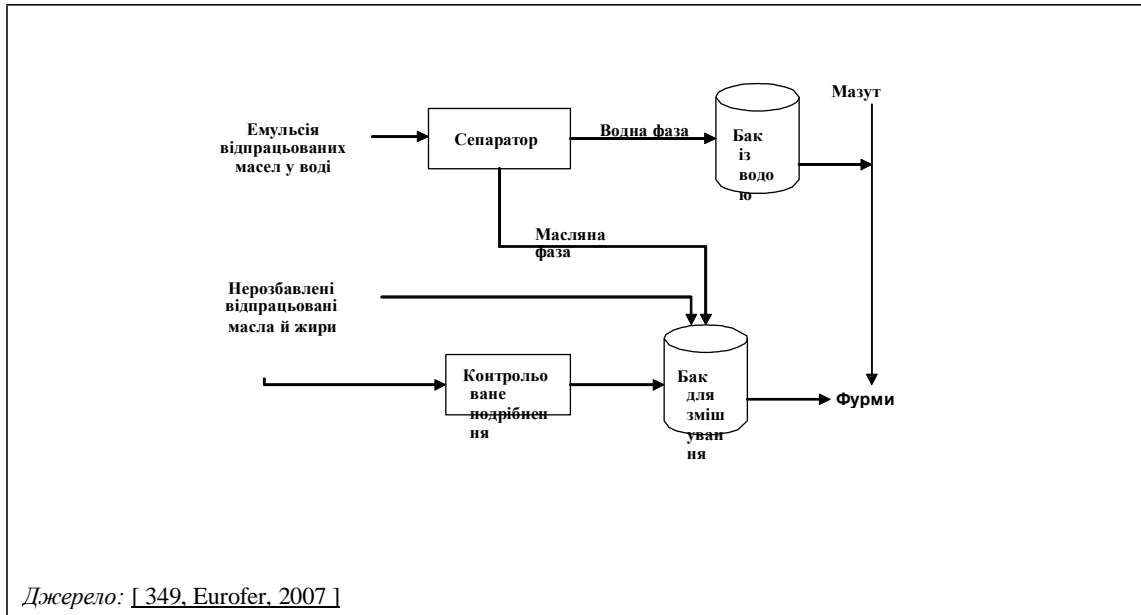


Рис. 6.24. Спрощена схема прямого вдування відпрацьованих масел, жирів та емульсій в доменну піч

Найважливішим моментом у цій процедурі є розподіл води, масла і пилу в емульсіях для забезпечення того, щоб вдування води у доменну піч жорстко контролювалося. Для проведення цієї операції використовуються тарілчасті сепаратори.

Складовою частиною процесу є додавання води, розділеної в сепараторі, до мазуту, що вдувається у доменну піч. Рівень цієї додаткової води можна використовувати для контролю адиабатичної температури факела в зоні циркуляції (RAFT), тобто підвищення рівня додаткової води знижує RAFT. Перевагою використання цього повернення є залежність від бажаного контролю температури факела при роботі печі в особливому режимі.

Залишки маслянистої прокатної окалини складаються з твердих матеріалів із високим вмістом заліза, забруднених вуглеводнями (до 20 %). Першою стадією використання цього типу матеріалів часто є сепарація масла (знежирення) від твердих складових із високим вмістом заліза. У цій системі масляниста прокатна окалина та подібні залишки зменшуються у розмірі (наприклад, за допомогою подрібнення) і змішуються з відпрацьованими маслами і масляною фазою, відокремленою від емульсії в сепараторі. Отримана суспензія вдувається у фурми доменної печі за допомогою окремих фурм. Вуглеводні діють як відновлювальні агенти, оксиди заліза відновлюються до заліза, потрапляючи в розплавлений чавун.

Вдування матеріалів (наприклад, маслянистої прокатної окалини) на рівні фурм показало, що викиди діоксинів і ПАХ залишаються у допустимих межах в обох випадках, підтверджуючи здатність досягнення повного реагування масла в зоні циркуляції доменної печі.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Інтенсивність обміну між сепарованою масляною фазою і мазутом трохи нижче 1 внаслідок того, що повного розділення води від масляної фази не можна досягти.

Зниження рівня споживання коксу у доменній печі може бути в діапазоні від 3 до 8,5 кг/т чавуну, залежно від кількості залишків, що вдуваються. Пряме вдування прокатної окалини у доменну піч дає заміщення залізних руд у співвідношенні 1:1.

Таблиця 6.28: Рівні вдування і коефіцієнти заміщення для різних матеріалів, що вдуваються у фурми доменної печі

Матеріал	Інтенсивність вдування, кг/т чавуну	Коефіцієнт заміщення
Відпрацьовані масла і жири	4 – 12	0,9
Мазут	3,5 – 78	0,8
Кокс (теоретично)	3 – 8,5	0,8
Залишки заліза/залізні руди		1
<i>Джерело: [211, Ремус, Райнер, 2008] [349, Eurofer, 2007].</i>		

Міжсередовищні наслідки

Глибокі дослідження не виявили будь-яких негативних взаємодій між середовищами. Споживання мазуту може бути заміщено подібною кількістю розділеної масляної фази. Споживання коксу може бути знижено на 3 – 8,5 кг/т чавуну, і, отже, буде попереджено викиди, пов'язані з цією кількістю коксу.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Пряме вдування залишків може застосовуватись як на нових, так і на наявних доменних печах. Слід зазначити, що безперервна робота цієї системи ґрунтується на логістичній концепції постачання і зберігання залишків. Окрім того, особливе значення для успішної роботи має застосовувана технологія транспортування.

Економічні дані

Рентабельність вдування залишків досягається шляхом заміщення коксу та залізних руд і завдяки зниженню витрат на депонування. Капітальні витрати на установку прямого вдування залишків складають близько 4 – 6 млн євро. Максимальна продуктивність установки компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія, становить 12 кг залишків/т чавуну, або 15 000 т залишків/рік для доменної печі з продуктивністю близько 2 500 т чавуну на добу.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Пряме вдування залишків виробництва, як описано в розділі, впроваджено на доменних печах № 5 і № 6 компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія.

Довідкова література

[349, Eurofer, 2007]

6.3.13 Утилізація енергії тиску колошникового газу

Опис

Доменні печі з підвищеним тиском на колошнику надають ідеальну можливість для утилізації енергії від великих обсягів колошникового газу високого тиску, який у них утворюється. Енергія утилізується за допомогою газорозширювальної турбіни, яка встановлена після пристрою для очищення колошникового газу.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Кількість енергії, яку можна утилізувати від високого тиску колошникового газу, залежить від обсягу колошникового газу, градієнта тиску і температури підвідного газу. Утилізація енергії таким шляхом є рентабельною, коли пристрій для очищення доменного газу і розподільна мережа мають низьке падіння тиску.

Тиск колошникового газу в сучасних доменних печах становить приблизно 0,25 – 2,5 бар. Тиск у газопроводі доменного газу складає приблизно 0,05 – 0,1 бар. Частина тиску колошникового газу «споживається» пристроєм для його очищення.

Повідомляється, що на сучасних доменних печах потужність електроенергії, що генерується, становить 15 МВт при тиску колошникового газу 2 – 2,5 бар.

Економія енергії оцінюється в 0,4 ГДж/т чавуну для турбіни з потужністю 15 МВт. Економія становить до 2 % від валової потреби доменної печі в енергії. Застосування утилізації тиску колошникового газу на доменних печах із підвищеним тиском газу на колошнику є звичайною практикою.

Міжсередовищні наслідки

Жодних міжсередовищних наслідків зафіксовано не було.

Експлуатаційні дані

Технологія утилізації енергії підвищеного тиску колошникового газу зазвичай працює в автоматичному режимі без проблем. Можна використовувати осьові турбіни, які є більш ефективними, ніж радіальні турбіни. Критичний момент настає, коли турбіна повинна бути зупинена і градієнт тиску буде передаватися на пристрій для очищення газу. Завжди необхідні особливі заходи безпеки для запобігання ушкоджень системи очищення газу та/або газопроводу.

Слід зазначити, що використання турбін вимагає ретельного очищення доменного газу. Перш за все, технічні проблеми пов'язані з високим вмістом лугів у доменному газі (корозія).

Можливість застосування

Утилізація підвищеного тиску колошникового газу може застосовуватися на нових заводах і в деяких випадках на наявних заводах, хоча з більшими труднощами і з додатковими витратами. Основною думкою для застосування цієї технології є адекватний тиск на колошнику, який повинен перевищувати 1,5 бар.

На нових заводах турбіни для роботи на колошниковому газі і системи очищення доменного газу можуть бути адаптовані один до одного для досягнення високої ефективності як очищення газу, так і утилізації енергії.

Економічні дані

Рентабельність турбіни зростає зі збільшенням градієнта об'єму і тиску колошникового газу та зі збільшенням енергетичних витрат. У сучасній доменній печі можливий строк окупності менше трьох років, але залежно від місцевих обставин та максимального тиску газу це може бути й більше 10 років.

Стимули для впровадження

Основним стимулом для впровадження утилізаційних турбін є економічна вигода.

Приклади установок

Утилізація тиску колошникового газу застосовується у всьому світі на сучасних доменних печах із високим тиском і об'ємом доменного газу.

Довідкова література

[1, Арміцу, 1995] [42, ЄК (ЕС), 2003] [65, InfoMil, 1997] [66, Йокш, 1995] [350, Eurofer, 2007]

6.3.14 Економія енергії в повітрянагрівачах

Опис

Повітрянагрівачі опалюються доменним газом (часто збагаченим). Існує кілька технологій для оптимізації ефективного використання енергії повітрянагрівачами, які включають:

1. використання автоматизованої роботи повітрянагрівачів, що запобігає необов'язковим запасам шляхом адаптації постачання енергії до реальної потреби та мінімізує кількість доданого збагаченого газу (у випадках, коли відбувається збагачення);
2. підігрів палива або повітря для згоряння в поєднанні зі встановленням трубопроводу холодного дуття і виходу до димової труби. Фізичне тепло відхідних газів можна використовувати для підігріву палива. Можливість зробити це залежить від ефективності повітрянагрівачів, оскільки вона визначає температуру відхідних газів (наприклад, за температури відхідних газів нижче 250 °С утилізація тепла не може бути технічно й економічно привабливим вибором). Теплообмінник переважно складається з мазутної магістралі через економічні причини. У деяких випадках може використовуватися тепло від зовнішнього джерела, наприклад тепло від агломераційної стрічки, якщо відстань не дуже значна. У разі підігріву палива знижується споживання енергії. На заводах зі збагаченим доменним газом підігрів палива може означати, що збагачення більше не буде обов'язковим;
3. використання більш придатних пальників для поліпшення спалювання;
4. швидке вимірювання концентрації кисню і подальша адаптація до умов спалювання.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

В роботі [66, Йокш, 1995] повідомляється про таку економію енергії:

1. використання автоматизованих повітрянагрівачів приводить до підвищення ефективності повітрянагрівачів більш ніж на 5%. Це еквівалентно економії енергії приблизно в 0,1 ГДж/т чавуну;
2. підігрів палива або повітря для спалювання може також привести до економії енергії приблизно в 0,3 ГДж/т чавуну. Значна економія енергії досягається при використанні спалювання газу для підігріву доменного газу. Економія від цього способу складає близько 170 МДж/т чавуну. Рівні викидів, які можуть бути досягнуті, складають: NO_x 20 – 25 г/т чавуну, SO₂ 70 – 100 г/т чавуну, CO₂ 0,4 – 0,5 г/т чавуну.
3. щодо технологій № 3 і № 4 (див. вище), можна додатково заощадити 0,04 ГДж/т чавуну завдяки поліпшенню спалювання й адаптації до умов спалювання.

Загальна економія енергії, можлива завдяки поєднанню технологій, складе близько 0,5 ГДж/т чавуну.

Міжсередовищні наслідки

Не повідомлялося про взаємодію між середовищами [66, Йокш, 1995]. Очікується, що підігрів палива і повідомлюване підвищення температури димових газів має призвести до підвищених викидів оксидів азоту з повітрянагрівачів. Застосування сучасних пальників може знизити ці викиди.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Згадана вище технологія для економії енергії повітрянагрівачів, як на нових, так і на наявних доменних печах, де конструкція для цього придатна.

Економічні дані

Ці заходи можуть бути привабливими з економічного погляду внаслідок зниження споживання енергії, і, отже, економії грошей. Рентабельність залежить від кількості зекономленої енергії та від інвестиційних і експлуатаційних витрат. Типові капітальні витрати для утилізації тепла склали у 1997 році 6 млн євро для набору повітрянагрівачів для однієї доменної печі.

Для реалізації автоматизованого контролю необхідне будівництво четвертого повітрянагрівача у випадку доменної печі з трьома повітрянагрівачами для отримання максимальної вигоди.

Стимули для впровадження

Економічні вигоди, пов'язані з підвищенням продуктивності та зниженням споживання енергії, є стимулами для впровадження цієї технології.

Приклади установок

Компанія Thyssen Krupp Stahl, район Хамборн, м. Дуйсбург, Німеччина;
доменна піч № 7 компанії Corus у м. Еймьойден, Нідерланди; компанія ArcelorMittal, завод у м. Гент, Бельгія;
компанія ArcelorMittal, завод у м. Хіхон, Іспанія; компанія Ruukki, Фінляндія;
компанія Voestalpine Stahl GmbH, завод у м. Лінц, Австрія, компанія Voestalpine Stahl GmbH, завод у м. Донавіц, Австрія.

Довідкова література

[66, Йокш, 1995] [208, Ліндфорс та ін., 2006]

7 ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ В КИСНЕВИХ КОНВЕРТЕРАХ ТА РОЗЛИВКА

Заміна повітря киснем у сталеплавильному виробництві була спочатку запропонована Генрі Бессемером. З 1950 року кисень став використовуватись у сталеплавильному виробництві незалежно від конкретного методу виробництва. Попередньою умовою для рентабельного використання процесу в кисневих конвертерах у промисловому масштабі стала наявність необхідної кількості технічно чистого кисню, а також технології водоохолоджувальної фурми, необхідної для введення кисню до конвертера.

Перший промисловий варіант кисневого конвертера був впроваджений у м. Лінц, Австрія, у 1952 році [363, Eurofer, 2007].

Киснево-конвертерний процес (BOF) та електродугова піч (EAF) замінили наявні менш енергоефективні процеси сталеплавильного виробництва, такі як томасівський процес та мартенівський процес (процес Сіменса – Мартіна). В ЄС останні мартенівські печі були виведені з експлуатації наприкінці 1993 року. Процес BOF і процес виплавки в EAF – це єдині процеси, що використовуються для виробництва сталі в ЄС. На процес BOF припадає дві третини виробництва сталі, а на процес EAF третина, що залишилася (країни ЄС – 27 у 2006 році. Див. також рис. 1.2).

На рис. 7.1 показано BOF у момент заливки рідкої сталі.



Джерело: [200, Єврокомісія, 2001]

Рис. 7.1. Кисневий конвертер у момент розливання рідкої сталі

7.1 Процеси і технології, що застосовуються

Мета виробництва сталі із застосуванням кисню полягає у вигоранні (тобто окисленні) небажаних домішок, що містяться в шихті кисневого конвертера. Основними елементами, які в такий спосіб перетворюються на оксиди, є вуглець, кремній, манган і фосфор [363, Eurofer 2007]. Вміст сірки знижується, перш за все, протягом попередньої обробки чавуну. Тому мета процесу окислення полягає у:

- зниженні вмісту вуглецю до певного рівня (приблизно від 4 – 5 % зазвичай до 0,01 – 0,4 %);
- коригуванні вмісту бажаних домішкових елементів;
- максимально можливого видаленні небажаних домішок.

Виробництво сталі в процесі BOF є безперервним процесом, який включає такі стадії:

- транспортування чавуну з доменної печі та його заливка;
- попередня обробка чавуну (десульфурація, скачування шлаку);
- транспортування, зважування та переливання у другий ківш;
- окислення у BOF (зневуглецювання і окислення домішок);
- вторинний металургійний переділ;
- розливання (безперервне і/або у злиток).

Індивідуальні стадії та пов'язані з ними викиди підсумовано на рис. 7.2.

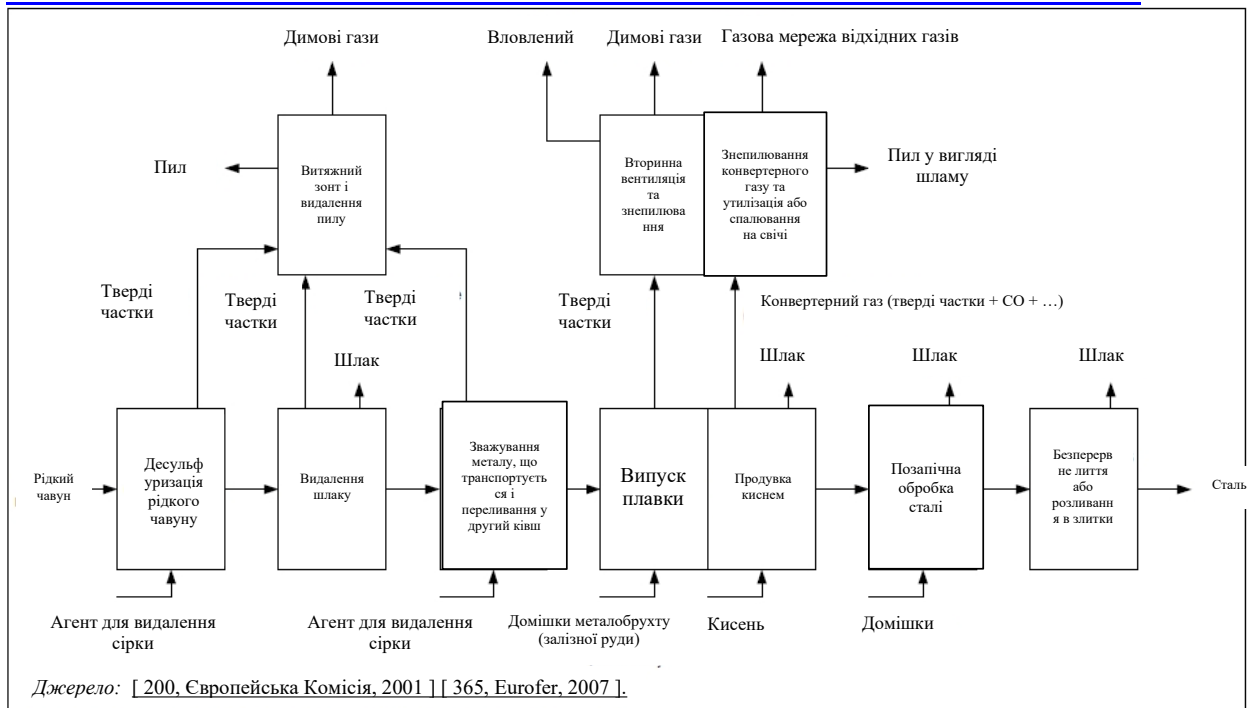


Рис. 7.2. Послідовність процесу киснево-конвертерного виробництва сталі із зазначенням окремих джерел викидів

7.1.1 Транспортування і зберігання розплавленого чавуну

Розплавлений чавун із доменної печі доставляється у сталеплавильний цех із використанням чавуновозів або міксерних ковшів. Ковші облицьовані цеглою з корунду, муліту і бокситу або доломіту з додатковим ізоляційним внутрішнім шаром між чавуном і вогнетривким матеріалом. Найпоширенішою системою стає сигароподібний міксерний ківш, міксер для рідкого чавуну, що перевозиться рейковими шляхами. Міксер із бічною опорою може обертатися при вивантаженні свого вмісту. Міксерні ковші зазвичай конструюються на посудину від 100 до 300 т, а найбільші вміщують 400 т. Конструкція міксерного ковша допомагає мінімізувати теплові втрати. Той факт, що міксерний ківш приймає подвійну кількість чавуну, що приймається звичайним міксером для рідкого чавуну, усуває необхідність у системі зберігання рідкого чавуну.

Строк служби міксерного ковша при нормальному використанні варіюється від 150 тис. до 400 тис. т. Десульфурація у міксерному ковші скорочує його потенційний цикл використання між замінами футерування, і потрібна особлива увага при виборі вогнетривких матеріалів.

Під час транспортування у відкритому ковші розплавлений чавун у деяких випадках зберігається в міксерах. Наявні поворотні горизонтальні сталеві контейнери, футеровані вогнетривкою цеглою. Вони слугують за компенсацію флуктуацій виробництва у доменній печі та сталеплавильного цеху для зрівнювання хімічного складу індивідуальних плавок доменної печі та для забезпечення рівномірних температур. Сучасні міксери для розплавленого чавуну мають посудини до 2 000 т.

7.1.2 Попередня обробка рідкого чавуну

Метою є попередня обробка для зниження вмісту сірки, фосфору і кремнію у рідкому чавуні [363, Eurofer, 2007].

В Європі використовується тільки стадія десульфурації при підготовленні рідкого чавуну для процесу BOF. Дефосфоризація і видалення кремнію у рідкому чавуні є дорогими і складними технологічними процесами, які навряд чи з'являться в найближчому

майбутньому з урахуванням нинішніх вимог. Використання цих процесів залежить від сировинних матеріалів, використовуваних у доменній печі, і необхідної якості сталі [363, Eurofer, 2007].

Удосконалення металургійного процесу доменної плавки і зниження надходження сірки з коксом та іншими відновлювальними агентами привели до зниження рівнів сірки у рідкому чавуні. На сьогодні встановлені концентрації сірки (зазвичай від 0,001 до 0,020 %) для заливки у конвертер зазвичай коригуються за допомогою установки для десульфурації рідкого чавуну, розміщеної у сталеплавильному цеху. Зовнішня десульфурація також вигідна з погляду захисту навколишнього середовища. Заходи, що передують доменному процесу зазвичай включають знижене споживання коксу й агломерату, знижені втрати розплавленого металу і підвищену якість металургійного шлаку. Це в кінцевому підсумку приводить до зниження споживання вогнетривкої футеровки і кисню [363, Eurofer, 2007].

Агенти десульфурації – це зазвичай карбід кальцію, але також вапно, оксид кальцію, магнію і зрідка матеріали, що містять кальциновану соду.

Найпоширеніший метод десульфурації гарячого чавуну, що використовується зараз у Європі, працює на карбіді кальцію, який витіснив попередній процес із використанням соди з причин видалення відходів і керування якістю повітря. Використання суміші карбиду кальцію, магнію і вапна дає змогу провести десульфурацію рідкого чавуну до кінцевих рівнів 0,0010 %, незалежно від початкового вмісту сірки.

Недоліки пов'язані з досить низьким виснаженням агента десульфурації та необхідністю інтенсивного перемішування цього агента з розплавленим чавуном. Однією з характерних вигід є те, що процес призводить до росту утворення пухкого шлаку, який можна легко видалити. Використання магнію додатково до карбиду кальцію стало таким самим звичним процесом, як і використання одного карбиду кальцію [363, Eurofer, 2007].

Процес десульфурації з використанням кальцинованої соди є ефективним процесом внаслідок низької температури плавлення і в результаті легкого змішування продукту з розплавленим чавуном. Його недоліки включають низьку специфічність, і необхідність пошуку маршруту розміщення содового шлаку, що утворюється. Вміст сірки в цих шлаках варіюється від 1 до 15 %, а вміст Na_2O в них – від 5 до 40 %, залежно від використовуваного процесу. Рециклінг содового шлаку на заводі є непрактичною пропозицією внаслідок його високої лужності. До теперішнього часу не було розроблено економічного альтернативного методу рециклінгу. Під час видалення сульфід натрію розкладається на розчин гідроксиду натрію та сульфід у водню внаслідок наявності води. Використання кальцинованої соди обмежене. Невеликі кількості кальцинованої соди можуть бути обмежено використані протягом процесу скочування шлаку.

Процес десульфурації проводиться за допомогою ряду різних методів і систем. Зазвичай, як правило, десульфурація має місце:

- в жолобі доменної печі;
- у завихреному струмені при розливанні;
- у ковші для транспортування;
- у спеціально сконструйованих металургійних апаратах.

Відоме обладнання десульфурації включає занурювальну фурму, чайниковий ківш, апарати, що обертаються і коливаються, і струшувальне обладнання для використання у ковші. Карбід кальцію найчастіше використовується у поєднанні із занурювальною фурмою і методом перемішування.

Магній додається у порошкоподібній формі до газу-носія через занурювальну фурму. Процес десульфурації проводиться в окремих пунктах обробки.

Практичним прикладом є такий: агент для десульфурзації продувається через сопло у розплавлений чавун за допомогою азоту або сухого повітря. Сірка зв'язується у шлаку, який тече вище розплавленого чавуну. Потім шлак видаляється в установці для виокремлення шлаку, а рідкий чавун спрямовується з ковша у ливарну яму для зважування. За необхідності в ці ями додають речовини для регулювання процесу. У деяких випадках виконується друге видалення шлаку з використанням шлакової ложки. У більшості випадків ківш зважують за допомогою кранових ваг. Після зважування гарячий чавун заливається до конвертера [363, Eurofer, 2007]. Різниця між заповненим і порожнім ковшем дає змогу точно визначити вагу розплавленого чавуну, що заливається до конвертера.

7.1.3 Окислення в кисневому конвертері

Для виконання цілей, згаданих вище, небажані домішки окислюються із подальшим видаленням відхідних газів або шлаку. У табл. 7.1 перераховані основні хімічні реакції протягом процесу окислення, що проходить у кисневому конвертері (BOF). Небажані домішки видаляються з відхідними газами або рідким шлаком. Енергія, яка потрібна для підвищення температури і плавлення матеріалів, що надійшли, постачається за допомогою екзотермічної реакції окислення так, що не потрібно додаткового підведення тепла. З іншого боку, для теплового балансу необхідно додати лом або руду. В деяких BOF і комбінованих процесах продувки газоподібні вуглеводні (наприклад, природний газ) вдуваються як фурменні охолоджувачі (див. рис. 7.4).

Таблиця 7.1: Основні хімічні реакції, що відбуваються протягом процесу окислення

Процес окислення	Хімічна реакція		
Видалення вуглецю	[C] + [O]	↔	CO (гази)
	[CO] + [O]	↔	CO ₂ (гази)
Супутні окислення і домішки			
- Видалення силіцію	[Si] + 2[O] + 2[CaO]	↔	(2CaO • SiO ₂)
- Реакція мангану	(Mn) + (O)	↔	(MnO)
- Дефосфоризація	2[P] + 5 [O] + 3 [CaO]	↔	(3CaO • P ₂ O ₅)
Деоксидування			
Видалення залишкового кисню за допомогою феросиліцію	[Si] + 2[O]	↔	(SiO ₂)
Реакція алюмінію	2[Al] + 3[O]	↔	(Al ₂ O ₃)
Примітка: — [] = Розчинений у гарячому чавуні. — () = Міститься у шлаку. Джерело: [200, Європейська Комісія, 2001] [363, Eurofer, 2007].			

Робота кисневого конвертера є напівбезперервною. Повний цикл складається з таких стадій: завантаження скрапу і розплавленого чавуну, продувки кисню, відбору проб і реєстрації температури та випуску металу. У сучасних сталеплавильних цехах виробляється до 380 т протягом циклу у 30 – 40 хв.

Протягом процесу використовується ряд домішок для адаптації якості сталі й утворення шлаку. Під час завантаження і розливання конвертер нахилиється. Протягом продувки кисню конвертер встановлюється тільки у вертикальне положення [363, Eurofer, 2007].

Існує декілька типів реакторів, які використовуються для процесу виробництва сталі у кисневому конвертері. Найчастіше використовуваним типом є LD конвертер (процес Лінц – Донавіц), що застосовується для плавки гарячого чавуну з низьким вмістом фосфору. Конвертер має форму груші, це – реактор, облицьований вогнетривами, в який

опускається охолоджена водою киснева фурма. За допомогою цієї фурми чистий кисень (> 99 %) з блоку розподілу повітря продуває рідкий гарячий чавун (див. рис. 7.3) [363, Eurofer, 2007].

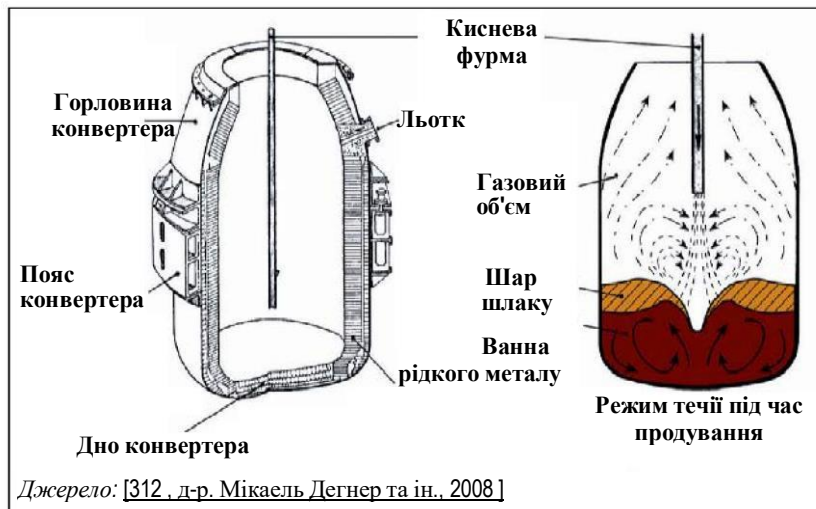


Рис. 7.3. Кисневий конвертер

Іншими типами сталеплавильних реакторів є процес донного продування киснем Максхютте (ОВМ), який англійською називається процесом Q-BOP (киснево-конвертерний процес із подачею кисню в струмені палива через днище конвертера) (див. рис. 7.4) та процес Loire-Wendel-Sprunck (LWS). Ці процеси відрізняються від конвертера LD тим, що кисень і флюси продуваються через заглибні сопла через днище з використанням вуглеводнів для охолодження [19, ЕС BOF, 1995] [312, д-р Мікаель Дегнер та ін., 2008] [363, Eurofer, 2007].

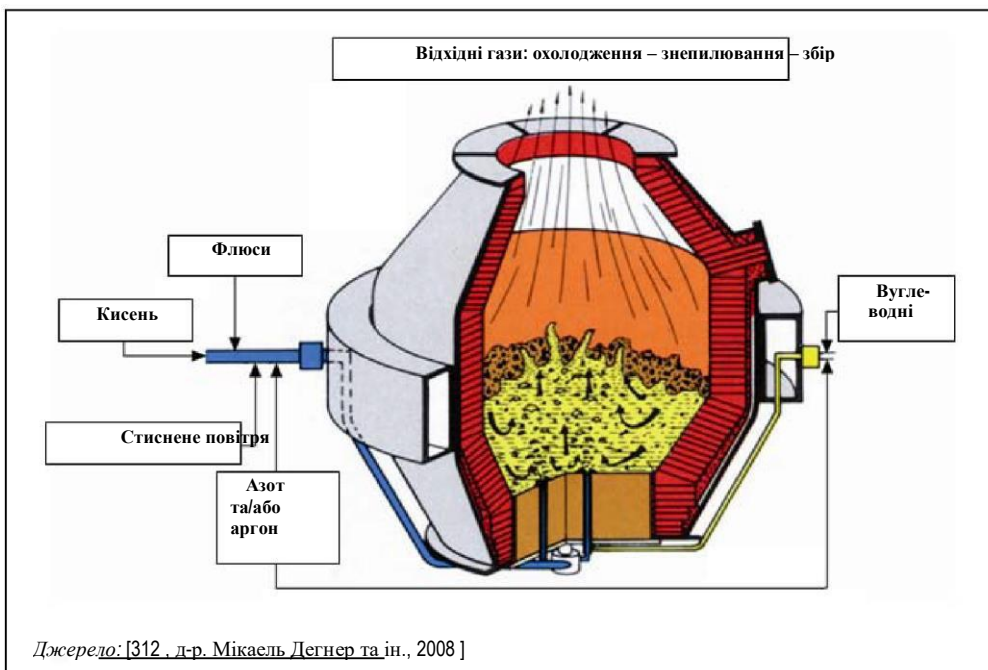


Рис. 7.4. Розріз конвертера з донною продувкою (ОВМ) (процес Q-BOP)

Також були розроблені способи комбінованого продування. За необхідності процес у конвертері LD можна поліпшити за допомогою «донного перемішування» аргоном (Ar) або азотом (N₂) через пористі цеглини у футеровці днища на деяких стадіях процесу. Найчастіше застосовуються процес LBE та процес ТВМ. Приклад останнього процесу

схематично показаний на конвертері із системою комбінованого продування зверху на рис. 7.5. Натомість, можуть використовуватися донні фурми для вдування чистого кисню або інших газів протягом процесів продування, як спосіб LTE (донне продування з рівномірним розподілом елементів) і спосіб LD-НС (донне продування з одночасною продувкою вуглеводнів). Під час цих комбінованих способів продування відбувається інтенсивніша циркуляція розплавленої сталі та поліпшується проходження реакції між киснем і розплавленим металом [363, Eurofer, 2007].

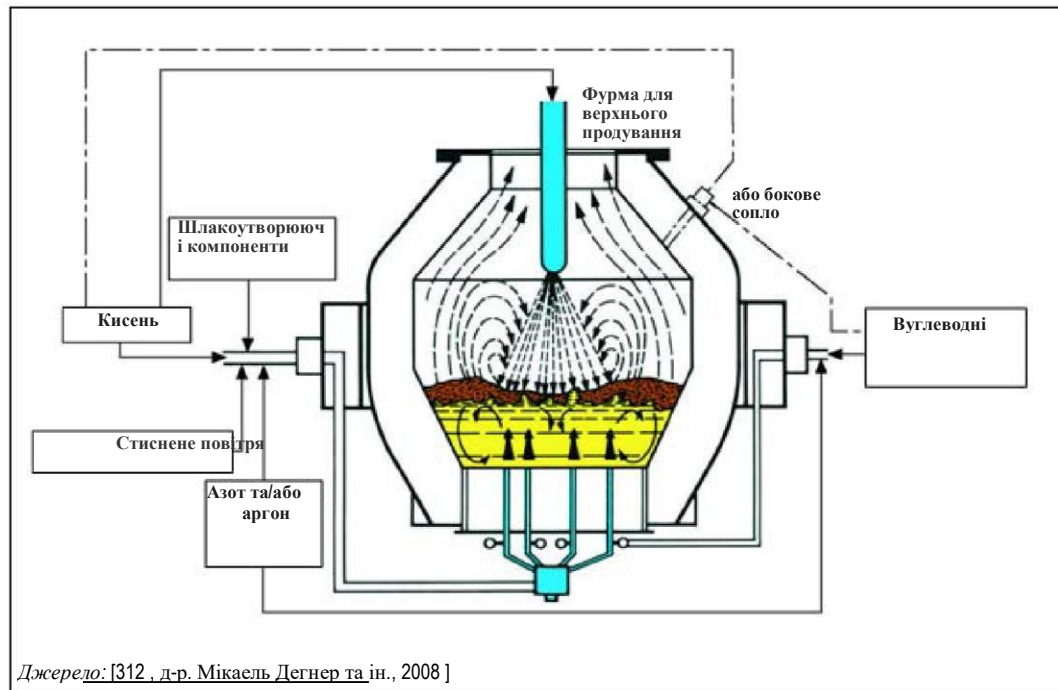


Рис. 7.5. Схема конвертера з комбінованою верхньою продувкою

У табл. 7.2 наведено огляд кількості працюючих кисневих конвертерів в ЄС за типом процесів, що використовуються. Очевидно, що домінує процес LD.

Таблиця 7.2: Типи, кількість і номінальна продуктивність кисневих конвертерів, що працюють у ЄС

Процес	Кількість		Номінальна продуктивність (тис. т/рік)		
	Рік	1997	2004	1997	2004
LD		17	5	12 400	5 400
LD с донним продуванням		44	36	64 960	54 300
LBE		22	10	27 550	12 700
OBM		5		2 780	
KOBM		1		2 200	
EOF		1		400	
TBM			5		10 200
LWS		2	2	2 900	2 200
LET			2		4 400
Усього		92	60	113 190	89 200

Джерело: [200, Єврокомісія, 2001] [363, Eurofer, 2007] [365, Eurofer, 2007].

Кількість споживаного кисню залежить від складу рідкого металу (тобто вмісту С, Si, P).

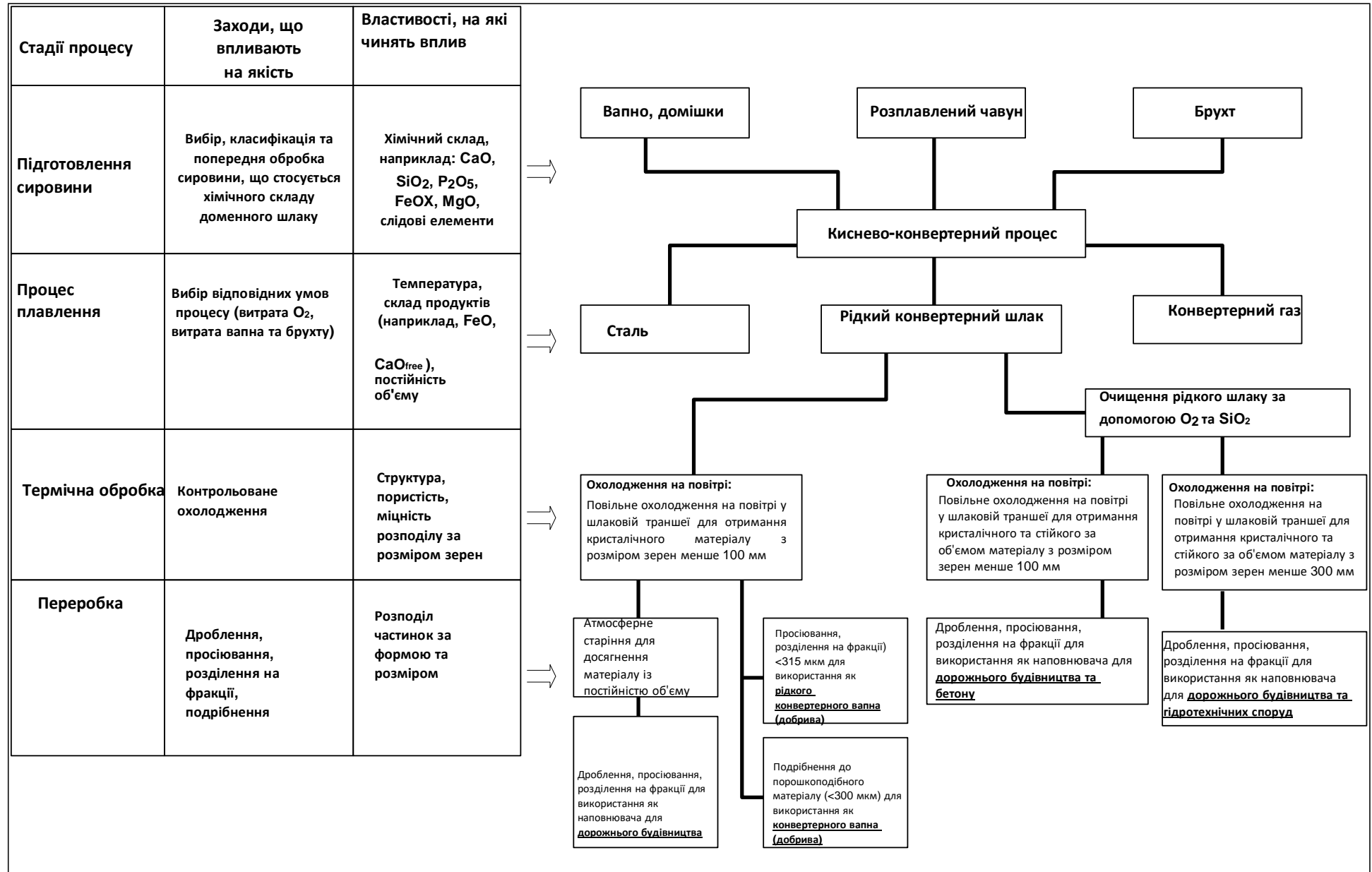
Прогрес у процесі виробництва сталі вимірюється за допомогою відбору проб розплавленого металу. На сучасних заводах відбір проб здійснюється без переривання кисневого продування, з використанням допоміжної фурми. Аналогічні результати досягаються за допомогою процедур стандартизації технологічного процесу та/або шляхом використання адекватного динамічного моделювання та моніторингу. З використанням такої практики підтримується якість, продуктивність і знижуються викиди диму протягом нахилу конвертера. Коли якість сталі відповідає вимогам, продування кисню припиняється, а нерафінована сталь розливається з конвертера в ківш. Потім розплавлена сталь транспортується після позапічної обробки до установки для розливання сталі.

Реакції окислення є екзотермічними, отже, підвищується температура розплавленого чавуну. Додаються металобрухт, залізна руда або інші охолоджувачі для охолодження плавлення в конвертері та підтримки температури приблизно в діапазоні 1 600 – 1 700 °С. Зазвичай додається приблизно 190 кг брухту/т рідкої сталі, але іноді досягаються значення 300 кг/т рідкої сталі та навіть вище. Кількість скрапу, що завантажується, залежить від попередньої обробки гарячого чавуну і необхідної температури розливання рідкої сталі [145, коментарі UBA (UBA Comments), 1997]. Зміни ринкової ціни брухту та необхідні технічні характеристики сталі також впливають [363, Eurofer, 2007].

Гази, що утворюються під час кисневого продування (конвертерний газ), містять великі кількості монооксиду вуглецю. На більшості металургійних заводів вживаються заходи для утилізації конвертерного газу та його використання як джерела енергії. У відкритих системах горіння вводять повітря в газохід конвертера, повністю або частково спалюючи в такий спосіб монооксид вуглецю. В системі придушення згорання (без допалювання) рухома юбка газоходу опускається над горловиною конвертера протягом кисневого продування. Отже, навколишній кисень не може потрапити в газохід, і це запобігає згорянню монооксиду вуглецю. Газ із високим вмістом CO можна збирати, очищувати і направляти в газгольдер для подальшого використання як палива. Основною перевагою системи без допалювання є менша витрата димових газів, так як не відбувається спалювання, і не вводиться додаткове повітря з азотом. Це приводить до підвищення продуктивності, так як можна підвищити швидкість продувки кисню. Використовуються як одна («відкрите спалювання»), так і інша система («неповне спалювання»). Тепло, що утворюється при відкритому допалюванні, зазвичай утилізується в котлі-утилізаторі [363, Eurofer, 2007].

У киснево-конвертерному процесі утворюються також значні кількості пилу протягом завантаження брухту і заливки гарячого чавуну, продування та протягом випуску шлаку і рідкої сталі. Всі сталеплавильні цехи в ЄС вживають заходів для зниження викидів пилу.

Під час процесу виплавки сталі утворюється конвертерний шлак. Контроль шлаку призначений для коригування складу гарячої сталі та для отримання шлаку бажаної якості [363, Eurofer, 2007]. Протягом утворення шлаку і після охолодження вживають деяких заходів, залежно від ринкових умов для здійснення впливу на якість конвертерного шлаку (див. рис. 7.6). Зазвичай шлак із кристалічною структурою дробиться та просівається, що є частиною виробничого процесу. Шлак можна також обробляти, поки він ще рідкий, з додаванням кремнію для виробництва наповнювачів із дуже високою якістю. Можуть також додаватися фосфати для виробництва сільськогосподарських поліпшувачів ґрунту. Технічні та хімічні властивості шлаку роблять його придатним для застосувань у цивільному будівництві та при будівництві гідротехнічних споруд, а також у сільському господарстві [363, Eurofer, 2007]. Іноді шлак депонують на полігонах.



Джерело: [116, Ренц та ін., 1996] [174, Euroslag, 2006] [345, n.n., 2002] [363, Eurofer, 2007]



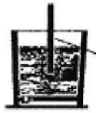


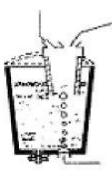
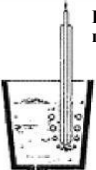

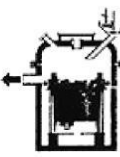
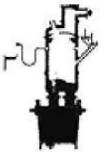
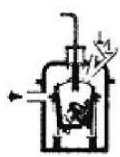

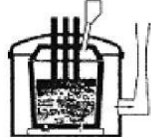
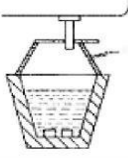
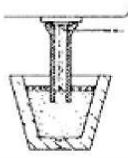
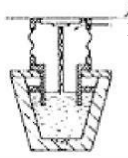
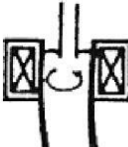
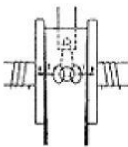

Рис. 7.6. Переробка конвертерного шлаку

7.1.4 Позапічна обробка

За процесом окислення в конверторі зазвичай іде подальша обробка, що включає ряд різноманітних металургійних операцій. Вони стосуються «позапічної обробки сталі»; така обробка була розроблена у відповідь на вимоги до якості, що постійно підвищуються, тоді як їх застосування привело до суттєвого підвищення продуктивності завдяки зняттю з конвертерів тягаря, пов'язаного із проведенням металургійних процесів рафінування сталі. Основними цілями позапічної обробки сталі є:

- змішування та гомогенізація
- коригування хімічного складу відповідно до аналізу допусків
- коригування температури під час подальшого процесу розливання
- деоксидування (розкиснювання)
- видалення небажаних газів, таких як водень та азот
- підвищення чистоти за оксидами шляхом відділення неметалічних включень.

Огляд металургійних операцій позапічної обробки сталі наведений на рис. 7.7. Ці стадії здійснюються в ковші або в агрегаті «піч-ківш», у вакуумній системі або в спеціально спроектованих печах.

Запобігання викидам шлаків	
Змішування / гомогенізації	 Вдування газу через доменні фурми Барботування через донні фурми (пориста пробка)  Фурма  Магнітогідродинамічні є перемішування  Вугілля
Завантаження твердих фракцій	 Легувальні і елементи Газ  Порошок / газ  Дріт Газ
Вакуумування	 Вакуумування в ковші  RH/DH  VOD
Нагрівання	 Піч-ківш  VAD
Розливання через ківш / проміжний пристрій із направленням потоку	 Газ  Газ  Газ
Електромагнетичне перемішування під час безперервного лиття	 MS  EMBR 

Джерело: [200, Єврокомісія, 2001] [312, д-р. Мікаель Дегнер та ін., 2008] [363, Eurofer, 2007] [365, Eurofer, 2007]

Рис. 7.7. Загальне уявлення про операції позапічної обробки сталі та очищення при зливі

Примітка: VOD – це операція, що використовується для виробництва нержавіючої сталі (див. Розділ 8)

Важливим кроком у позапічній обробці сталі є вакуумна обробка. Вона слугує, перш за все, для видалення газоподібного водню, кисню, або залишкового вуглецю зі сталі під вакуумом нижче 0,5 мбар (50 Па). На сьогодні операції вакуумної обробки включають прецизійне зневуглецьовування і розкиснювання нелегованої сталі, зневуглецьовування сплавів на основі хрому, видалення сірки та включень, а також різні стадії легування, гомогенізації, контролю температури і запобігання повторного окислення. При використанні вакуумної обробки можна знизити вміст водню та вуглецю до вмістів у діапазоні від 0,0002 до 0,002 %, відповідно. Вакуумна металургія дає змогу отримувати сталь підвищеної чистоти, зі зниженим вмістом газу та із жорсткішим контролем легувальних елементів [172, Фандріх та ін., 2008].

Використовуються такі методи вакуумної обробки:

- стенд для ковшів або камера дегазації;
- дегазація з рециркуляцією.

Нині дегазація з рециркуляцією є найбільш поширеною практикою, хоча використання дегазації зі стендом для ковшів знову збільшується.

Дегазація в ковші, в якому міститься окислений метал, проводиться у вакуумованому контейнері. Завдяки вакуумуванню забезпечуються підвищені швидкості реакції, і знижується кінцева концентрація небажаних складових рідкої сталі. Вакуумування може супроводжуватися вдуванням аргону через одну або більше пористих пробок у споді ковша шляхом гомогенізації розплаву через фурму або за допомогою процесу перемішування. У разі камери дегазації є також можливість помітно знизити вдування азоту і досягти дуже низьких рівнів сірки (нижче 10 ppm) завдяки дуже інтенсивному перемішуванню між шлаком та металом.

Залежно від індивідуальних вимог, є можливість коригування температури розплаву на цій стадії за допомогою застосування відповідного поєднання, зокрема:

1. додавання брухту високого ступеня чистоти (скрап для охолодження) для охолодження розплаву;
2. додавання алюмінію і продувки кисню для підвищення температури;
3. електричного нагріву графітовими електродами [363, Eurofer, 2007].

У розплав також додаються легувальні елементи для досягнення точного коригування складу сталі (наприклад, Fe/Ni, Fe/Mo, Fe/Mn, Fe/Cr). Ці легувальні елементи знаходяться в твердій формі або укладені в порожнистий дріт, або вдуваються у вигляді порошку через фурму. Перед закінченням циклу перемішування можна визначити рівень кисню за допомогою спеціального зонда. Протягом процесу перемішування суміш пилу з газом піднімається вгору з ковша і відводиться за допомогою рухомого витяжного накриття [275, Кобелко, 2005] [363, Eurofer, 2007].

У випадку дегазації з рециркуляцією розплавлений метал піддається безперервній вакуумній обробці. Залежно від конструктивного оформлення процесу робиться відмінність між системами порційної дегазації DH (Dortmund-Hörder) та вакуумної дегазації з рециркуляцією RH (Ruhrstahl-Heraeus).

7.1.5 Розливка

Як тільки досягається кінцева стадія якості сталі, сталь направляється у розливний ківш до розливної машини. Кілька років тому стандартним методом було розливка розплавленої сталі в багаторазові ливарні форми (постійні форми або розливка в злитки) за допомогою дискретного процесу. Наразі обраний метод безперервного розливу, за допомогою якого сталь розливається в струмковій установці безперервного розливання сталі (тобто на сляби різного розміру, смуги).

7.1.5.1 Безперервна розливка

[373, Eurofer, 2007]

На рис. 7.8 приведена схема установки для безперервної розливки сталі.

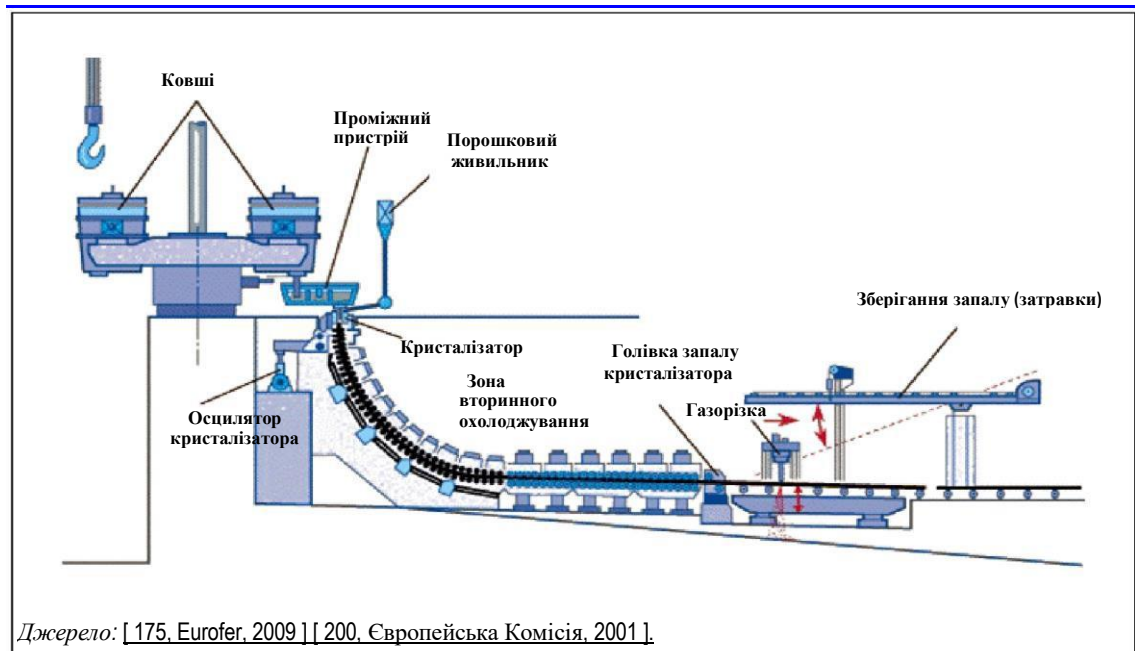


Рис. 7.8. Схема установки безперервної розливки із томильною піччю і прокатним станом із гарячим завантаженням

Безперервна розливка пропонує кілька важливих переваг порівняно з розливанням у злитки: [363, Eurofer, 2007]

- економію енергії, зниження викидів і споживання води внаслідок відсутності слябінгів та заготівельних станів;
- поліпшення умов праці;
- високий обсяг випуску, що перевищує 95 %;
- високу продуктивність.

З часу першого впровадження безперервної розливки сталі в промисловому масштабі у 1960-і роки його частка в загальному виробництві сталі зросла приблизно до 97 %. У всьому світі зараз близько 90 % всього виробництва сталі розливається безперервним методом. Крім традиційного розливання у злитки машини безперервної розливки заготовок замінили також блюмінги та слябінги, та й навіть операції звичайної гарячої прокатки на заготівельних станах. Зараз майже всі сорти сталі піддаються безперервній розливці, так як необхідні попередні умови, такі як розкиснювання і дегазація, передбачаються в рамках сучасної позапічної обробки сталі.

Є різні типи машин безперервної розливки заготовок, включаючи вертикальні, криволінійні, радіальні та овального типу, залежно від їхньої конфігурації.

Рідка сталь розливається з конвертера в ківш, який транспортує її після позапічної обробки до проміжного пристрою машини безперервного розливання заготовок (МБРЗ). Це проміжний ківш із контрольованим випуском. Ковші попередньо підігріваються перед прийомом партії рідкої сталі для запобігання температурному розшаруванню в проміжному пристрої.

Коли рідка сталь досягає бажаної температури, вона розливається у проміжний пристрій. З нього вона проходить через короткий водоохолоджувальний мідний осцилятор кристалізатора, в якому немає повітря та який здійснює зворотно-поступальні рухи, які перешкоджають прилипанню сталі. Кристалізатор надає сталі бажану форму. Безперервна розливка є процесом, який дає можливість розливати один або кілька ковшів рідкої сталі для безперервної розливки заготовок, блюмів, слябів, балкових заготовок або смуги. Додається мастильна речовина кристалізатора у вигляді порошку або рослинного масла.

Коли метал залишає кристалізатор, утворюється «оболонка» із затверділої сталі та заготовка, що рухається по великій кількості роликів, із плавним вигином, що переходить у горизонтальне положення. Потім нескінченна заготовка розрізається на шматки за допомогою газорізки. Сляби, блюми та заготовки розливаються саме так.

У разі секцій, що не підтримуються самостійно, нагріта до червоного жару заготовка із затверділою поверхневою зоною рухається через ряд приводних та нерухомих роликів, які допомагають оболонці витримати феростатичний тиск. Оскільки серцевина ще рідка, заготовка ретельно обприскується водою та охолоджується до повного затвердіння (вторинне охолодження). Цей процес запобігає утворенню тріщин у поверхневій зоні заготовки, яка все ще досить тонка, а також захищає ролики від перегріву. Підтримувальні, транспортуючі та рушійні елементи зазвичай оснащуються несучим роликом із внутрішнім і зовнішнім охолодженням. У зоні вторинного охолодження внутрішнє охолодження ролика стає необов'язковим, як тільки температура достатньо знизиться за допомогою струменя води. До автоматичної системи змащування підключено ряд підшипників. Щойно заготовка повністю затвердіє, її можна різати на мірні розміри за допомогою газових різаків, що рухаються разом із заготівлею, або за допомогою ножиць. Швидкий процес охолодження дає сталі однорідну мікроструктуру під час твердіння зі сприятливими технологічними властивостями. Затверділа мікроструктура заготовки може перебувати під впливом повітря або водяного охолодження.

Форма заготовки визначається геометрією кристалізатора. Поточні типи кристалізатора включають прямокутні, квадратні, круглі або багатокутні секції. Для виробництва сталевих форм можна використовувати кристалізатори, приблизно схожі на поперечний розріз бажаної продукції. Типові розміри заготовки в безперервній розливці змінюються від 80 × 80 мм та близько 310 × 310 мм, 600 мм (коло) і 450 × 650 мм для блюмів, в той час як машини для слябів допомагають отримати розміри до 350 мм завтовшки і до 2 720 мм завширшки. Машини для розливки заготовок можуть одночасно працювати з декількома струмками (на сьогодні до 8), коли під час розливки слябів кількість струмків обмежена двома.

7.1.5.2 Розливка за формою, близькою до заданої

З кінця 1980-х років було розроблене безперервна розливка для виробництва смугової продукції. Такого роду розлив можна віднести до типу «розливки за формою, близькою до заданої», що включає розливку тонкого сляба, розливку смуги за формою, близькою до заданої, яке відоме також як пряма розливка смуги (DSC) та розливка тонкої смуги. У країнах ЄС потужності, встановлені для таких процесів, складають близько 7 млн т. Розливка тонкої смуги скорочує процес від виплавки рідкої сталі до гарячекатаного листа; тому знижується загальне споживання енергії та підвищується ефективність використання матеріалів, але потрібні інші допоміжні металургійні стадії. Типові розміри для розливу тонких слябів змінюються в розмірах від 15 до 50 мм товщини. Розливка за формою, близькою до заданої, приводить до товщини заготовки менше 15 мм і для розливання тонкої смуги – менше 55 мм [312, д-р. Мікаель Дегнер та ін., 2008].

Цей процес додатково обговорюється в цьому довідковому документі, але він включений також до BREF по кольоровій металургії [188, Європейська Комісія, 2001]. Рішення щодо будівництва лінії безперервного розливання тонкої смуги значною мірою залежить від місцевих умов і необхідної якості продукції. У разі розливки смуги за формою, близькою до заданої, слід мати на увазі, що необхідні окремі стадії позапочної обробки сталі, тому викиди і споживання енергії для цих видів обробки щодо виробництва рідкої сталі можуть виявитися вище порівняно з іншими процесами [363, Eurofer, 2007]. Утворення окалини протягом такого типу розливання зазвичай вище, ніж при звичайному розливанні [384, Інститут імені Макса Планка (Max-Planck-Institut) та ін., 2002].

7.1.5.3 Розливка в злитки

Під час розливки у злитки рідка сталь розливається в ливарні форми. Залежно від бажаної якості поверхні протягом розливання можна додавати дегазатори (такі як NaF) у виливницю. Після охолодження злиток витягується з ливарної форми і транспортується на прокатні стани. Згодом після нагрівання злитки прокочуються на сляби, блями або заготовки. У багатьох місцях розливання в злитки було замінено безперервним розливом. У 2004 році 3 % сталі, виробленої в країнах ЄС-15, було зроблено за допомогою розливки у злитки. Для нових держав-членів (ЄС-10) ця частка становить близько 4,2 %. Очікується, що розливка у злитки зрештою буде майже повністю замінено безперервним розливом, за винятком такої продукції, для якої потрібно розливання в злитки з метою досягнення необхідної якості, такого типу як великовагові заготовки для кування [[363, Eurofer, 2007](#)].

В разі електродугових печей розливка у злитки також все ще застосовується для деяких сортів сталі та варіантів застосувань.

7.2 Поточний рівень викидів і споживання

7.2.1 Огляд основних потоків і даних споживання та виробництва

На рис. 7.9 наведено огляд вхідних і вихідних масових потоків для киснево-конвертерного виробництва сталі. Цей огляд можна використовувати для збору даних від одиничних киснево-конвертерних цехів.

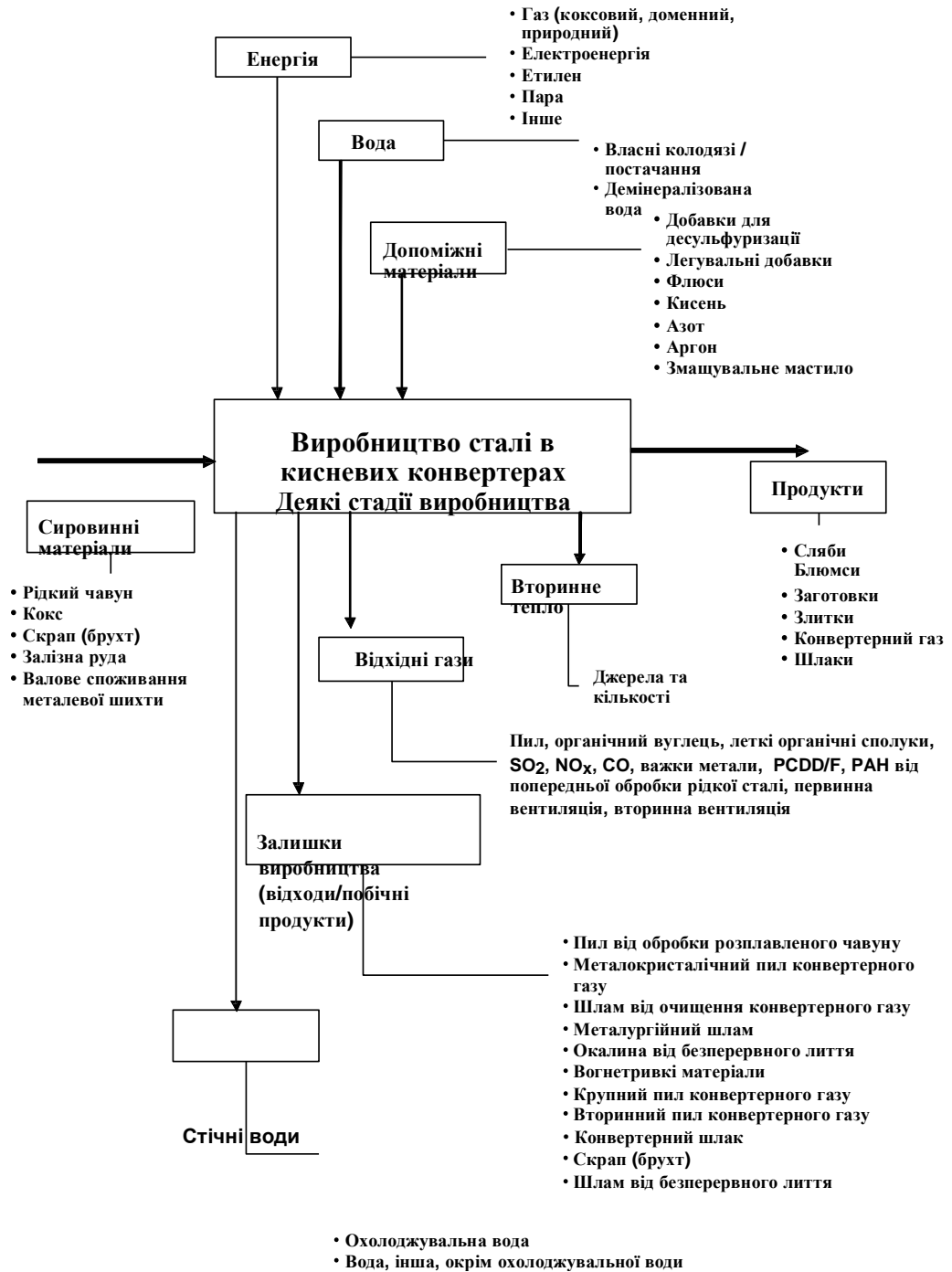


Рис. 7.9. Загальне уявлення про масові потоки для кисневого конвертера

Загальна схема процесу виплавки сталі в кисневому конвертері разом із візуалізацією вхідних та вихідних масових потоків представлена на рис. 7.10.

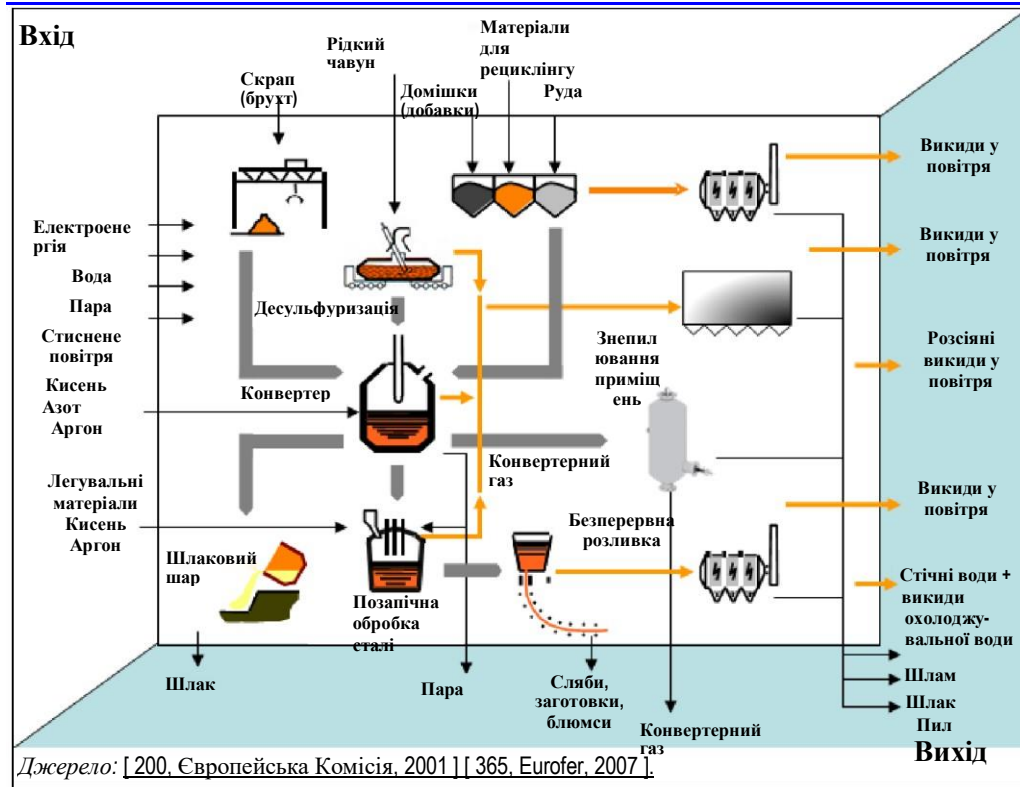


Рис. 7.10. Загальна схема процесу в доменній печі із зазначенням індивідуальних операцій, а також вхідних і вихідних масових потоків

Для кисневих конвертерів були визначені питомі показники для потоків матеріалів і питомі викиди. Ці дані представлені в табл. 7.3 за даними, отриманими від різних конвертерів, що працюють у різних державах-членах ЄС.

Таблиця 7.3: Вхідні/вихідні дані від 21 з наявних кисневих конвертерів у різних країнах-членах ЄС

Вхід			Вихід		
Сировинні матеріали			Продукти ⁽⁴⁾	кг/т рідкої сталі	1 000,0
Рідкий чавун ⁽²⁾	кг/т рідкої сталі	788 – 931	Сляби ⁽³⁾		
Скрап (брухт)	кг/т рідкої сталі	101 – 340	Блюмси		
Залізна руда	кг/т рідкої сталі	0,02 – 19,4	Заготовки		
Інші матеріали на основі заліза	кг/т рідкої сталі	0 – 60	Злитки		
Кокс	кг/т рідкої сталі	0 – 0,4	Ливарне виробництво		
Вапно	кг/т рідкої сталі	30 – 67			
Доломіт	кг/т рідкої сталі	0 – 28,4			
Легувальні матеріали ⁽⁵⁾	кг/т рідкої сталі	1,3 – 33			
Гази			Енергія		
Кисень	м ³ /т рідкої сталі	49,5 – 70	Конвертерний газ	МДж/т рідкої сталі	(0 ⁽⁴⁾) 350 – 700
Аргон	м ³ /т рідкої сталі	0,55 – 1,1	Пара ⁽⁶⁾	МДж/т рідкої сталі	(0) 124 – 335
Азот	м ³ /т рідкої сталі	2,3 – 18,2			
Енергія ⁽⁹⁾			Викиди		
Природний газ	МДж/т рідкої сталі	44 – 730	Пил ^{(7), (8)}	г/т рідкої сталі	14 – 143
Електроенергія	МДж/т рідкої сталі	35 – 216	Cr ⁽⁷⁾	г/т рідкої сталі	0,01 – 0,075
Коксовий газ	МДж/т рідкої сталі	0 – 800	Fe	г/т рідкої сталі	45,15
Доменний газ	м ³ /т рідкої сталі	1,84 – 17,6	Su ⁽⁷⁾	г/т рідкої сталі	< 0,01 – 2,72
			Pb ⁽⁷⁾	г/т рідкої сталі	0,17 – 0,98
Загальна пара	МДж/т рідкої сталі	13 – 150	Mn ⁽⁷⁾	г/т рідкої сталі	0,3 – 1,56
Стиснене повітря	нм ³ /т рідкої сталі	8 – 26	NO _x	г/т рідкої сталі	8,2 – 55 (100)
Вода	м ³ /т рідкої сталі	0,8 – 41,7	CO ⁽¹⁰⁾	г/т рідкої сталі	393 – 7200 (18 000)
			CO ₂ ⁽¹¹⁾	кг/т рідкої сталі	22,6 – 174
			РАH ⁽¹²⁾	мг/т агломерату	10
			PCDD/F	мкг I-TEQ/т рідкої сталі	0,043 – 0,094
			Залишки виробництва (відходи/побічні продукти)		
			Шлак від десульфурації	кг/т рідкої сталі	3 – 40
			Конвертерний шлак	кг/т рідкої сталі	85 – 165
			Шлак від позапічної обробки сталі	кг/т рідкої сталі	9 – 15
			Виплескування	кг/т рідкої сталі	2,8 – 15
			Пил	кг/т рідкої сталі	0,75 – 24
			Шлак від безперервної розливки	кг/т рідкої сталі	4 – 5,7
			Прокатна окалина	кг/т рідкої сталі	2,3 – 7,7
			Порожня порода	кг/т рідкої сталі	0,05 – 6,4
			Стічні води	м ³ /т рідкої сталі	0,3 – 6

(1) Сума продуктів (сляби, блюмси, заготовки або злитки). Деякі конвертери працюють із машинами для безперервної розливки слябів у поєднанні з машинами для безперервного розливу блюмсів, заготовок або розливки злитків. Вихід нормується до 1 000 на завод (установку).

(2) Можна розрізняти розплавлений чавун із високим вмістом фосфору (1,5 – 2,2 % P) і низьким вмістом фосфору (0,08 – 0,25 % P)

(3) Найчастіше в результаті роботи BOF одержують сляби (цей сорт виробляється найчастіше). Продукція з великою довжиною, така як заготовки і блюмси, дуже часто виготовляється після виплавки в EAF.

(4) Нуль в разі, коли конвертерний газ не утилізується.

(5) Важливими легувальними добавками (матеріалами) є Fe-Ti, Fe-W, Fe-Ni, Fe-V, Fe-Si та Fe-Mo.

(6) Високі значення в разі неповного доспалення та утилізації тепла відхідних газів у вигляді пари і гарячої води, нуль в разі кількісної утилізації конвертерного газу без будь-якої утилізації тепла (без генерації пари).

(7) Високі значення в разі менш ефективного вторинного знепилювання.

(8) Загалом, інформації про PM₁₀ і PM_{2,5} зараз немає.

(9) Широкий діапазон енергії, що надходить, показує відмінність методів управління енергією в різних місцях

(10) Повідомляють про широкий діапазон внаслідок різних видів утилізації газу.

Інформація про визначення даних типу методів відбору проб, методів аналізу, розрахунків та порівняльних умов в достатній кількості відсутня. Дані в таблиці є середньорічними значеннями і стосуються 2004 року. Дані щодо викидів відображають ситуацію після очищення і включають первинну і вторинну вентиляцію.

(11) Високі значення в разі часткового і повного спалювання конвертерного газу – орієнтовні значення. Викиди залежать також від надходження енергії та індивідуальних значень по енергії та матеріалах.

(12) РАH як Borneff 6, дані є лише для однієї установки. Примітка: — LS = рідка сталь (необроблена сталь).

— Значення між дужками представляють особливі умови або аномальну ситуацію. Вони не вважаються репрезентативними для роботи кисневих конвертерів.

Джерело: [200, Єврокомісія, 2001] [234, Польща, 2007] [359, Нідерланди, 2007] [363, Eurofer, 2007] [365, Eurofer, 2007] [372, чеський член ТРГ, 2008].

7.2.2 Екологічні проблеми для виробництва сталі в кисневому конвертері

Процес виробництва сталі в кисневому конвертері є переважним джерелом викидів пилу, утворення твердих відходів/побічних продуктів і стічних вод. Коли застосовуються методи очищення для зниження викидів, відбуваються взаємодії між середовищами. Зазвичай, п.п. 7.2.2.1 – 7.2.2.4 описують найважливіші екологічні проблеми в процесі виплавки сталі в кисневому конвертері [363, Eurofer, 2007].

7.2.3.1 Викиди у повітря

Викиди пилу в повітря від всіх нижчезгаданих процесів/джерел викидів були підсумовані в табл. 7.3 у попередньому розділі.

У табл. 7.4 показані інші забруднювачі повітря, не зазначені в табл. 7.3..

Таблиця 7.4: Інші забруднювачі повітря

Забруднювач повітря	Викиди (мг/т рідкої сталі)
SO _x	3 790 – 13 400
HF	116 – 760
CH ₄	215
Cd	200 – 2 316
Ni	572 – 2 316
Zn	66 154
Примітка: Значення відповідають двом конвертерам в ЄС. Джерело: [234, Польща, 2007].	

Залежно від якості брухту, що використовується, у викидах від завантаженого брухту можуть перебувати інші органічні забруднювачі, такі як РСВ і хлорбензол, в результаті термічного руйнування органічних матеріалів (масла, фарби, мастильні засоби або пластмаси). Немає даних про викиди цих забруднюючих речовин. Натомість, було б доцільно провести перевірку цих викидів, а також баланс виявлених токсичних речовин. На основі даних про матеріальні потоки, викиди у повітря відбуваються на наступних стадіях процесу.

Попередня обробка рідкого чавуну:

- переливання з ковша в ківш і скачування шлаку;
- десульфурація рідкого чавуну. Робота кисневого конвертера:
- завантаження конвертера;
- продування конвертера киснем (утворення конвертерного газу);
- розливання рідкої сталі та шлаку з конвертера.

Позапічна обробка сталі:

- операції випуску сталі (тобто ковші, ковші-печі, конвертери та інше обладнання, що використовується при позапічній обробці сталі);
- дегазація;
- підігрів вогнетривів (ковша, проміжного розливного пристрою, дегазатора);
- поводження з добавками.

Розливка:

- злитки або безперервна розливка.

Розсіяні викиди:

- розсіяні викиди відбуваються протягом усіх вищезазначених процесів, коли відхідні гази не повністю уловлюються.

Зазвичай конвертерні гази (гази конвертера) вважаються основними газами. Подальше видалення і знепилювання розглядаються як основна система знепилювання.

Викиди від всіх інших джерел, пов'язані з вищезазначеними процесами виплавки сталі в кисневому конвертері, зазвичай розглядаються як вторинні гази і викиди системи вторинного знепилювання. Іноді викиди від попередньої обробки рідкого металу видаляються і очищуються окремо. Вони зазвичай є частиною системи вторинного знепилювання.

7.2.3.1.1 Викиди від попередньої обробки гарячого металу

Протягом переливання з ковша в ківш і скачування шлаку відбуваються викиди пилу. У викидах у повітря від процесу десульфурації, подальшого відділення шлаку і зважування утворюється до 10 000 мг/нм³ або 1 000 г/т сталі [19, ЕС BOF, 1995] [76, Кьолер, 1995]. Ефективний збір викидів від попередньої обробки гарячого металу може бути досягнутий протягом цих процесів за допомогою застосування належних парасольок і пилозахисних кожухів. Відхідні гази згодом очищуються за допомогою мокрих скрубєрів або будь-яких інших систем знепилювання з такою самою ефективністю видалення, як у рукавних фільтрів або електрофільтрів (вторинні або окремі системи знепилювання) [363, Eurofer, 2007].

Коли пил ефективно видаляється і згодом проходить через рукавний фільтр (або електрофільтр), можна досягти рівня викидів менше 10 мг/нм³ (близько 1 г/т рідкої сталі).

У деяких випадках карбід кальцію використовується в процесі десульфурації. В ситуаціях, коли вода використовується для цілей охолодження, щоб запобігти викидам пилу, спостерігалися важкі проблеми із запахами. Причиною цього було утворення H₂S та органічних сульфідів, які, ймовірно, з'являються під час реакції сірки із залишковим карбідом. Шляхом використання оксиду кальцію замість карбиду кальцію можна охолоджувати шлак на повітрі при значно менших проблемах із запахом.

На одній установці викиди SO₂ безперервно контролювалися. У 2006 році щодобові значення викидів SO₂ знаходилися в діапазоні від 20 до 100 мг/нм³ (див. рис. 7.21). Близько 85 % півгодинних середніх значень SO₂ були нижче 100 мг/нм³ (порівняльний період із січня по травень 2005 року); проте одиничні значення були значно вище (до 340 мг/нм³) [277, Вісенбергер, 2007].

7.2.3.1.2 Викиди при роботі кисневих конвертерів

Викиди при роботі кисневих конвертерів відбуваються протягом:

- завантаження конвертера;
- продування конвертерів киснем;
- викидів металу протягом кисневої продувки;
- випуску рідкої сталі та шлаку з конвертера.

Викиди при завантаженні, продуванні, викидах металу протягом продувки конвертера і випуску рідкої сталі та шлаку є особливо важливими, і вони тут описані більш докладно.

Допоміжна вентиляція та системи знепилювання при роботі конвертера

Пил викидається протягом усіх вищезазначених процесів, таких як завантаження брухту та заливка рідкого чавуну, продування кисню і протягом випуску з конвертера. Під час операцій завантаження або випуску конвертер нахилиється. «Допоміжна вентиляція» і система знепилювання часто встановлюються для зменшення викидів пилу, що відбуваються.

Система допоміжної вентиляції зазвичай складається з витяжного накриття вище конвертера в похилому положенні та кожуха навколо інших $\frac{3}{4}$ конвертера. Протягом продувки допоміжна система видаляє більшу частину викидів, які вловлюються основною системою вентиляції. Подальше очищення газів, що видаляються, зазвичай виконується з використанням рукавного фільтра або електрофільтра.

Основна вентиляція та системи знепилювання при роботі конвертера

Протягом продувки кисню конвертерний газ виділяється з конвертера. У цьому газі міститься монооксид вуглецю (CO) і велика кількість пилу (складається переважно з оксидів металу, включаючи важкі метали), порівняно невелика кількість оксидів сірки (SO₂) і оксидів азоту (NO_x). Крім того, відбувається викид дуже невеликих кількостей PCDD/F та ПАХ (див. табл. 7.3).

Зазвичай можна використовувати дві системи для утилізації енергії з конвертерного газу:

- часткового/повного спалювання;
- неповного доспалення.

В системі повного (або відкритого) спалювання технологічний газ із конвертера спалюється в газоході. Отвір між піччю конвертера та первинною (або конвертерною) вентиляцією забезпечує надходження навколишнього повітря і в такий спосіб забезпечує часткове або повне спалювання конвертерного газу. В цьому випадку в технологічному газі міститься близько 15 – 20 кг пилу на тонну рідкої сталі та приблизно 7 кг монооксиду вуглецю на тонну рідкої сталі. Енергія утилізується шляхом використання фізичного тепла цього газу в котлі-утилізаторі. Відзначимо, що системи відкритого спалювання характеризуються великою питомою витратою (500 – 1 000 нм³/т рідкої сталі), порівняно із системами неповного доспалення (50 – 100 нм³/т рідкої сталі). Це пов'язано із введенням повітря в газохід конвертерного газу.

Коли застосовується неповне спалювання, висувна «спідниця» з водяним охолодженням опускається над горловиною перетворювача. В такий спосіб придушується згоряння димових газів у газоході, та монооксид вуглецю може бути відновлений. Відсутність азоту (враховуючи те, що повітря виключене) означає, що можливі вищі швидкості продування киснем, і в такий спосіб час процесу зменшується.

Обраний тип утилізації впливає на викиди.

Конвертерний газ слід класифікувати як низькокалорійний газ із погляду його теплотворної здатності й числа Воббе, але він належить до групи висококалорійних газів із погляду його параметрів горіння (і, зокрема, його температури згоряння). Склад конвертерного газу змінюється залежно від процесу, що використовується, методу утилізації, зокрема від обсягу кисню (див. табл. 7.5).

Таблиця 7.5: Склад і характеристики конвертерного газу

Параметр	Одиниці вимірювання	Середнє значення	Діапазон значень ⁽¹⁾
Склад			
CO	об.-%	72,5	55 – 80
H ₂	об.-%	3,3	2 – 10
CO ₂	об.-%	16,2	10 – 18
N ₂ + Ar	об.-%	8,0	8 – 26
Характеристики			
Щільність	кг/нм ³	1,33	1,32 – 1,38
Нижча теплотворна здатність	кДж/нм ³	9 580	7 100 – 10 100
Теоретична температура факела	°C	2 079 ⁽²⁾	

Питоме споживання повітря (вологого)	нм ³ /нм ³	1,81	1,34 – 1,90
Питома кількість відхідних газів (вологих)	нм ³ /нм ³	2,43	
(1) Дані по газоподібним продуктам згоряння стосуються умов після конвертера в газгольдері при температурі 15 °С, тиску 60 мілібар, барометричному тиску 1 013 Па та вологості 100 %.			
(2) При загальній вологості і 0 °С			
Джерело: [200, Єврокомісія, 2001].			

На рис. 7.11 показаний збір конвертерного газу в разі неповного доспалення. Він ілюструє як зміст СО в конвертерному газі, який є ключовим параметром для використання, змінюється в часі. З урахуванням низького вмісту СО та з причин безпеки конвертерний газ, що утворюється на початку і в кінці продувки (кілька хвилин в обох випадках), не збирається, але спалюється на свічці після знепилювання [363, Eurofer, 2007].

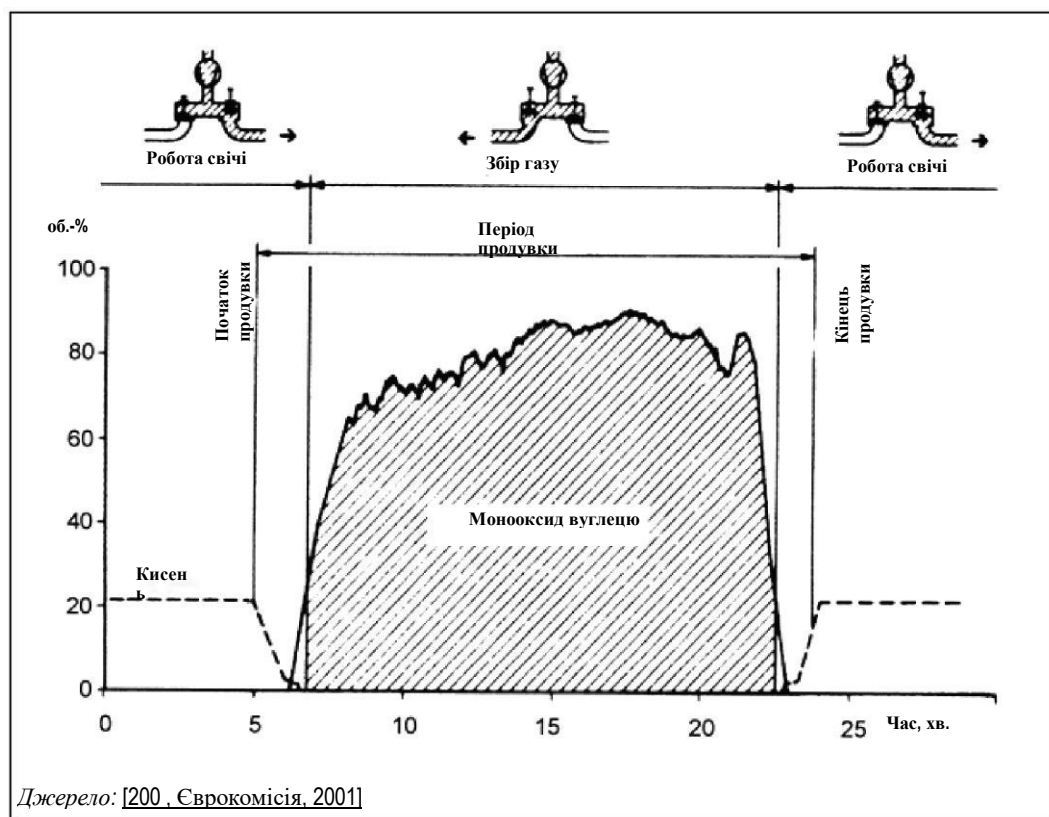


Рис. 7.11. Збір конвертерного газу в разі неповного спалювання

Пил зазвичай видаляється з конвертерного газу за допомогою скрубєрів Вентурі, але також за допомогою сухих або мокрих електрофільтрів. Коли використовується неповне спалювання конвертерного газу, за допомогою скрубєрів Вентурі можна досягти концентрації пилу 5 – 10 мг/нм³ в мережевому газі (можливі також вищі концентрації, до 50 мг/нм³ залежно від розподілу твердих частинок за розмірами). Це відповідає 1 г/т рідкої сталі. Вміст заліза у пилу, що утилізується, становить 42 – 75 %. Пил у газорозподільчій мережі видаляється на ділянці спалювання газу [363, Eurofer, 2007]. До і після продувки порівняно невеликі кількості зібраних відхідних газів спалюються на свічці, як це показано на рис. 7.11 і рис. 7.23.

При використанні повного спалювання викиди пилу в атмосферу знаходяться в діапазоні 25 – 100 мг/нм³ після очищення.

Через набагато більші витрати відхідних газів при відкритому спалюванні це відповідає викидам пилу до 180 г/т рідкої сталі. У табл. 7.6 підсумовано викиди у повітря від BOF при неповному спалюванні після очищення.

Таблиця 7.6: Питомі значення викидів у повітря від кисневого конвертера з неповним спалюванням CO після очищення, якщо немає інших вказівок

Компонент		Питомі викиди	Одиниці вимірювання
Витрата газу (конвертерного) при роботі основної вентиляції	Витрата газу (конвертерного) при роботі основної вентиляції	65 000 – 300 000	нм ³ /год
	Повне спалювання	500 – 1 000	нм ³ /т рідкої сталі
	Неповне спалювання	50 – 120	нм ³ /т рідкої сталі
Пил від продувки кисню	Без очищення	15 – 20	кг/т рідкої сталі
	Після первинного знепилювання (газ BOF)	0,3 – 55	г/т рідкої сталі
	Пил із фільтра/шлам	12 – 23	кг/т рідкої сталі
Витрата для допоміжної вентиляції		1 300 – 4 800	нм ³ /т рідкої сталі
		300 000 – 3 441 000	нм ³ /год
Пил від завантаження та зливу	Без очищення	200 – 1 000	г/т рідкої сталі
	Після вторинного знепилювання	2 – 60	
	Не вловлено під час закриття	8 – 120	
Пил від вторинного знепилювання	Пил із фільтра/шлам	0,1 – 1,2	кг/т рідкої сталі
(Важкі) метали	Al	0,60 – 0,68	г/т рідкої сталі
	As	0,00 – 0,02	
	Cd	0,07 – 0,20	
	Cr	0,00 – 0,04	
	Cu	0,04	
	Fe	2,8 – 83	
	Hg	0,00 – 0,02	
	Mg	1,45 – 2,40	
	Mn	2,7 – 60	
Pb	1,5 – 2,9		
Zn	8,2		
Оксиди сірки (SO ₂)		0,4 – 5,5	г/т рідкої сталі
Оксиди азоту (NO _x)		5,0 – 20	г/т рідкої сталі
Монооксид вуглецю (CO)		7,0 – 16	кг/т рідкої сталі
Фторид водню (*)		0,008 – 0,01	г/т рідкої сталі
РАН (Borneff 6)		0,08 – 0,16	мг/т агломерату
PCDD/F		< 0,001 – 0,11	мкг I-TEQ/т рідкої сталі

(*) Коли плавиковий шпат (CaF₂) додається як флос під час десульфурації гарячого металу, викиди фторидів можуть бути набагато вищими.
Примітка: LS = (Неочищена) рідка сталь.
Джерело: [65, InfoMil, 1997] [365, Eurofer, 2007] [372, чеський член ТРГ, 2008].

Відзначимо, що існують відмінності між неповним спалюванням і повним спалюванням; на деяких заводах використовують повне спалювання, в той час як на інших заводах використовують часткове неповне спалювання, а на інших заводах все ще повністю придушується спалювання конвертерного газу. У деяких випадках конвертерний газ не утилізується, а спалюється на свічці. Однак неповне спалювання і подальша утилізація конвертерного газу є найпоширенішим процесом. У разі неповного спалювання потрібен великий газгольдер для безперервного використання із контрольованою якістю конвертерного газу. Повинно бути також місцеве використання утилізованого газу. Відсутність вищезазначених попередніх умов пояснює, чому все ще є сталеплавильні цехи з кисневими конвертерами в ЄС, на яких не утилізується конвертерний газ [363, Eurofer, 2007].

Фурменний отвір є важливим аспектом викидів пилу. Через те, що киснева фурма повинна бути висувною, пил в газоході відхідних газів може проскакувати через фурменний отвір і досягати атмосфери будівлі. Цим викидам можна запобігти за допомогою екранів та продувки парою або інертним газом. Викиди РАН можна знизити за допомогою вогнетривів без смоли.

7.2.3.1.3 Інші джерела викидів у процесі виробництва сталі в кисневих конвертерах, включаючи позапічну обробку сталі та безперервну розливку

Інші викиди в кисневому конвертері, згадані в пп. 7.2.2.1.1 та 7.2.2.1.2, відходять протягом таких операцій:

- операції випуску сталі (тобто ковші, ковші-печі, конвертери та інше обладнання, що використовується при позапічній обробці сталі);
- дегазація;
- підігрів вогнетривів (ковша, проміжного розливного пристрою, дегазатора);
- поводження з добавками;
- безперервна розливка.

Деякі з вищезгаданих процесів пов'язані з допоміжною вентиляцією і системою знепилювання.

Викиди пилу від різних процесів знаходяться в діапазоні 1 – 275 г/т рідкої сталі [38, EUROFER BOF, 1997]. Викиди в повітря після очищення знаходяться в діапазоні 0,1 – 50 г/т рідкої сталі.

Що стосується виробництва сталі, яка містить свинець (див. п. 7.3.2.3), то викиди відбуваються протягом додавання свинцю в ківш, в якому знаходиться рідка сталь. Утворені гази відсмоктуються і зазвичай очищуються в рукавному фільтрі, призначеному саме для цих відхідних газів, що допомагає досягти залишкового вмісту пилу (<5 мг/нм³). Але ківш сам собою не є газошільним, отже, також відбуваються розсіяні викиди, що не вловлюються, але мають суттєве значення. Інформації про питомі витрати і викиди свинцю немає. Такі викиди свинцю є типовими для конвертерів для сортового прокату зі сталей, легованих свинцем, для вирубних пресів із числовим програмним керуванням [363, Eurofer, 2007].

7.2.3.1.4 Розсіяні викиди з кисневих конвертерів

Розсіяні викиди характерні для всіх вищезазначених процесів, коли викиди не повністю вловлюються. Розсіяні викиди характерні для всіх вищезазначених процесів, коли викиди в повному обсязі вловлюються. Розсіяних викидів слід у всіх випадках уникати. З цієї причини, зокрема, повинна бути оптимізована робота первинного і вторинного видалення. Зазвичай потік, що видаляється, в системах вторинного знепилювання буває досить високим. Ефективним заходом для запобігання або зниження розсіяних викидів і для обмеження необхідних потоків, що видаляються, є вловлювання викидів якомога ближче до джерела викидів. Додатковий пристрій у даху зазвичай вважається менш економічним варіантом, ніж видалення у джерела. Але, як уже згадувалося, не завжди можливо вловлювати весь пил; тому система відводу пилу під дахом може бути ефективним варіантом з екологічного погляду, для того щоб знизити загальні викиди від металургійного заводу.

Як видно в табл. 7.7, великі обсяги газу повинні очищуватись із порівняно низькими концентраціями викидів. Однак по всьому світу тільки на декількох заводах застосовується відведення пилу під дахом.

Розсіяні викиди твердих частинок частково відкладаються у виробничих цехах або видаляються через отвори в даху від відкритих дверей і вікон.

Нині немає стандартизованого способу вимірювання викидів для дахів (так званих ліхтарних викидів), в зв'язку з чим оцінка цих викидів варіюється дуже широко. У табл. 7.7 представлені результати вимірювань відповідно до методики VDI 2463, частина 7 (Спілка німецьких інженерів), або дані щодо викидів пилу в районі даху.

Розділ 7

Хоча використовувалась ефективна система допоміжної вентиляції і система знепилювання із парасолом, розташованим поблизу джерел викидів, при потоці, що відводиться, з витратою 300 000 – 1 000 000 м³/год, значна кількість пилу все ще викидалася через отвори в даху. Щодо середньої виплавки сталі, питомі викиди пилу становили приблизно 100 г/т. Загалом, викиди через дах оцінюються в діапазоні 8 – 120 г/т нерафінованої рідкої сталі. Деякі умови процесу, наприклад бризки металу з конвертера можуть тимчасово призвести до підвищених значень викидів. Реальні викиди значно залежать від ефективності вловлювання і послідовності завантаження брухту та заливання розплавленого чавуну [363, Eurofer, 2007].

Таблиця 7.7: Вимірювання ліхтарних викидів пилу з кисневого конвертера

Одиниці вимірювання	PM ₁₀ (мг/м ³)	Загальний пил (мг/м ³)	Витрата газу (м ³ /год)	Загальний масовий потік пилу (кг/год)
Дах над приміщенням для шихтопідготовки ⁽¹⁾				
Отвір у даху 1	1,8	3,7	1 112 000	4,1
Отвір у даху 2	1,5	4,4	1 199 000	5,3
Отвір у даху 3	2,2	4,5	1 089 000	4,9
Середнє:	1,8	4,2		
Усього:			3 400 000	14,3
Дах над конвертерним цехом				
Отвір у даху 1 (з двома працюючими конвертерами)	NA	2 – 13	1 430 000– 2 120 000	5 – 26
Середнє з 10 середньодобових значень	NA	7,2	1 980 000	14,3
Отвір у даху 1 (з одним працюючим конвертером)	NA	2 – 22	1 430 000– 2 120 000	5 – 46
Середнє з 10 середньодобових значень	NA	11,3	1 980 000	23,4
⁽¹⁾ Вимірювання проводилися в липні та серпні 2005 року згідно з VDI 2463, частина 7. Примітка: – Це були безперервні вимірювання протягом 10 днів для будівлі конвертера. Для приміщення шихтопідготовки було відібрано тільки 6 годинних проб за два дні. – NA = Немає даних. Джерело: [151, компанія TÜV Süd Industrie Service GmbH, 2005]				

Як повідомлялося, у випадку одного конвертерного цеху, де не було системи вторинного знепилювання, розсіяні викиди пилу протягом переливання з ковша в ківш на розливному майданчику склали 4 т на рік, а протягом заливання чавуну та зливу сталі з одного конвертера – 56 т на рік [359, Нідерланди, 2007].

7.2.3.2 Стічні води

[363, Eurofer, 2007]

Вода використовується для таких цілей:

- як скруберна вода від очищення конвертерного газу
- як скруберна вода від мокрого знепилювання та десульфурації
- як вода від створення вакууму
- як вода від прямого охолодження для безперервної розливки або розливання у злитки.

Для оптимізації використання стічних вод на металургійному заводі з повним циклом поодинокі потоки можуть бути змішані та згодом очищені разом (див. п. 2.4). У таких випадках інформація про склад стічних вод від одиначної виробничої стадії відсутня [363, Eurofer, 2007].

Стічні води від очищення конвертерного газу

Конвертерний газ очищується або мокрим, або сухим способом. У разі мокрого очищення зазвичай утворюються стічні води, які піддаються рециклінгу після очищення. Це очищення дуже часто виконується у дві стадії: відділення великих часток (розмір часток > 200 мкм) з подальшим осадженням в радіальних відстійниках. Додаються флокулянти для поліпшення осадження.

Мета електричної флокуляції полягає у видаленні невеликих частинок і тих, що повільно осідають, за допомогою електричного поля. Для частинок однакової полярності характерна тенденція відштовхуватись одна від одної, внаслідок чого сповільнюється процес осадження. У разі електричної флокуляції поверхня частинок розряджається, коли вони проходять через електричне поле, що дає можливість їх скупчення.

Система електричної флокуляції складається з декількох сегментів, які встановлені в середині відстійника поблизу входу стічних вод. Кожен сегмент складається з одного анода і чотирьох катодних трубок. Постійний струм проводиться від анода до катодів через стічні води, і в такий спосіб створюється електричне поле.

Ємність (електрична) відстійника помітно зростає, і немає необхідності в хімічній флокуляції. Процес характеризується також ефектом протидії відкладенням, завдяки чому запобігають осадженню частинок на поверхнях відстійника [363, Eurofer, 2007].

Шлам зневоднюється за допомогою обертових вакуумних фільтрів, камерних фільтр-пресів або центрифуг. Немає репрезентативних даних щодо витрати і якості очищених стічних вод після підживлення.

Стічні води від створення вакууму

Для вакуумної обробки типова питома витрата технічної води від створення вакууму знаходиться в діапазоні від 5 до 8 м³/т рідкої сталі. В декількох випадках питома витрата технічної води буває вище, в одному випадку 41 м³/т рідкої сталі (див. табл. 7.3). Ця вода майже повністю піддається рециклінгу. Слід згадати, що не вся рідка сталь повинна піддаватися вакуумній обробці. Тому середньозважений загальний вихід стічних вод від вакуумної обробки становить 1,3 м³/т рідкої сталі. Даних про склад та очищення або рециклінг немає [140, Eurofer, 2009] [363, Eurofer, 2007] [365, Eurofer, 2007]. Зазвичай ці стічні води очищуються разом з іншими потоками від прокатних станів, коли вони знаходяться в безпосередній близькості.

Стічні води від безперервної розливки

Викиди від безперервної розливки утворюються при роботі системи безпосереднього охолодження. Ця вода використовується для безпосереднього охолодження слябів, блюмсів, заготовок і машин безперервної розливки. Стічні води містять вторинну окалину (1 – 3 г/л) та масла/жир. Ця вода дуже часто очищується разом зі стічними водами від прокатних станів, коли вона знаходиться в безпосередній близькості від них. Кількість стічних вод значно залежить від місцевих умов і управління водою. Питома витрата води для безперервної розливки становить зазвичай від 5 до 35 м³/т рідкої сталі [72, N.N., 2005]. Кількість стічних вод, яка може з'явитися при безперервній розливці, становить до 2 м³/т рідкої сталі.

7.2.3.3 Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти

Різні тверді залишки від процесу виплавки сталі в кисневих конвертерах представлені з їхніми питомими кількостями в табл. 7.8 [363, Eurofer, 2007] в рамках обстеження європейських виробників сталі.

Таблиця 7.8: Вид і питома кількість твердих залишків від кисневих конвертерів

Утворені тверді залишки (відходи / побічні продукти)	Питома кількість (діапазон) (кг/т рідкої сталі)
Шлак від десульфурації	3 – 21
Конвертерний шлак	85 – 165
Шлак від позапічної обробки сталі	9 – 15
Шлак від безперервної розливки	4,0 – 5
Бризки металу	2,8 – 15
Дрібний та грубий пил	0,75 – 24
Прокатна окалина від безперервної розливки	2,3 – 6,4
Порожня порода	0,05 – 6
Примітка: LS = рідка сталь. Джерело: [363, Eurofer, 2007] [365, Eurofer, 2007].	

З табл. 7.8 можна отримати такі процентні частки: конвертерний шлак: приблизно 80 %, шлак від десульфурації: приблизно 10 %, шлак від позапічної обробки сталі: приблизно 7 % і шлак від безперервної розливки: приблизно 3 % [363, Eurofer, 2007].

На конвертерний шлак припадає найбільша частка, як показано в табл. 7.9.

Таблиця 7.9: Утворення конвертерного шлаку та шлаку від позапічної сталі

Види шлаків	Кількість (тис. т)	(%)
Конвертерний шлак	9 424	87,3
Шлак від позапічної обробки сталі, включаючи шлак від десульфурації та від позапічної обробки	1 368	12,7
Усього	10 792	100
Примітка: Дані за 2004 рік стосуються таких країн-членів ЄС: Австрії, Бельгії, Німеччини, Данії, Іспанії, Франції, Фінляндії, Люксембургу, Нідерландів, Швеції, Словаччини. Джерело: [174, Euroslag, 2006].		

Шлак від десульфурації

Шлак від десульфурації є гетерогенним шлаком, який тільки частково розплавлений. Склад цього шлаку значно залежить від агентів, що використовуються для десульфурації. Приклад складу такого шлаку представлений в табл. 7.10.

Таблиця 7.10: Хімічний склад шлаку від десульфурації гарячого металу

Параметр	Концентрація, % за масою	Параметр	Концентрація, % за масою
CaO	27,0	MnO	≤0,5
SiO ₂	18,0	P ₂ O ₅	≤0,2
Al ₂ O ₃	8,0	Cr ₂ O ₃	≤0,1
MgO	10,0	Вільний CaO	≤5
Загальне Fe	20,0	S	≤4
Металеве Fe	15,0	CaO/SiO ₂	1,5
Джерело: [363, Eurofer, 2007].			

Порівняно високий вміст сірки і незадовільні механічні властивості не дають шлаку для десульфурації змогу стати ідеальним шлаком для повторного використання. Він зазвичай піддається рециклінгу в суміші агломераційної шихти на металургійних заводах із повним циклом або частково використовується при будівництві полігонів, але не використовується при будівництві захисних бар'єрів. Він також піддається полігонному депонуванню (див. рис. 7.12) [363, Eurofer, 2007]. Нові дослідження продемонстрували, що шлак може використовуватись як поліпшувач ґрунту, що містить сірку, а це може надати нове застосування для цього виду шлаку.

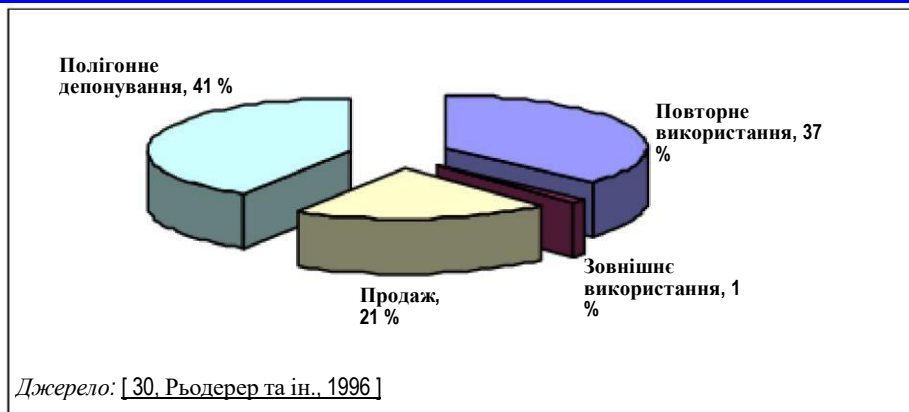


Рис. 7.12. Види використання шлаку від десульфурації металу в ЄС

Конвертерний шлак

Хімічний склад конвертерного шлаку залежить від процесу, що використовується (див. табл. 7.11).

Таблиця 7.11: Приклади хімічного складу конвертерного шлаку

Процес	LD-AC	LD1	LD2	LD3	LD4
CaO	50,0	50,0	52,4	51,4	44,2
Вільний CaO	≤7	≤10	8,2	4,8	<0,2
SiO ₂	9,0	15,0	12,6	14,8	23,7
CaO/SiO ₂	4	2,5			
Al ₂ O ₃	≤2	≤2	1,6	1,3	1,6
MgO	≤3	≤3	3,1	4,1	2,1
Загальне Fe	12,0	16,0			
Металеве Fe	≤1	≤1			
FeO			12,6	12,7	12,2
Fe ₂ O ₃			11,7	10,8	11,6
MnO	2,0	≤4	4,3	4,9	2,4
Cr ₂ O ₃	≤1	≤1	0,4	0,31	0,16
TiO ₂			0,5	0,9	0,7
V ₂ O ₃			0,33	0,29	0,12
P ₂ O ₅	15,0	≤2			

Примітка: — Значення наведені у %-ваг.
 — LD-AC = Linz-Donavitz-Arbed-CRM процес.
 — LD = процес Linz-Donavitz (чотири приклади).
 Джерело: [46, Гайзелер, 1991] [363, Eurofer, 2007] [365, Eurofer, 2007] [385, Малмберг та ін., 2005].

Мінеральний склад цих шлаків різний і залежить від конкретних умов, як показано в табл. 7.12.

Таблиця 7.12: Три приклади діапазону мінеральних складових конвертерного шлаку

Мінерал	Силікат трикальцію	Силікат дикальцію	Дикальцій – оксид заліза	Шпінелі	Вюстит	Вапно
Формула:	3 CaO·SiO ₂	2 CaO·SiO ₂	2 CaO·Fe ₂ O ₃	MeO·Me ₂ O ₃	FeO	CaO
LD шлак 1	0	40	30	0	20	10
LD шлак 2	20	35	25	0	15	5
LD шлак 3	0	70	0	20	10	0

Примітка: Значення наведені у %-ваг.
 Джерело: [365, Eurofer, 2007].

Велика частина конвертерного шлаку використовується в дорожньому будівництві як нижній шар покриття, в асфальтових сумішах і при будівництві водних каналів (гідротехнічних споруд, наприклад для стабілізації берегів). Але деяка частина конвертерного шлаку все ще депонується на полігонах внаслідок ринкових умов.

Цей шлак може також частково використовуватись як джерело вапна у суміші агломерату або безпосередньо в шихті доменної печі або також у шихті кисневого конвертера (внутрішнє використання). Цей варіант використання частково обмежений внаслідок обмеженої кількості фосфору, що дозволяється в гарячому металі. Значна кількість шлаку все ще використовується як добриво та агент для вапнування внаслідок порівняно високого вмісту вільного вапна [363, Eurofer, 2007].

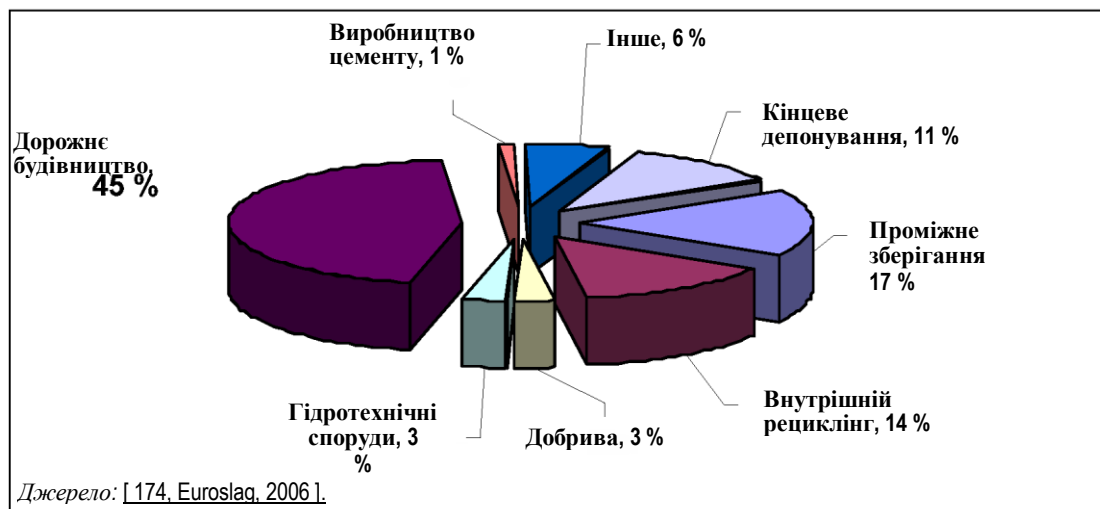


Рис. 7.13. Використання конвертерного шлаку в Європі у 2004 році

Шлак від позапічної обробки сталі

Склад шлаку від позапічної обробки сталі суттєво різниться, і можна очікувати широкий діапазон складів, оскільки він залежить від технології виробничого процесу і від виду одержуваної сталі.

Шлак від позапічної обробки сталі представляє невелику частку залишків у сталеплавильних цехах, як показано в табл. 7.9..

Мінеральний склад вторинних шлаків різний і залежить від умов виробництва. У табл. 7.14 наведено діапазон складу шлаків від позапічної обробки сталі.

Таблиця 7.13: Основні мінеральні складові шлаків від позапічної обробки

Шлак від позапічної обробки сталі		
Найменування	Мінерал	Формула
Бета-силікат дикальцію	Ларніт	v-Ca ₂ SiO ₄
Гамма-силікат дикальцію	Інгесоніт	w-Ca ₂ SiO ₄
Силікат кальцію і магнію	Бредигіт	Ca ₇ Mg(SiO ₄) ₄
Силікат і фторид кальцію	Куспидін Шпінелі	Ca ₄ F ₂ Si ₂ O ₇ Me ²⁺ (Me ³⁺) ₂ O ₄
Оксид кальцію та алюмінію	Майєніт	Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃₃
Оксид магнію	Периклаз	MgO
Calcium oxide	Вапно	CaO

Примітка: Me = Поєднання металів з валентністю 2 і 3 (наприклад, Mg²⁺, Al³⁺).
Джерело: [365, Eurofer, 2007].

Таблиця 7.14: Діапазон хімічного складу шлаків від позапічної обробки

Параметр	Нижнє граничне значення (%-ваг.)	Верхнє граничне значення (%-ваг.)
CaO	20	65
FeO	0,1	20
SiO ₂	1	40
MgO	2	20
Al ₂ O ₃	0,5	40
P ₂ O ₅	<0,01	1
Mn	0,03	7,7
Ti	0,02	3
Cr	<0,01	2,6
F	<0,01	10
S загальна	<0,05	4

Джерело: [220, Eurofer, 2008].

Пил та шлак від очищення доменного газу

Пил із великими частками (грубий пил) з'являється на стадії першого знепилювання, а тонкодисперсний пил – на стадії вторинного знепилювання. Є різні системи для відділення грубого та тонкодисперсного пилу. Це можна зробити в самому процесі, наприклад за допомогою індивідуального вловлювання та поділу пилу в ході послідовних стадій знепилювання в рамках подальшого очищення пилу/шламу, наприклад грубий осад можна утилізувати у відстійнику для великих часток, а тонкодисперсні частинки – у вторинному відстійнику. Склад грубого пилу можна побачити порівняно із тонкодисперсним пилом в табл. 7.15.

Таблиця 7.15: Склад крупнодисперсного та дрібнодисперсного пилу та шламу

Параметр	Крупний (грубий) пил	Тонкодисперсний (дрібний) пил	Первинне знепилювання	Вторинне знепилювання	Шлам
Загальне Fe	30 – 85	54 – 70	38 – 85	32 – 63	48 – 70
Металева Fe	72	20	Незадовільна інформація про вміст Fe		
CaO	8 – 21	3 – 11	5,7 – 40	3,7 – 35	3,0 – 17
Zn	0,01 – 0,4	1,4 – 3,2	0,1 – 1,5 (*)	0,5 – 13	0,2 – 4,1
Pb	0,01 – 0,04	0,2 – 1,0	0,05 – 0,4	0,09 – 0,8	0,04 – 0,14
S	0,02 – 0,06	0,07 – 0,12	0,02 – 1,3	0,1 – 1,1	0,03 – 0,35
C	1,4	0,7	0,1 – 6,5	1,0 – 8	0,7 – 4,6

(*) Можливі значення до 8,5 %-ваг. Примітка: Значення наведені у %-ваг.
Джерело: [55, Харп та ін., 1990] [64, IISI, 1985] [365, Eurofer, 2007].

Грубий пил після підготовки зазвичай повертається до процесу виробництва сталі в кисневому конвертері, або він повинен піддаватися рециклінгу на агломераційну стрічку або для отримання брикетів із подальшим використанням в доменних печах. В ЄС менший відсоток направляється на полігон (див. рис. 7.14).

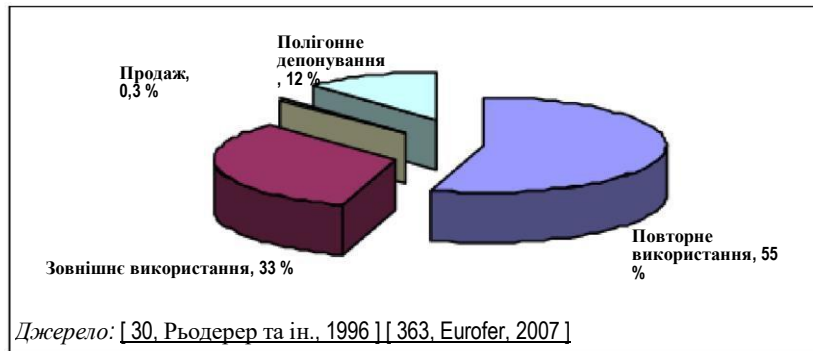


Рис. 7.14. Шляхи використання пилу від сухого очищення конвертерного газу

У табл. 7.15 зазначено, що в дрібному пилу порівняно із грубим пилом міститься значно більша кількість свинцю і цинку. Основним джерелом цих важких металів зазвичай є металобрухт, що завантажується в кисневий конвертер. У деяких випадках є можливість контролю надходження свинцю і особливо цинку з металобрухтом. Однак було відзначено, що доступність металобрухту з низьким вмістом цинку (наприклад, менше 1 %) у безперервний спосіб знижувалася протягом останніх років. Внаслідок утримання цинку менша частина дрібного пилу або шламу не може бути піддана рециклінгу, а повинна відправлятися на полігон (див. рис. 7.14) [363, Eurofer, 2007].

Шлам утворюється протягом обробки в гідроциклоні та/або при осаджуванні зважених твердих речовин в скрубєрній воді. Цей шлам може бути на 100 % підданий рециклінгу на металургійному заводі, якщо надходження цинку з металобрухтом буде строго обмежене, тобто його можна повернути на агломераційну установку або в конвертер після холодного брикетування (див. п. 2.5.4.4.4). На багатьох інших металургійних заводах світу шлами не можуть використовуватися, або використовуються поза металургійним заводом у цементному виробництві, або будуть відправлені на зберігання чи депонування.

Виплескування розплавленого металу (бризки металу)

Виплескування розплавленого металу відбувається внаслідок проливання, яке викликає надмірне вспінювання у конвертері протягом продувки. У виплесках (бризках) є високий вміст заліза, яке відділяється і піддається рециклінгу на агломераційній установці. Решта бризок у вигляді шлаку (з меншим вмістом заліза) зазвичай піддаються полігонному депонуванню [363, Eurofer, 2007].

Прокатна окалина від безперервної розливки

Діапазон варіантів складу прокатної окалини наведені в табл. 7.16.

Ці побічні продукти зазвичай піддаються рециклінгу на агломераційній стрічці [363, Eurofer, 2007].

Таблиця 7.16: Склад прокатної окалини

Параметр	Прокатна окалина
Fe загальне	33 – 72
Fe металеве	NA
CaO	0,4 – 16
C	0,1 – 0,8
Масла	На практиці вміст масел у прокатній окалині зазвичай буває <1 %. Іноді вміст може доходити до 8 %. У грубій прокатній окалині майже не міститься мастило.
Примітка: — Значення наведені у %-ваг. — NA = Немає даних. Джерело: [150, Беккер, Уім, 2008] [365, Eurofer, 2007].	

Загальна кількість пилу/шламу і прокатної окалини від киснево-конвертерного процесу складало 2,23 млн т у 2004 році (що охоплює 86 % виробництва сталі в країнах ЄС-15).

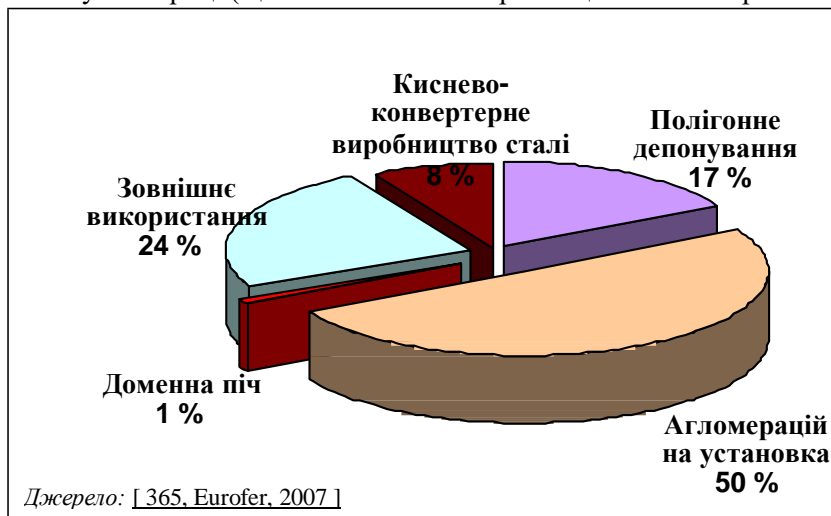


Рис. 7.15. Використання пилу/шламу та прокатної окалини від киснево-конвертерного виробництва сталі

Порожня порода (уламки)

Уламки здебільшого складаються з відпрацьованих вогнетривів. Немає репрезентативних даних про використання цих твердих відходів / побічних продуктів. На деяких металургійних заводах вони частково піддаються рециклінгу в кисневому конвертері або повторно використовуються під час виробництва нових вогнетривких матеріалів. В інших випадках вони відправляються на полігон [363, Eurofer, 2007].

7.2.3.4 Споживання енергії

Кисневий конвертер (BOF)

У кисневому конвертері паливо споживається для підігріву і сушки конвертерів після заміни футеровки і ремонту. Це споживання термічної енергії в цілому становить приблизно 0,051 ГДж/т рідкої сталі. Споживання електроенергії оцінюється в 23 кВт-год/т рідкої сталі або 0,08 ГДж/т рідкої сталі. Ці дані включають виробництво кисню та експлуатацію конвертерів.

Технологічний газ із конвертера містить велику кількість монооксида вуглецю (CO), і він гарячий. Коли утилізується енергія конвертерного газу (утилізація тепла і/або утилізація конвертерного газу), кисневий конвертер стає нетто виробником енергії. На сучасних заводах утилізація енергії може доходити до 0,7 ГДж/т рідкої сталі.

Безперервна розливка

Споживання палива для підігріву ковша, в якому знаходиться рідка сталь, оцінюється в 0,02 ГДж/т рідкої сталі. Споживання електроенергії машиною безперервного розливання сталі оцінюється в 0,04 ГДж/т рідкої сталі [65, InfoMil, 1997].

7.3 Техніки та прийоми, які слід враховувати при визначенні НДТМ

У цьому розділі описані технології (або їх поєднання) і пов'язаний із ними моніторинг, які спрямовані на досягнення високого рівня захисту навколишнього середовища в економічній діяльності у контексті тематики цього документа.

Він включає технології, інтегровані в процес, і заходи, які передбачають очищення в кінці виробничого циклу. Запобігання утворенню відходів та управління ними, включаючи мінімізацію відходів та процедури рециклінгу, також будуть розглянуті. Крім того, в документі описані технології для зниження споживання сировинних матеріалів, води та енергії.

У Додатку III до Директиви перерахований ряд критеріїв для визначення ВАТ (НДТМ), власне, інформація в цьому розділі стосується саме цих міркувань. Наскільки можливо, використана стандартна структура, наведена в табл. 7.17, для загального уявлення про інформацію, зібрану щодо кожної технології, з метою порівняння технологій та їх оцінки на основі визначення ВАТ згідно з Директивою.

Цей розділ необов'язково дає вичерпний перелік технологій, які можна застосовувати в секторі. Можуть існувати інші технології для конкретної установки, які можна було б розглянути для визначення НДТМ.

Таблиця 7.17: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі

Тип розглянутої інформації	Основний зміст інформації
Опис	Короткий технічний опис із використанням за необхідності малюнків, діаграм і технологічних схем
Екологічні переваги, яких можна досягнути	Основні потенційні екологічні вигоди, що досягаються за допомогою реалізації технології (включаючи економію енергії, води, сировини, а також зростання виходу продукції, ефективності використання енергії тощо)
Міжсередовищні наслідки	<p>Вплив на навколишнє середовище та інші середовища внаслідок реалізації технології, включаючи детальні дані щодо впливу на навколишнє середовище технології порівняно з іншими (переваги та недоліки, що підтримуються даними, якщо вони є) для оцінки впливу технології на навколишнє середовище в цілому. Це може включати такі питання, як:</p> <ul style="list-style-type: none"> • споживання сировини і води; • споживання енергії та внесок у зміну клімату; • потенціал руйнування озонового шару; • фотохімічний потенціал утворення озону; • підкислення в результаті викидів у повітря; • тверді частинки в навколишньому повітрі (включаючи мікрочастинки та метали); • евтрофікація ґрунтів і водойм (в результаті викидів у повітря або скидів у воду); • потенціал виснаження кисню у воді; • стійкі/токсичні/біоаккумуляовані компоненти у воді або ґрунті (включаючи метали); • утворення або зниження (відходів) відходів; • можливість повторного використання або рециклінгу (відходів) залишків; • шум та/або запах; • ризик аварій.
Експлуатаційні дані	Реальні технічні дані (включаючи порівняльні умови, періоди моніторингу та методи моніторингу) про рівні викидів, споживання ресурсів (сировини, води, енергії) і кількості відходів, що утворюються. Будь-яка інша корисна інформація про те, як працює, обслуговується або контролюється технологія.
Можливість застосування	Вказівка щодо типу установок або процесів, в яких технологія може або не може застосовуватись, а також обмеження для реалізації в певних випадках, з урахуванням, наприклад, віку установки (нова або наявна), факторів, пов'язаних із модернізацією (наприклад, наявність місця), розміру установки (велика або невелика), вже впроваджених технологій і типу або якості продукції.
Економічні дані	Витрати (капітальні експлуатаційні) і будь-яка можлива економія (наприклад, зниження споживання сировини або енергії, платежів за розміщення відходів) або доходи, зокрема детальний опис того, як вони були розраховані/оцінені. Економічна інформація, важлива для нового будівництва та модернізації наявних установок. Все це допомагає ідентифікувати, там, де це можливо, спільний економічний вплив технології.
Стимули для впровадження	Особливі місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи безпеки) або не екологічні механізми (наприклад, зростання продуктивності, підвищення якості продукції), які регулюють або стимулюють реалізацію технології до теперішнього часу.
Приклади установок	Посилання на установку (установки), для яких була впроваджена технологія, і по якій була зібрана інформація і використана при написанні розділу. Вказівка щодо ступеня використання технології в Європі чи у світі.
Довідкова література	Література або інший довідковий матеріал (наприклад, книги, звіти, дослідження, вебсайти), які були використані при написанні розділу і в яких міститься більш докладна інформація щодо технологій.

7.3.1 Первинне знепилювання

Опис

Під час продування кисню утворюється конвертерний газ. Цей газ містить велику кількість пилу. Коли конвертерний газ утилізується для використання як паливо (див. п. 7.3.7). Коли конвертерний газ спалюється у газоході, виділяються димові гази, і вони повинні відповідати місцевим нормам викидів. Зараз на більшості заводів конвертерний газ утилізується як паливо. У системах повного спалювання вводиться навколишнє повітря в систему із системи первинної вентиляції для спалювання конвертерного газу. Це призводить до великої питомої витрати димових газів (2 000 – 3 000 $\text{нм}^3/\text{т}$ рідкої сталі); в системах неповного спалювання утворюється тільки конвертерний газ (50 – 100 $\text{нм}^3/\text{т}$ рідкої сталі) (див. табл. 7.6). Це призводить до значних розбіжностей у розмірах системи первинного пиловловлювання. Знижена питома витрата відхідних газів, що характеризує неповне спалювання, призводить до більшої масової концентрації неочищеного газу так, що ефективність системи утилізації пилу має зрости для ідентичного навантаження очищеного газу до пилу. Тому, з погляду утилізації пилу, принцип неповного спалювання дає змогу використовувати системи пиловловлювання, призначені для менших об'ємних витрат, які, однак, можуть досягти підвищених рівнів утилізації пилу.

Первинне пиловловлювання зазвичай здійснюється за допомогою скрубєрів типу Вентурі (приблизно 60 % від усього обсягу) або сухого і мокрого електрофільтра. Перед скрубєром Вентурі або електрофільтром зазвичай видаляються грубі тверді частинки за допомогою дефлектора тощо.

Особлива увага повинна приділятися викидам пилу з отвору кисневого пилу. Викиди з цього отвору можуть досягати до 50 г/т рідкої сталі. Викиди можна зменшити за допомогою рухомого «жорна», який покриває отвір під час кисневої продувки і/або вдування інертного газу (N_2/CO_2) або пари в отвір фурми для розсіювання пилу. Інші конструкції ущільнень отвору фурми також ефективно поєднуються з пристроями для очищення фурми.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Екологічні вигоди, які досягаються для кожної з технологій первинного пиловловлювання наведені нижче:

- сухе пиловловлювання і неповне спалювання: за допомогою застосування електрофільтра залишкова концентрація пилу в конвертерному газі може бути знижена до такої малої величини як $10 \text{ мг}/\text{нм}^3$ (що еквівалентно 0,5 – 1,0 г/т рідкої сталі) і за будь-якої витрати нижче $50 \text{ мг}/\text{нм}^3$. Перед очищенням газу в електрофільтрі видаляється грубий пил у зоні відображення, а газ досягає необхідного складу у випарному охолоджувачі
- сухе пиловловлювання і відкрите спалювання: викиди пилу із конвертерним газом можуть бути знижені до 20 – 50 $\text{мг}/\text{нм}^3$
- очищення газу і неповне спалювання: спочатку застосування мокрої системи, грубі частинки видаляються у сепараторі мокрого поділу, потім видаляється дрібний пил у скрубєрах Вентурі. Концентрація пилу в конвертерному газі після газоочищення зазвичай знаходиться у діапазоні від 15 до 50 $\text{мг}/\text{нм}^3$, але може бути і менше ніж $10 \text{ мг}/\text{нм}^3$
- газоочищення і відкрите спалювання: коли конвертерний газ спалюється в газоході та очищується за допомогою скрубєрів Вентурі, залишковий вміст пилу перебуватиме у діапазоні від 10 до 50 $\text{мг}/\text{нм}^3$.

У табл. 7.18 представлені концентрації викидів, які досягаються, коли використовуються технології мокрого очищення.

Таблиця 7.18: Досягнуті концентрації викидів під час використання систем мокрого очищення

Параметр	Скрубер і мокрий електрофільтр	Скрубер
PM	32,5	<42
CO	15	2
NO _x	25	
Hg		0,002
Cd, Tl	0,003	
As, Co, Ni, Se, Te	0,02	
Pb, Cr, Cu, Mn, V	0,4	
Pb		0,3
PCDD/F	0,04	
HF	<0,5	
Примітка: Значення наведені у мг/м ³ , за винятком PCDD/F, для яких значення виражені в нг I-TEQ/м ³ . Це щорічні середні значення. Джерело: [244, Плікерт, 2007].		

Міжсередовищні наслідки

У пилу і шламах, що видаляються, можуть міститися високі концентрації цинку; отже, ускладнюється їх повторне використання. Використання брухту з низьким вмістом цинку може дати можливість рециклінгу шламів/пилу від кисневого конвертера на агломераційній установці. З використанням електрофільтрів можна проводити гаряче брикетування твердих відходів та піддавати рециклінгу брикети безпосередньо у процесі виплавки сталі (див. п. 7.3.5).

Окрім того, мокре видалення пилу пов'язане з утворенням забрудненого потоку стічних вод.

Водночас, під час роботи системи пиловидалення споживається енергія. У системі неповне спалювання це буде відповідати 0,001 – 0,005 ГДж/т сталі для скрубера Вентурі та <0,001 ГДж/т сталі для сухого електрофільтра.

У системі відкритого спалювання це буде відповідати 0,04 – 0,15 ГДж/т сталі для скрубера Вентурі та <0,005 ГДж/т сталі для сухого електрофільтра.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Первинне пиловидалення може застосовуватись як на нових, так і на наявних конвертерах. На деяких із них застосовуються сухі електрофільтри.

Економічні дані

Інвестиційні витрати для первинного пиловидалення знаходяться у діапазоні від 24 до 40 млн євро для конвертерного цеху з продуктивністю 1 млн т/рік. Експлуатаційні витрати знаходяться у діапазоні 2 – 4 євро/т сталі.

Для цього прикладу валюта була конвертована в екію у 1996 році та переглянута на євро.

Стимули для впровадження

З метою утилізації конвертерного газу за допомогою неповного спалювання необхідне очищення з високою ефективністю. У разі відсутності утилізації або утилізації за допомогою спалювання конвертерного газу, його потрібно очищувати для відповідності наявним граничним значенням викидів.

Приклади установок

Прикладами установок для різних систем пиловидалення є:

- сухий електрофільтр і неповне спалювання:
 - компанія ThyssenKrupp Steel AG, м. Дуйсбург, Німеччина
 - киснево-конвертерний цех № 3 компанії Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц, Австрія
 - компанія Voestalpine Stahl GmbH, район Донавіц міста Леобен, Австрія
 - компанія Saizgitter AG, м. Зальцгіттер, Німеччина.
- сухий електрофільтр і неповне спалювання:
 - компанія ArcelorMittal Ruhrort GmbH, м. Дуйсбург, Німеччина
- газоочищення і неповне спалювання:
 - киснево-конвертерні виробництва; багато європейських компаній, наприклад, Corus, м. Еймбойден, Нідерланди
 - компанія ArcelorMittal
 - ArcelorMittal, м. Бремен, Німеччина
 - ArcelorMittal, м. Дюнкерк, Франція
 - ArcelorMittal, муніципалітет Фос-сюр-Мер, Франція
 - ArcelorMittal, м. Флоранж, Франція
 - ArcelorMittal, м. Гент, Бельгія
 - ArcelorMittal, м. Авілес, Іспанія
 - Riva Group, м. Таранто, Італія.

Довідкова література

[19, EC BOF, 1995] [65, InfoMil, 1997] [66, Йокш, 1995] [76, Кьолер, 1995] [140, Eurofer, 2009] [241, Польща, 2007] [244, Плікерт, 2007] [363, Eurofer, 2007]

7.3.2 Вторинне знепилювання

Знепилювання вторинних викидів має місце під час таких операцій:

- переливання гарячого металу з міксерного ковшу (або міксера для рідкого чавуну) до завантажувального ковшу
- уловлювання та зниження вторинних викидів від завантаження конвертера і випуску рідкої сталі та шлаку з конвертера, і ковшів та устаткування позапічної обробки сталі (див. п. 7.3.2.1)
- попереднє підготовлення гарячого металу, таке як переливання з ковшу до ковшу, скочування шлаку і десульфурація гарячого металу (п. 7.3.2.2)
- поводження з добавками (домішками)
- розливання у злитки і безперервна розливка (п. 7.3.2.3).

7.3.3.1 Збір і придушення вторинних викидів

Опис

Аж до початку 1970-х років кисневі конвертери будувалися без обладнання для вторинного пиловловлювання. Як результат, установки для вловлювання вторинних і другорядних первинних джерел викидів були вдосконалені. Ефективність таких систем значною мірою залежала від місцевих умов. Вони відіграють особливо важливу роль, коли доводиться робити вибір і проєктувати систему утилізації (огорожі, парасолі тощо). Визначення витрати відхідних газів часто залежить від місцевих умов і від наявності площ для встановлення трубопроводів, разом із можливим розміром поперечного перерізу трубопроводів.

Як для нових, так і для наявних установок фактично неможливо заздалегідь визначити ефективність утилізації з будь-яким ступенем визначеності. Будь-які спроби оцінки додатково ускладнюються надзвичайними труднощами при вимірюванні результатів.

Навіть оптимальна конструкція і висока витрата відхідних газів для повного технічного вловлювання відхідних газів не гарантуватиме, що можна послідовно досягати 100 % уловлювання на довготривалій основі у процесі роботи кисневого конвертера. Зміна типових умов експлуатації та екологічних факторів, таких як незвичайна повітряна течія у заводських корпусах, може призвести до викиду неутілізованих потоків пилу, який буде виділятися як неминучі вторинні викиди через ліхтарі даху.

Викиди з цих джерел, пов'язані з вищезазначеними процесами виплавки сталі у кисневих конвертерах, які зазвичай розглядаються як вторинні відхідні гази, вловлюються за допомогою центральної системи допоміжної вентиляції та пиловловлювання. Іноді викиди від попередньої обробки гарячого металу, завантаження кисневого конвертера і зливу, а також систем позапічної обробки сталі відводяться й очищуються окремо; зазвичай вони є частиною системи вторинного пиловловлювання [114, Ремус, Райнер, 2008] [182, Infomil, 2009] [211, Ремус, Райнер, 2008].

Оцінки кількості вторинних викидів змінюються від 2 до 200 г/т рідкої сталі, коли ступінь уловлювання системи вторинного пиловловлювання знаходиться у діапазоні від 93 до 99,6 % [363, Eurofer 2007]. Операції завантаження і зливу конвертера роблять внесок у велику частину цих викидів пилу. Цей діапазон відрізняється від даних, наведених у табл. 7.3. Дані у табл. 7.3 ґрунтуються на семи кисневих конвертерах, в той час як вищезгадані дані відображають оцінку для всього сектору киснево-конвертерного виробництва. Ще одне пояснення цього і ширшого розкиду можна знайти у тому факті, що вторинні викиди важко визначити з будь-яким ступенем визначеності, а використовувані заходи утилізації часто бувають недостатньо відомі. Ці результати у зоні перекриття між даними про речовини, що виділяються, і даними щодо реальних викидів логічно витікають із реалізації відповідних стадій уловлювання та очищення.

Попередня обробка гарячого металу, така як переливання гарячого металу і спуск шлаку
Транспортування гарячого чавуну з міксерного ковшу до завантажувального ковшу відбувається у закритому стенді. З кабіни оператора конвертерного цеху є можливість безпосереднього моніторингу процесу переміщення. Ківш із гарячим чавуном переміщується нижче рівня підлоги цеху на чавуновозі. Цей чавуновоз має захисний екран, який ізолює горловину, тим самим утворюючи закриту камеру. Коли неможливо забезпечити повне закриття, є можливість встановлення димовідвідного каміну над ковшем.

Для процесу скочування шлаку ківш, що перевозить розплавлений метал, нахиляється у позицію скочування шлаку, і водночас підтримується краном або кантувачем. Вільний поперечний переріз камінів обмежується відповідними внутрішніми елементами для досягнення більшої швидкості подачі. Камінь може бути такого пересувного типу, що він може обслуговувати кілька позицій скочування шлаку. Стенд для скочування шлаку зазвичай розділяється перегородками, які допомагають забезпечити достатнє переміщення для цієї операції. Отвори закриваються ущільнювальними екранами, закріпленими на ковші.

Завантаження конвертера і випуск рідкої сталі та шлаку з конвертерів і ковшів

Протягом заливки рідкого чавуну й завантаження брухту і випуску сталі з конвертерів відбуваються викиди пилу. Залежно від якості брухту, що використовується, при завантаженні можуть відбуватися викиди різних органічних забруднювачів, таких як РАН, РСВ і PCDD/F, в результаті термічного розкладання органічних матеріалів (масла, фарби, мастильні речовини або пластмаси).

Система основної вентиляції працює повністю тільки протягом кисневої продувки, коли конвертер знаходиться у вертикальному положенні. Викиди, що утворюються протягом завантаження та випуску, вловлюються системою вторинного уловлювання. Завантаження та випуск займають лише кілька хвилин, що становить близько 10 % часу тривалості плавки від випуску до випуску.

Допоміжна вентиляція, яка входить до операцій конвертера, зазвичай складається з витяжного парасоля, розташованого безпосередньо над горловиною конвертера у похилому положенні, і кожуха навколо конвертера (див. рис. 7.16). Витяжний парасоль бажано розміщувати якомога ближче до конвертера. У деяких наявних конвертерних цехах немає можливості розміщувати витяжний парасоль якомога ближче до конвертера. У цьому випадку витяжний парасоль може бути встановлений ближче до даху, що знижує ефективність, залежно від умов, таких як розмір парасоля і обсягу, що видалється або умов місцевого потоку в будівлі.

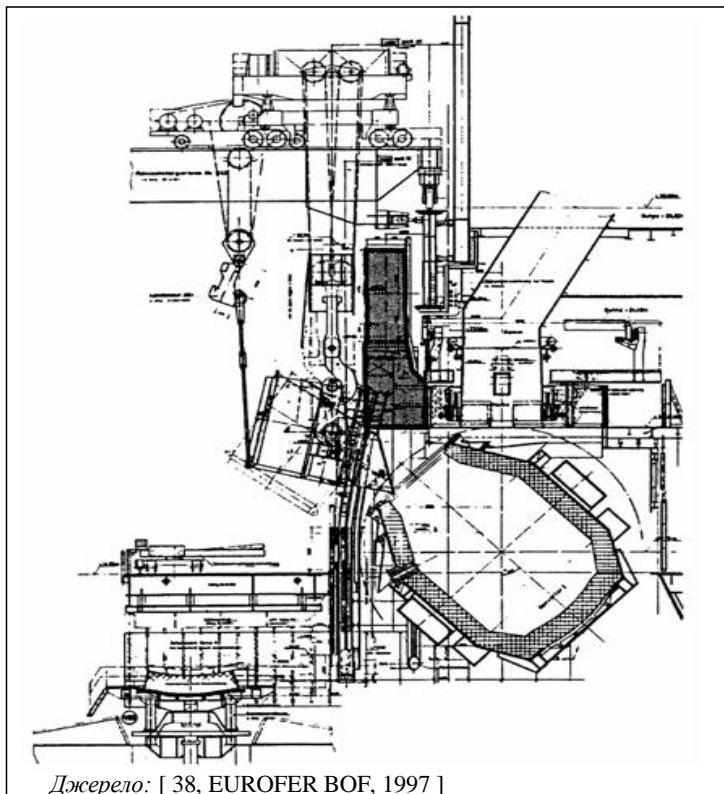


Рис. 7.16. Видалення вторинних викидів протягом розливання рідкого чавуну і завантаження брухту в конвертер

Витрата відхідних газів від вторинного знепилювання знаходиться у діапазоні від 300 000 до 344 100 $\text{nm}^3/\text{год}$, а очищення зазвичай виконується за допомогою рукавного фільтра, хоча використовується також електрофільтр. Деякі дані щодо застосовуваних систем вторинного знепилювання та характеристик викидів при завантаженні та випуску підсумовані у табл. 7.19.

Таблиця 7.19: Дані щодо системи вторинного знепилювання, що застосовуються, та характеристики викидів при завантаженні та випуску плавлення

Установка (конвертер)	Ємність конвертера	Кількість конвертерів	Кількість плавок на місяць	Обсяг відхідних газів (нм ³ /год)
1	112	2	1 658	1 250 000
2	125	3	1 983	372 000
3	156	3	2 179	3 441 000 ⁽¹⁾
4	240	2	866	300 000
5	295	2	2 322	1 300 000
6	330	2	974	1 000 000
7	264	3	1 885	2 119 457
8	325	3	1 698	720 000
9	330	3	1 125	393 500

⁽¹⁾ Цей конвертер має дві незалежні системи вторинного знепилювання, і наведене значення стосується двох систем.
Примітка: Таблицю відсортовано за загальною ємністю конвертера (Ємність конвертера × Кількість конвертерів).
Джерело: [363, Eurofer, 2007] [365, Eurofer, 2007].

Позапічна обробка сталі

Викиди від позапічної обробки сталі можуть відбуватися протягом таких процесів:

- операції випуску сталі (тобто ковші, ковші-печі, конвертери та інше обладнання, що використовується при позапічній обробці сталі);
- дегазація;
- підігрів вогнетривів (ковша, проміжного розливного пристрою, дегазатора);
- поводження з добавками (домішками)

Для двох конвертерів, на яких викиди від процесів позапічної обробки сталі відводяться окремо і очищуються за допомогою рукавних фільтрів, виміряні концентрації викидів пилу були нижче 10 мг/нм³/г [182, Infomil, 2009] [211, Ремус, Райнер, 2008].

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Викиди зазвичай знаходяться під впливом ефективності видалення пилу, що утворюється під час завантаження і випуску плавки.

Ступінь уловлювання пилу від відхідних газів, яка досягається у системі позапічної обробки сталі щодо виплавки сталі у кисневих конвертерах, представлена у табл. 7.20. Дані для цієї таблиці отримані з проб, відібраних у цеху, і модельних випробувань, розрахунків та емпіричних спостережень, і вони можуть змінюватись у відповідності зі згаданим джерелом викидів і конкретною технологією. Представлені діапазони вказують, що для процедур попередньої обробки гарячого металу на зразок переливання з ковшу до ковшу і десульфурзації, і протягом продувки конвертера ефективність може бути дуже високою, до майже повного видалення. Навпаки, видалення викидів під час завантаження брухту й заливки гарячого чавуну, і при зливці розплавленої сталі та шлаку набагато менш ефективно.

На деяких конвертерах (наприклад, у Японії) закритий весь дах цеху, і видалення викидів досягає загальної ефективності 100 %.

Таблиця 7.20: Досягнуті ступені видалення пилу від вторинних відхідних газів кисневих конвертерів

Попередня обробка рідкого чавуну		Робота конвертера			
Відділення підготовки ковшів	Попередня обробка рідкого чавуну	Завантаження брухту	Заливка рідкого чавуну	Продування	Випуск рідкої сталі та шлаку
94 – 99 %	94 – 99 %	24 – 64 %	89 – 94 %	89 – 99 %	49 – 55 %

Примітка: Припустимо, що 100 % становить загальну кількість пилу, що виділяється під час роботи конвертера (що еквівалентно технічно досяжному рівню); при цьому нижчі значення стосуються зазвичай досяжної ефективності, а вищі значення – максимально досяжних результатів.
Джерело: [38, EUROFER BOF, 1997].

За допомогою електрофільтрів і рукавних фільтрів можна досягти викидів від точкових джерел нижче 5 г/т рідкої сталі для кожного з вищевказаних поодиноких викидів у повітря. Як показано у табл. 7.21, це відповідає концентраціям викидів 2 – 13 мг пилу/нм³.

Таблиця 7.21: Досягнуті рівні викидів за умов вторинного знепилювання в кисневих конвертерах

Параметр	Електрофільтр	Рукавний фільтр
Пил	6	< 2 – 13
Pb, Cr, Cu, Mn, V	0,1	
PCDD/F	0,03	

Примітка: Значення наведені у мг/нм³, за винятком PCDD/F, для яких значення виражені в нг I-TEQ/м³.
 Це щорічні середні значення.
Джерело: [182, Infomil, 2009] [244, Плікерт, 2007].

Міжсередовищні наслідки

Під час вторинного знепилювання утворюється 0,5 кг твердих відходів на тонну рідкої сталі (до 1,2 кг/т рідкої сталі). Повторне використання таких твердих відходів із високим вмістом заліза залежить значною мірою від вмісту цинку. На деяких заводах є можливість їх повторного використання, а інші їх депонують.

Для роботи системи вентиляції та обладнання для очищення пилу потрібна енергія. Для допоміжної вентиляції необхідна продуктивність видалення приблизно 300 000 – 3 441 000 нм³/год. В одному прикладі повідомлялося щодо питомого споживання енергії у 13 МДж/т рідкої сталі, коли застосовувалися рукавні фільтри. Повідомлялось і про інші значення порядку 0,72 – 7,2 МДж на 1 000 очищених нм³. Споживання енергії залежить перш за все від падіння тиску і продуктивності відповідних вентиляторів. На рис. 7.17 наведено питоме споживання енергії для різних операцій знепилювання на металургійних заводах із повним циклом. Можна побачити, що питоме споживання енергії для вторинного знепилювання доволі високе, порівняно з іншими операціями знепилювання.

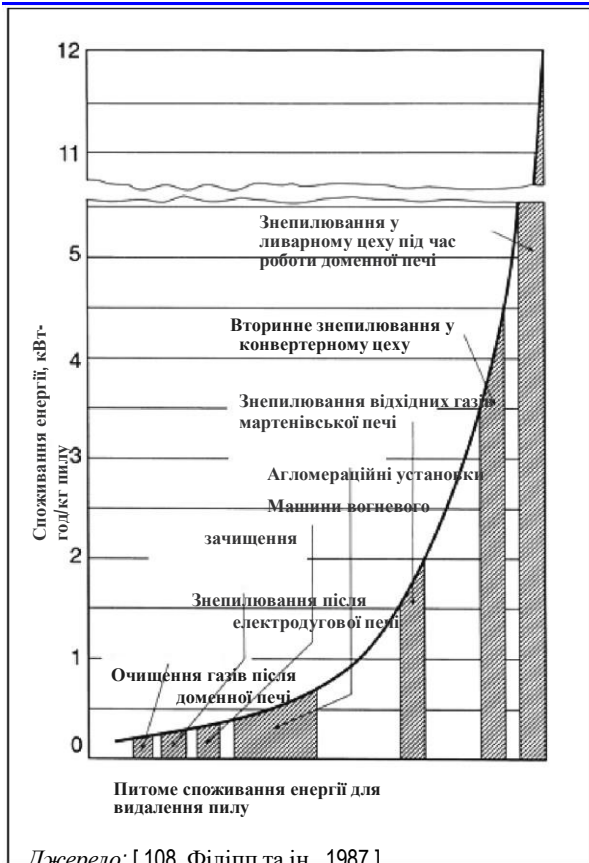


Рис. 7.17. Питоме споживання енергії для різних операцій знепилювання на заводах із повним циклом

Внаслідок високих рівнів відсмоктування системи вторинного знепилювання можуть робити значний внесок у шумові викиди. Тому можуть знадобитися додаткові заходи для захисту від шуму, такі як бетонна основа для вентиляторів, додаткова ізоляція фільтрів і гаситель коливань у димовій трубі.

Експлуатаційні дані

Як рукавні фільтри, так і електрофільтри можуть працювати без проблем. Найважчими аспектами вторинного знепилювання є ефективність видалення, запобігання вибухів у газоходах і рециклінг утворених твердих відходів.

Можливість застосування

Вторинне знепилювання може застосовуватися для нових та наявних конвертерів. Для наявних конвертерів конструктивні параметри цеху можуть обмежити можливості для належного видалення.

Економічні дані

Загальні інвестиції для технологій видалення та очищення вторинних викидів були на рівні 29 млн євро у 2004 році, включаючи заходи захисту від шуму.

Споживання електроенергії становить приблизно 13 МДж/т рідкої сталі із застосуванням рукавних фільтрів. Отже, слід враховувати експлуатаційні витрати, які значною мірою залежать від цін на електроенергію. Необхідні додаткові витрати на обслуговування, наприклад, фільтрів. Витрати були оцінені у 1996 році у діапазоні від 0,8 до 4 євро/т рідкої сталі.

Капітальні витрати на знепилювання вторинних відхідних газів: 10 – 30 млн євро. Впровадження повного знепилювання вторинних відхідних газів обійдеться у 30 млн євро на наявному металургійному заводі з продуктивністю 5 млн т рідкої сталі на рік (порівняльний завод: компанія ArcelorMittal, м. Гент, Бельгія).

Стимули для впровадження

Основним стимулом було запобігання візуальним викидам під час випуску сталі та завантаження, а також кращі робочі умови в конвертерному цеху, і додатковим стимулом є необхідність сприяння у підвищенні надійності заливальних кранів.

Приклади установок

На більшості заводів із повним циклом в ЄС і у світі застосовується вторинне знепилювання.

Конвертерний цех компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія, складається з трьох кисневих конвертерів, кожен з яких має посудину 158 т рідкої сталі. Загальна продуктивність цеху становить 5,2 млн рідкої сталі на рік. На початку 2006 року наявні установки вторинного знепилювання 1 і 2.1 (обсяг відсмоктування 1 млн $\text{nm}^3/\text{год}$) були доповнені ще однією установкою 2.2 (на обсяг відсмоктування 1 млн $\text{nm}^3/\text{год}$). Тому вторинне знепилювання складається з трьох роздільних повітродувок і фільтрів для керування повітрям, що відсмоктується з різних місць, включаючи перелив гарячої сталі з ковшу до ковшу, попередню обробку, скочування шлаку, завантаження і випуск сталі та шлаку з конвертерів, конвертерний відсік і завантажувальне відділення (див. рис. 7.18). Система забезпечує, що, навіть у випадку, коли одна система знепилювання виходить з ладу, забезпечується очищення відходів. Адже, у випадку виходу з ладу системи, основні викиди можна вловити за допомогою іншої системи вторинного знепилювання. У підсумку можна досягти зниження викидів пилу на 370 т в рік, або близько 300 т на рік викидів PM_{10} .

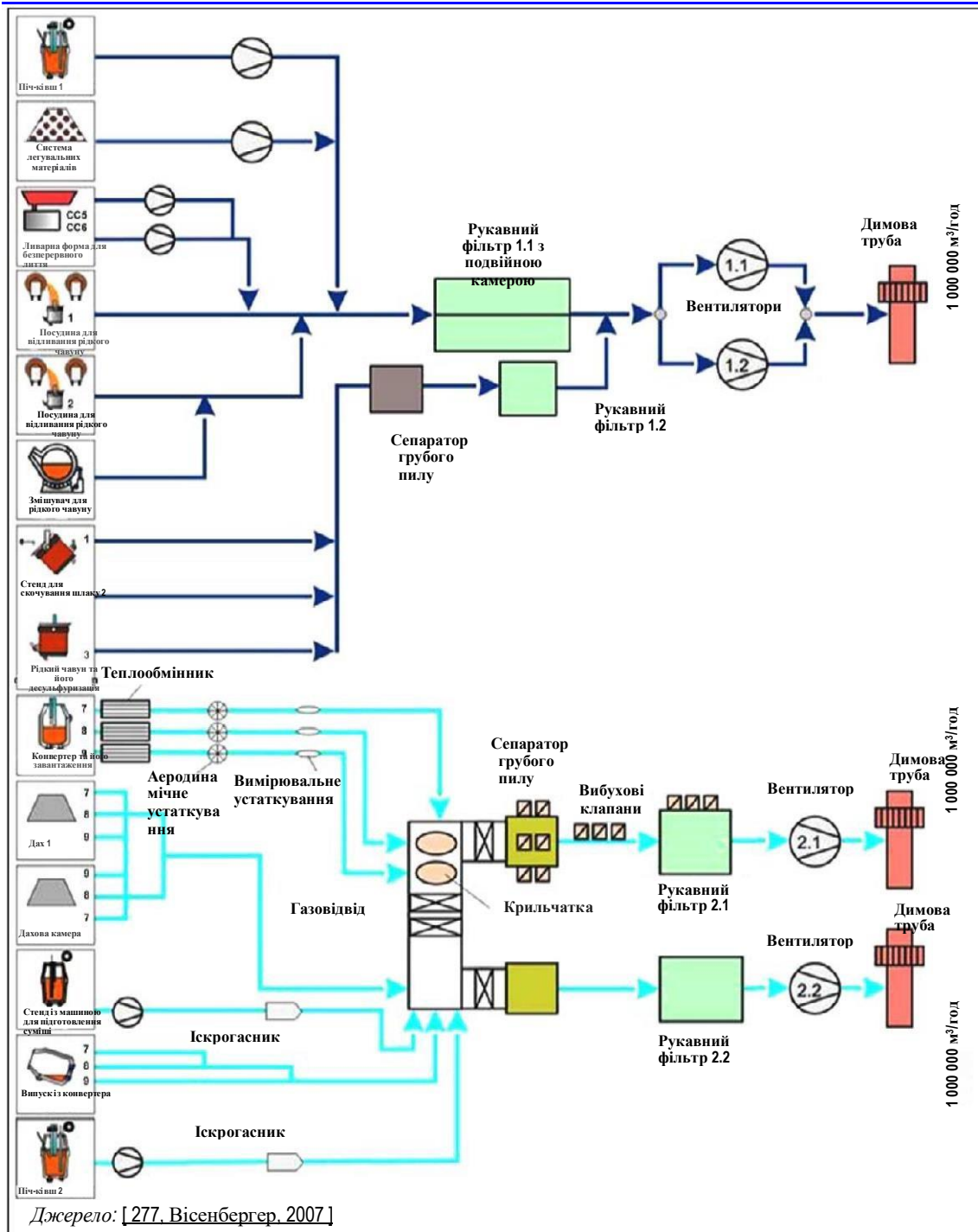


Рис. 7.18. Приклад системи вторинного знепилювання, що складається з трьох окремих повітродувок і фільтрів для очищення повітря, що відводиться з різних точок відбору

У табл. 7.22 наведені ключові технічні дані для вищезазначеної системи вторинного знепилювання.

Таблиця 7.22: Ключові технічні показники системи вторинного знепилювання для Установок № 1 і № 2 компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія

Установка з фільтрами 2.1	Витрата (млн $\text{нм}^3/\text{год}$)	Установка з фільтрами 2.2	Витрата (млн $\text{нм}^3/\text{год}$)
Уся витрата пилу	1	Уся витрата пилу	1
Заливка рідкого чавуну	1	Злив сталі	0,2
Завантаження брухту	0,3	Піч-ківш	0,12
Продукція киснем	0,18	Майданчик для обробки	0,06
Випуск	0,35	Система для витяжки диму під дахом	0,6
Виплескування шлаку	0,15		
Потужність вентиляторів	2 680 кВт		2 680
Характеристики фільтрувальної установки	9 камер 9 770 м^2		10 камер 10 850 м^2

Джерело: [277, Вісенбергер, 2007] [361, Зігмунд, 2007].

Викиди пилу з установок 1, 2.1 і 2.2 вимірювалися безперервно. Середнє щорічне значення викидів у 2004 році становило 7,1 і 3,7 $\text{мг}/\text{нм}^3$ від установок 2.1 та 2.2, відповідно.

Нещодавні середні значення викидів знаходилися в діапазоні від 0,3 до 10 $\text{мг}/\text{нм}^3$ для установки 2.1 і близько 0,5 $\text{мг}/\text{нм}^3$ для установки 2.2, з одиничними значеннями до 4 $\text{мг}/\text{нм}^3$. Викиди важких металів і PCDD/F вимірювалися дискретно.

На рис. 7.19 представлені середні значення викидів для установки 2 у системі вторинного знепилювання щодо конвертера компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія, протягом періоду в три місяці.

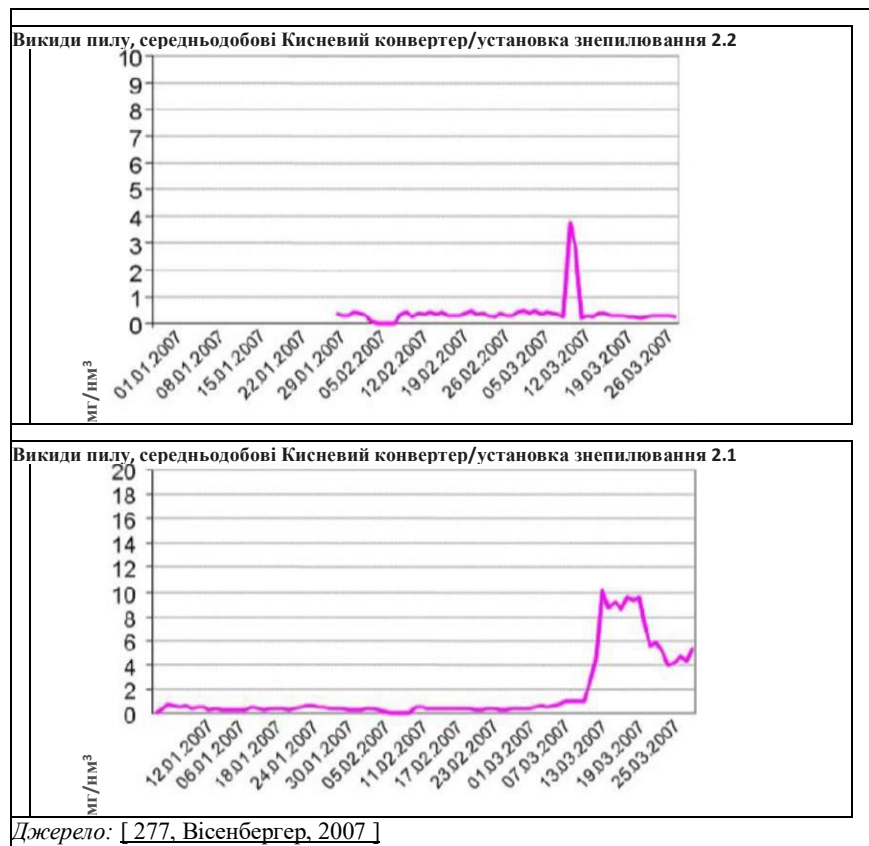


Рис. 7.19. Середньодобові значення викидів на Установці № 2 вторинного знепилювання на кисневому конвертері компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія

Довідкова література

[19, EC BOF, 1995] [38, EUROFER BOF, 1997] [65, InfoMil, 1997] [244, Плікерт, 2007] [247, Нідерланди, 2007] [252, Франція, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [363, Eurofer, 2007] [365, Eurofer, 2007]

7.3.2.2 Зниження запиленості при попередній обробці рідкого металу

Опис

Протягом трьох стадій попередньої обробки рідкого металу (десульфурація, відділення шлаку і транспортування, а також зважування рідкого металу) відбуваються викиди пилу. Питомі викиди пилу (перед очищенням) змінюються від 110 до 830 г/т рідкої сталі [38, EUROFER BOF, 1997]. Ці викиди уловлюються (див. рис. 7.20), і вони зазвичай очищуються за допомогою рукавних фільтрів. Стенди для проведення десульфурації зазвичай бувають закритого типу. Ключові заходи з утилізації пилу включають у себе використання кришок для ковшів, контрольоване введення агентів для десульфурації, комплексні операції скочування шлаку, використання систем видалення закритого типу і встановлення рухомої ступки у процесі (див. рис. 7.20).

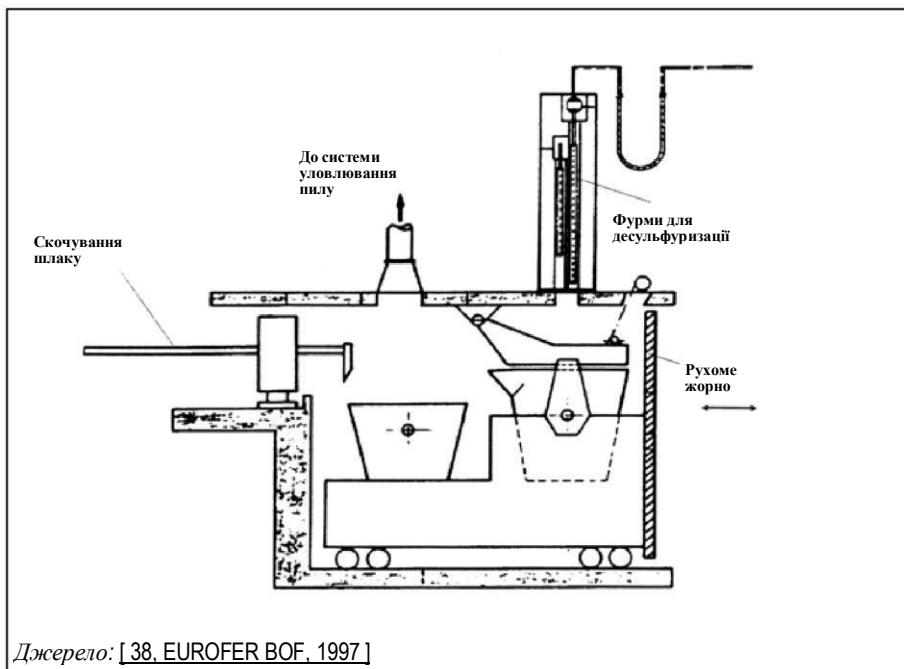


Рис. 7.20. Уловлювання пилу на майданчику десульфурації рідкого металу

У газах, що видаляються, міститься до 10 000 мг/м³ пилу. У деяких випадках застосовуються сухі електрофільтри.

Важливою характеристикою є ефективність видалення за допомогою системи вентиляції. Повинно бути оптимізоване положення витяжних парасоль для досягнення ефективності відведення. Витрата димових газів для автономної системи пиловидалення знаходиться у діапазоні від 30 000 до 1 млн м³/год. З використанням автономної системи можливо краще контролювати продуктивність пиловидалення і повторного використання різних типів уловленої пилу. Зараз на деяких заводах знепилювання обладнання для десульфурації є частиною централізованої системи вторинного знепилювання, і його не можна характеризувати окремо. Ці системи мають витрати від 300 тис. до 2,2 млн м³/год. У деяких випадках можна коригувати продуктивність системи відводу на основі різних умов процесу.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Коли пил ефективно видаляється і згодом проходить через рукавний фільтр (або електрофільтр), можна досягти рівня викидів менше 10 мг/нм^3 (близько 1 г/т рідкої сталі).

На заводі компанії Corus у м. Еймьойден, Нідерланди, скочування шлаку і десульфурація проводяться у закритому приміщенні, з якого відбираються викиди. Вони направляються до рукавного фільтра. Результати точкових вимірів для викидів пилу склали 2 мг/нм^3 у 2001 році та 1 мг/нм^3 у 2004 році.

На установці по знепилюванню компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія, обсяг відведення склав близько $1 \text{ млн нм}^3/\text{год}$, а місця відведення включали попередню обробку рідкого металу, десульфурацію, відділення шлаку, керування рідким металом і один ківш-піч. Викиди пилу вимірювались безперервно. Середньорічний рівень викидів пилу у 2004 році склав $7,1 \text{ мг/нм}^3$. Нещодавно певні середньодобові значення викидів пилу знаходилися в діапазоні $0,2 - 1 \text{ мг/нм}^3$. З 2006 року проводиться безперервний моніторинг також і викидів SO_2 . Середньодобові значення викидів цього забруднювача, виміряні протягом трьох місяців у 2007 році, перебували у діапазоні $20 - 100 \text{ мг/нм}^3$. Моніторинг даних як для викидів пилу, так і для викидів діоксиду сірки протягом періоду у три місяці наведено на рис. 7.21. Однак поодинокі півгодинні середні значення викидів доходили до 340 мг/нм^3 .

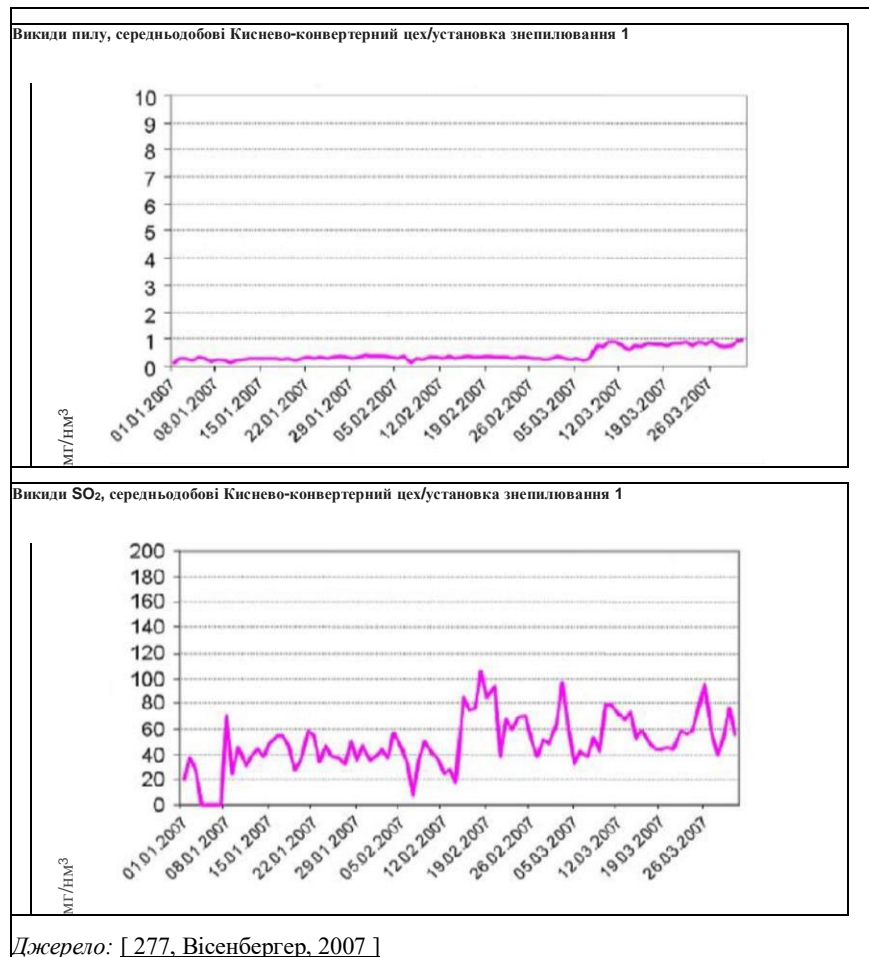


Рис. 7.21. Середньодобові значення викидів на Установці № 1 вторинного знепилювання на кисневому конвертері компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія

Міжсередовищні наслідки

Насоси відкачування споживають енергію, і утворюються тверді відходи, які можна піддавати рециклінгу в процесі спікання (за високого вмісту заліза). Однак при цьому в процесі спікання будуть підвищені викиди сірки.

Склад пилу з установки десульфурації рідкого металу залежить значною мірою від агента, що використовується для десульфурації. Або ж уловлений пил може бути повернутий до кисневого конвертера після холодного брикетування (див. п. 2.5.4.4.4) або використовуватись у цементній промисловості.

Експлуатаційні дані

Як рукавні фільтри, так і електрофільтри можуть працювати без проблем.

Можливість застосування

Очищення від пилу для установок із попередньої обробки рідкого металу може застосовуватись як на нових, так і на наявних підприємствах.

Економічні дані

Інвестиції для застосування цієї технології складають близько 10 млн євро. Для цього прикладу валюта була конвертована в єку у 1996 році та переглянута на євро.

Стимули для впровадження

Основними стимулами для впровадження очищення від пилу з попередньої обробки рідкого металу є граничні значення викидів або інші законодавчі вимоги.

Приклади установок

Очищення від пилу протягом попередньої обробки рідкого металу практикується у багатьох країнах світу.

Довідкова література

[19, EC BOF, 1995] [65, InfoMil, 1997] [247, Нідерланди, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [363, Eurofer, 2007]

7.3.2.3 Зниження запиленості при розливанні в злитки і безперервній розливці

Опис

Під час розливці у злитки повинні використовуватися кожухи для захисту розплавленого потоку металу від забруднення киснем і для зниження утворення диму до незначного рівня. Якщо не вдається запобігти значному утворенню диму, то слід використовувати відведення диму та очищення. Як у випадку безперервної розливки, важливим є спеціалізоване обладнання для відведення і очищення диму щодо сталей, які містять свинець.

Устаткування для газо-кисневого різання із залізним порошком використовується, коли розливається нержавіюча сталь. При цьому утворюється бурий дим, і є необхідним відведення газів та їх очищення з використанням, наприклад, рукавних фільтрів.

Під час розливки сталей, що містять свинець, або під час введення домішок свинцю верхня частина ковшу і проміжного пристрою повинні бути закритими. Необхідно розглянути можливість застосування установки для вдування, яка знадобиться для мінімізації ризику виділення газів, що містять свинець. Повинне бути передбачене відведення диму навколо ливарної форми і для самої системи розливки до рукавного фільтра, призначене для очищення від газів, що містять свинець.

Якщо використовується киснева фурма для прочищення сопла, дим повинен бути обмежений і відведений разом з іншими газами, що містять свинець. Увесь пил від розливки сталі, що містить свинець, повинен уловлюватися за допомогою спеціальних систем із рукавними фільтрами.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У табл. 7.23 розглянуто рівні викидів, які досягаються, для двох розливних установок при застосуванні рукавних фільтрів.

Таблиця 7.23: Досягнуті рівні викидів для двох методів розливання при використанні рукавних фільтрів

Параметр	Розливка у злитки і безперервна розливка	Безперервна розливка
Пил	0,5	0,5
Ni	<0,002 ⁽¹⁾	0,014
Cr, Mn, V	<0,004 ⁽¹⁾	0,016
Ni, Cr, Mn, V	<0,006 ⁽¹⁾	0,03
Cr(VI)	<1 ⁽¹⁾	0,014

⁽¹⁾ Максимальні значення подані на основі півгодинних середніх значень.
Примітка: — Одиниці у мг/м³ є середньорічними.
— Дані тільки для виробництва нержавіючої сталі.
Джерело: [244, Плікерт, 2007].

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Наведені значення досягнутих значень викидів взяті тільки щодо виробництва нержавіючої сталі в електродуговій печі при використанні рукавних фільтрів. В принципі, ця технологія може бути застосована для кисневих конвертерів, що виробляють нержавіючу сталь, за порівняних умов.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Рукавні фільтри на установках для розливки застосовуються на двох установках для виробництва нержавіючої сталі в електродуговій печі.

Ця технологія використовується у Сполученому Королівстві.

Довідкова література

[240, УКЕА, 2004] [244, Плікерт, 2007]

7.3.2.4 Основні технології для запобігання або контролю розсіяних і неконтрольованих вторинних викидів

Опис

Основні технології для запобігання розсіяних і неорганізованих викидів від вторинних джерел процесу виплавки сталі у кисневих конвертерах включають:

1. незалежні пристрої для уловлювання вторинних викидів для кожного допоміжного процесу в конвертерному цеху

2. правильне керування установкою десульфурації для попередження викидів у повітря
3. загальне зачинення установок десульфурації
4. обслуговування кришки, коли ківш для рідкої сталі не задіяний, і зміст ковшів для рідкої сталі у чистоті на регулярній основі
5. обслуговування ковшу з рідким чавуном перед конвертером близько двох хвилин після заливки чавуну до конвертера, якщо не застосовується система витяжки під дахом
6. комп'ютерний контроль і оптимізація процесу виплавки сталі, наприклад так, щоб запобігти або зменшити викиди (тобто коли шлак спінюється так, що він впливає з конвертера)
7. викиди протягом випуску сталі можна знизити за допомогою обмежуючих елементів і використання протиспінювальних агентів
8. зачинення дверей у конвертерному цеху протягом продувки кисню
9. камера безперервного спостереження за видимими викидами в районі даху
10. використання системи відведення викидів під дахом.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Технологія 1: Ця технологія може допомогти в оптимізації ефективності вловлювання і у сприянні можливостям повторного використання. З другого боку, комбіновані системи вторинного знепилювання, які працюють у більшості сталеплавильних цехів, мають ідентичні екологічні характеристики із роздільними системами, які дають одне рішення в одній з країн. У разі споживання енергії комбіновані системи мають переваги.

Технологія 2: Використання реагентів, оксиду кальцію замість карбїду кальцію у процесі десульфурації, що призводить до зниження викидів РМ та утворенню запахів і до іншого (більш корисного) складу шлаку, що утворюється (див. п. 7.2.2.1.1).

Технологія 3: Цей захід дає змогу провести повне видалення забрудненого повітря через систему пиловловлювання.

Технологія 4: Під час використання цієї технології ковші охолоджуються повільно, і тому відбувається запобігання димінню ковшів, що приводить до зниження викидів РМ.

Технологія 5: Цей захід допомагає позбавитися диму, викиди якого можуть відбуватися, якщо не застосовується система відведення викидів під дахом.

Технології 4, 5, 6 і 8: В одному конкретному випадку за використання цих технологій і адекватного контролю викидів, які можуть з'являтися з жорна (див. п. 7.3.1), викиди під дахом від міксерного ковшу стають нижче 0,14 кг/т рідкого металу, а для всього конвертерного процесу можна досягти значень нижче 10 г/т рідкої сталі [359, Нідерланди, 2007].

Технологія 9: Коли відбувається безперервне спостереження за видимими викидами в районі даху, зміна або ненормальні умови експлуатації, які можуть відбуватися, стають причиною зростання видимих викидів, що спостерігаються, і які реєструються камерою.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія 1: Жодних даних не надано.

Технологія 4: Цей захід застосовується, якщо не використовується система видалення викидів у районі даху.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Безперервний моніторинг надає можливість прийняття ранніх коригувальних дій, які можуть мати економічні вигоди.

Приклади установок

Технології 4, 5, 6 і 8: Компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006] [241, Польща, 2007] [247, Нідерланди, 2007] [249, Нідерланди, 2007] [359, Нідерланди, 2007] [360, Зік-Майхак, 2006] [361, Зігмунд, 2007]

7.3.3 Очищення стічних вод від вологого знепилювання**Опис**

На більшості кисневих конвертерів використовуються скрубери для зниження викидів у повітря від потоку первинного газу (конвертерного газу) (див. п. 7.3.7). Це потенційне перенесення забруднень із повітря у воду так, що утворюються стічні води, які зазвичай піддаються рециклінгу та очищуються перед скиданням.

Вода від скрубєрів зазвичай містить зважені тверді речовини; цинк і свинець є основними наявними важкими металами.

Велика частина зважених твердих речовин у скрубєрній воді може бути вилучена за допомогою гідроциклонів і/або осадження. Після коригування рН більшу частину води можна піддати рециклінгу.

Злив можна очистити за допомогою осадження та/або фільтрації перед скиданням.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У табл. 7.24, наведені приклади певних скидів у воду від систем мокрого знепилювання у киснево-конвертерному виробництві.

Таблиця 7.24: Приклади питомих скидів у воду від установок мокрого знепилювання для кисневих конвертерів

Параметр	Одиниці вимірювання	Системи неповного спалювання		
		Компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди ⁽¹⁾	Компанія Stelco LEW, провінція Онтаріо, Канада	Компанія LTV Steel Cleveland Works, США
Витрата скидання	м ³ /т рідкої сталі	0,52	1,1	0,002
Зважені тверді частинки	г/т рідкої сталі	20	5,5	0,0083
Цинк (Zn)	мг/т рідкої сталі	73	210	0,36
Свинець (Pb)	мг/т рідкої сталі	31	110	0,057

⁽¹⁾ Викиди для компанії Corus у м. Еймьойден, Нідерланди, стосуються значень за 1994 рік.
Джерело: [65, InfoMil, 1997].

Найефективнішими заходами для мінімізації скидання стічних вод є:

1. Підвищення рівня рециркуляції скруберної води. Високий рівень рециркуляції може бути досягнутий за допомогою двостадійного процесу осадження у потоці скруберної води із вдуванням діоксиду вуглецю (CO₂) перед стадією другого осадження, для того щоб збільшити осадження карбонатів. Відзначимо, що вдування CO₂ можливо тільки у системах, що працюють у рамках неповного спалювання.
2. Очищення зливу. Хоча може бути досягнуто ефективного рівня рециркуляції, під час зливу необхідно уникати накопичення деяких мінералів/солей. У зливні містяться зважені тверді речовини (включаючи цинк, свинець тощо) як найважливіші забруднювачі. Злив очищується за допомогою осадження і фільтрації.

Міжсередовищні наслідки

Шлам утворюється протягом обробки в гідроциклоні та/або при осаджуванні зважених твердих речовин у скруберній воді. Цей шлам може бути на 100 % підданий рециклінгу у чорній металургії, якщо надходження цинку з металобрухтом буде суворо обмежене, тобто може бути повернутий на агломераційну установку або кисневий конвертер після холодного брикетування (див. п. 2.5.4.4.4). На багатьох інших металургійних заводах світу шлами не можуть використовуватися, тому вони або використовуються поза металургійним заводом у цементному виробництві, або будуть відправлені на зберігання чи депонування.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Висока ефективність рециркуляції та додаткове очищення може застосовуватись як на нових, так і на наявних заводах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Прикладами установок із високим ступенем рециркуляції та очищення зливу є:

Компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди; ArcelorMittal, м. Гент, Бельгія; ArcelorMittal, м. Клівленд, США.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [138, Теобальд, 1997] [363, Eurofer, 2007]

7.3.4 Очищення стічних вод від безперервної розливки

Опис

Вода використовується у машинах безперервної розливки заготовок для прямого охолодження слябів, блюмсів і заготовок. Тому утворюється потік забрудненої технічної води. У багатьох випадках ці стічні води очищуються разом із потоками стічних вод від станів гарячої прокатки. Після очищення відбувається рециркуляція цих вод.

Кристалізатор і внутрішня частина роликів зазвичай охолоджуються водою у замкненому контурі, і тут це не розглядається.

Основними забруднюючими речовинами є зважені тверді речовини і масла. Основними заходами для зниження скидів у воду є високий рівень рециркуляції разом з осадженням і/або фільтрацією зливу. Для видалення масел можуть використовуватися баки-сепаратори.

Уприскувана вода зазвичай осідає за допомогою фільтрації через пісок після охолодження у випарній градирні. Фільтрація через пісок допомагає у забезпеченні низьких рівнів твердих частинок і нафтового забруднення для досягнення задовільної тривалої роботи сопел вторинного розпилення у машині безперервної розливки заготовок. Злив із відкритої системи для контролю рівня розчинених твердих частинок повинен здійснюватися з розташованої далі за технологічним ланцюгом установки для піщаної фільтрації для мінімізації скидання зважених твердих частинок і будь-яких забруднювачів у вигляді масел/жирів. Для запобігання засмічення установки піщаної фільтрації перед нею необхідно встановити систему збору нафти.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У табл. 7.25 наведені питомі скиди у воду від безперервної розливки.

Таблиця 7.25: Огляд питомих скидів у воду від систем прямого охолодження при безперервній розливці

Параметр	Компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди ⁽¹⁾	Компанія Stelco LEW, провінція Онтаріо, Канада	Компанія ArcelorMittal, завод Indiana Harbour Works, штат Індіана, США
Витрата скидання м ³ /т сталі, що розливається	0,04	1,4	0,076
Рівень рециркуляції %	98	78	99
Зважені тверді частинки г/т сталі, що розливається	0,8 0,2 ⁽²⁾	26	1,4
Цинк (Zn) мг/т сталі, що розливається	<1	–	8,0
Свинець (Pb) мг/т сталі, що розливається	<1	–	8,7
Мастило мг/т сталі, що розливається	20	2 000	160
(1) Дані стосуються 2004 року. (2) Дані за 2007 рік вказують тенденцію зниження. Джерело: [65, InfoMil, 1997] [135, Бусінк, Р., 2009].			

Приклад концентрації забруднюючих речовин у стічних водах від безперервної розливки після очищення у конвертерному цеху компанії ArcelorMittal у м. Бремен, Німеччина, наведено у табл. 7.26 [362, Німеччина, 2007] [363, Eurofer, 2007].

Таблиця 7.26: Приклад концентрації забруднювачів у стічних водах від безперервного розливання після очищення в кисневому конвертері компанії ArcelorMittal в м. Бремен, Німеччина

Параметр	Кількість вимірювань	Середнє значення	Медіанне значення	Максимальне значення	Мінімальне значення	Стандартне відхилення
Pb (мкг/л)	33	3,03	2,00	16,00	<2,00	3,11
Cr (мкг/л)	33	2,99	2,00	13,00	<2,00	2,17
Cu (мкг/л)	33	6,03	5,70	15,00	0,50	2,74
Zn (мкг/л)	33	87,12	62,00	340,00	<20,00	73,89
Cd (мкг/л)	33	0,20	0,20	0,27	<0,20	0,01
Fe (мг/л)	33	0,59	0,14	8,50	0,05	1,63
Ni (мкг/л)	33	21,88	22,00	37,00	11,00	6,15
Нмінеральний (мг/л)	31	5,09	5,07	7,16	3,29	1,21
АОХ (мкг/л)	33	41,06	40,00	66,00	21,00	11,00
Вміст твердих зв'язаних речовин (мг/л)	33	2,77	1,00	19,00	0,80	4,37
DOC (мг/л)	33	5,31	5,00	10,00	4,30	1,11
TOC (мг/л)	33	5,68	5,40	10,70	4,60	1,22
Вуглеводні нафтопродуктів (мг/л)	31	0,16	0,18	0,40	<0,10	0,07
Токсичність ікринок риби	8	1,25	1,00	2,00	1,00	0,43

Примітка: Вимірювання методом випадкової вибірки з лютого 2000 року по листопад 2006 року. Числові значення, виділені курсивом, вказують, що виміряні значення нижче граничного показника, розрахованого як межа визначення.
Джерело: [260, Німеччина, 2007] [362, Німеччина, 2007]

Міжсередовищні наслідки

Під час стадії осадження утворюється шлам, в якому міститься залізо, яке можна піддати рециклінгу на агломераційній установці або безпосередньо вдувати у фурми доменної печі.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Високий рівень рециркуляції та очищення зливу може застосовуватись як на нових, так і на наявних заводах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

ArcelorMittal, завод Indiana Harbour Works, штат Індіана, США; Corus, м. Еймьойден, Нідерланди;

ArcelorMittal, м. Гент, Бельгія; Voestalpine Stahl GmbH, м. Лінц, Австрія

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [240, UKEA, 2004] [362, Німеччина, 2007] [363, Eurofer, 2007]

7.3.5 Пил від гарячого брикетування і рециклінг з утилізацією окатишів із високою концентрацією цинку для зовнішнього використання

Опис

Коли застосовується сухий електрофільтр як засіб для очищення конвертерного газу в результаті кисневої продувки, утворюється твердий пил. Він має високий вміст заліза (40 – 65 %) і може використовуватись як цінний матеріал, коли він пресується з отриманням брикетів. Хоча грубий і дрібний пил піддається брикетуванню на однакових установках, вони шихтуються окремо внаслідок різних їхніх властивостей (див. табл. 7.15). Брикети з грубого пилу містять близько 70 % металевого заліза, і їх можна використовувати як заміну брукту в кисневому конвертері. Брикети з дрібного пилу містять від 7 до 20 % металевого заліза, і їх можна використовувати як домішку охолоджувача у плавці [2, От та ін., 1988]. Гаряче брикетування здійснюється на установці гарячого брикетування (див. рис. 7.22). Спочатку пил нагрівається до 750 °С у реакторі з рухомих шаром за допомогою гарячого повітря та автотермічної реакції. На другій стадії за допомогою циліндричного преса готуються брикети.

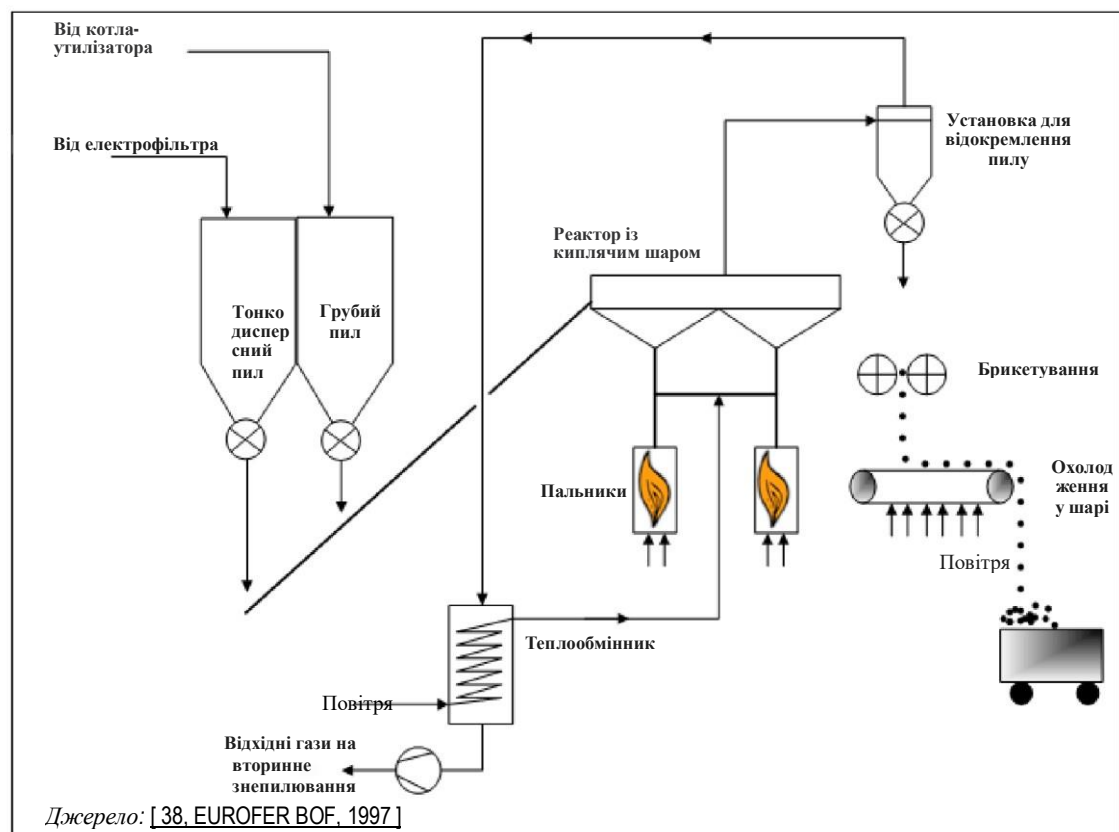


Рис. 7.22. Установа для гарячого брикетування пилу з кисневих конвертерів

Під час рециклінгу пил поступово збагачується цинком. Коли брикети з пилу досягають середньої концентрації цинку, принаймні, 17 % за вагою, вони транспортуються зовнішнім переробником для утилізації цинку. Для технічної та економічної реалізації процесу утилізації цинку вміст цинку повинен складати від 20 до 24 %, що досягається шляхом змішування матеріалів, що надходять.

Оскільки цинк у цій закритій системі розподілений дуже нерівномірно, пил із вмістом цинку значно вище 17 % за вагою також знаходить свій шлях у циклі, описаному тут.

Це приводить до того, що значні кількості цинку необов'язково використовувати у циклі та повторно відновлювати, випаровувати, окисляти і брикетувати у кожному послідовному циклі.

Ця пилкоподібна особливість послідовного збагачення і видалення пилу призводить до великої флуктуації у завантаженні брикетів до кисневого конвертера. Це, зі свого боку, не тільки впливає на металургію процесу (випуск шлаку, накопичення наносів пилу в газоході відхідних газів), але також значно впливає на тепловий баланс (рідкий чавун/брухт). Необхідний регулярний аналітичний контроль для забезпечення того, щоб якість виплавленої сталі та шлаку не погіршувалася внаслідок будь-якого надмірного зростання вмісту цинку.

Для оптимізації процесу була розроблена технологія визначення у реальному режимі рівня цинку в пилу. Ця технологія називається LIBS (спектроскопія збуджування лазерним пробоем). Пристрій безперервно вимірює вміст цинку у пилу на конвеєрі. Знання вмісту цинку в пилу дає можливість вибору, у разі необхідності, видалення, гранулювання і транспортування переробнику.

На рис. 7.23 наведено схематичний огляд заходів з оптимізації рециклінгу пилу із кисневого конвертера.

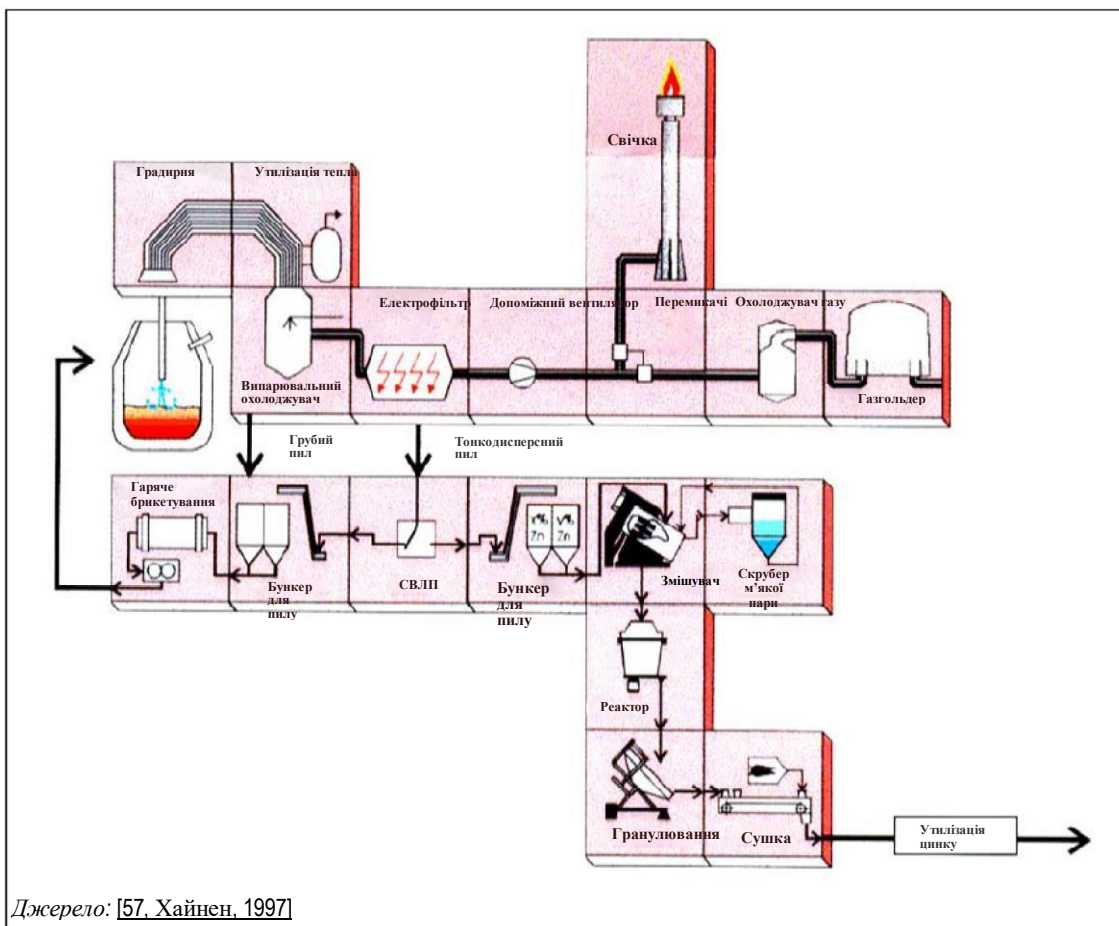


Рис. 7.23. Загальне уявлення про заходи для оптимізації рециклінгу пилу від кисневого конвертера

Причиною гранулювання тонкодисперсного пилу є те, що навіть застосовуючи склеювальні речовини, його неможливо брикетувати. Більше того, окатиші, як правило, краще відповідають вимогам замовника, таким як аналіз, стабільність зберігання, відсутність пилу, транспортабельність і простота в обігу.

Крім того, пилові окатиші можуть бути оптимізовані для подальшої переробки шляхом додавання відновлювальних речовин, інших добавок тощо.

Описано гаряче брикетування та виробництво окатишів із високим вмістом цинку для зовнішнього повторного використання. Технічно з цього шламу та пилу можливо видобути кольорові метали, після чого цінні очищені тверді речовини, що містять залізо, можуть бути перероблені в процес виробництва заліза. Видобуті кольорові метали можуть бути додатково перероблені промисловістю кольорових металів.

Були застосовані такі методи:

- оберткові процеси подових печей
- процеси в киплячому шарі
- циркулюючі реактори з киплячим (псевдозрідженим) шаром
- процеси змішувача з високою турбулентністю
- плазмові процеси
- багатофункціональні кисневі вагранки.

Зовнішні процеси збагачення цинком шламу/пилу існують у комерційних масштабах. Цей прийом набуває дедалі більшого поширення.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

При застосуванні гарячого брикетування та переробки пилу уникають захоронення твердих відходів та зберігають цінну сировину. Кількість обробленого пилу становить приблизно 10 – 20 кг на тонну виробленої рідкої сталі. Загальний вихід заліза збільшується приблизно на 1 %. Можна досягнути швидкості переробки пилу в 100 %.

Міжсередовищні наслідки

Для установки гарячого брикетування потрібна енергія, але економляться сировинні матеріали.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Цей метод застосовується, коли використовується сухий електрофільтр (електрофільтр) для очищення конвертерного газу. Деякі експерименти продемонстрували, що утилізація цинку за допомогою брикетування не є рішенням у разі мокрих систем знепилювання через нестійке осадження у відстійниках у зв'язку із утворенням водню (внаслідок реакції металевого цинку з водою). Із причин безпеки вміст у шламі цинку має бути обмежений 8 – 10 %.

В майбутньому може з'явитися можливість переробляти шлами після скрубєрів Вентурі, але для цього знадобиться додаткова енергія для випаровування води.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Основними стимулами для впровадження цієї технології є обмежені можливості й високі витрати на депонування пилу.

Приклади установок

- Киснево-конвертерний цех із 3 конвертерами компанії Voestalpine Stahl GmbH у м. Лінц, Австрія (у цьому цеху практикується утилізація цинку у формі гранул для зовнішнього повторного використання)
- Металургійний завод у м. Кван'ян компанії POSCO (POSCO Iron and Steel Company), Корея
- Металургійний завод у м. Баошань компанії Baoshan Iron and Steel, Китайська Народна Республіка
- Дніпровський металургійний комбінат, Україна
- Киснево-конвертерні цехи № 1 і № 2 компанії Thyssen Krupp Stahl у м. Дуйсбург, Німеччина
- Компанія ВНР, м. Ньюкасл, Австралія.

Довідкова література

[2, От та ін., 1988] [57, Хайнен, 1997] [116, Ренц та ін., 1996] [154, UN-ECE, 1996] [363, Eurofer, 2007]

7.3.6 Зниження вмісту цинку в брукті

Опис

Високий вміст цинку в доменній печі здійснює негативний вплив на правильну роботу. Тому рециклінг матеріалів із високим вмістом цинку обмежений. Пил і шлами, зібрані після пристроїв знепилювання конвертерного газу, можуть містити порівняно високі концентрації важких металів, особливо цинку (див. табл. 7.15).

Джерелом цього цинку є, переважно, брукт, що завантажується до кисневого конвертера. Викиди цинку можуть помітно коливатися від однієї плавки до іншої, відповідно до типу завантаженого зовнішнього брукту й умов продувки. Та ж сама проблема, але меншою мірою, пов'язана зі свинцем та кадмієм. Для виконання вимог по рециклінгу пилу можна використовувати брукт із низьким вмістом цинку. Тим самим виключається брукт, в якому містяться продукти гальванічної обробки.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

На деяких заводах практикується жорстка політика щодо використання брукту із низьким вмістом цинку. Шлам від систем знепилювання конвертерного газу має вміст цинку близько 0,1 – 0,3 %, що дає змогу проводити рециклінг 100 % пилу на агломераційній установці.

Міжсередовищні наслідки

Вирішення цієї проблеми слід розглядати як місцеве рішення. Загальний вплив на викиди цинку, ймовірно, дорівнює нулю, оскільки великі кількості оцинкованої сталі виробляються в усьому світі, що призводить до утворення шламів із порівняно високим вмістом цинку, коли сталь стає доступною у вигляді брукту в сталеплавильному виробництві. На більшості кисневих конвертерів цинк зникає з конвертера протягом перших декількох хвилин кисневої продувки.

Експлуатаційні дані

Ця технологія працює без проблем.

Можливість застосування

Застосування можливе як на нових, так і на наявних заводах. Однак, це значною мірою залежить від наявності брукту із низьким вмістом цинку, свинцю і кадмію та від економічних чинників використання брукту цього типу. Тому спосіб не практикується у всіх випадках і сильно залежить від ринку брукту.

У вищезгаданому прикладі заводу компанії Corus у м. Еймьойден, Нідерланди, процес заснований на брухті з низьким вмістом цинку. Брухт із цинковим покриттям не використовується через утилізацію пилу з кисневого конвертера у доменній печі. Його слід застосовувати переважно на заводах без систем рециклінгу пилу, як описано у п. 7.3.5..

Економічні дані

Брухт із низьким вмістом цинку є дорогим, і в цьому випадку зростають витрати на тонну рідкої сталі, що виплавляється. Очікується, що брухт із низьким вмістом цинку буде все важче отримувати. З іншого боку, використання брухту із низьким вмістом цинку дає можливість рециклінгу шлаків і пилу після очищення конвертерного газу.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди; компанія British Steel, м. Скенторп, Об'єднане Королівство.

Довідкова література

[13, Декерс та ін., 1995] [65, InfoMil, 1997] [105, Паздей та ін., 1995] [247, Нідерланди, 2007] [363, Eurofer, 2007]

7.3.7 Утилізація енергії конвертерного газу

Опис

Заходи з утилізації енергії конвертерного газу пов'язані як з ефективним використанням фізичного тепла, так і хімічної енергії конвертерного газу. У минулому велика частина хімічної енергії розсіювалася під час спалювання на свічці.

Конвертерний газ, який утворюється під час кисневої продувки, виходить із горловини конвертера і згодом уловлюється системою первинної вентиляції (відведення). Температура цього газу становить приблизно 1 200 °С, а питома витрата складає близько 50 – 100 нм³/т сталі. У газі міститься близько 70 – 80 % монооксиду вуглецю (СО), коли він залишає конвертер, і він має теплотворну здатність близько 8,8 МДж/нм³.

Як правило, можна використовувати дві системи утилізації енергії конвертерного газу:

1. Спалювання конвертерного газу в газоході конвертера із подальшою утилізацією фізичного тепла у котлі-утилізаторі для виробництва пари

Конвертерний газ можна повністю або частково спалювати, допомагаючи повітрю навколо потрапити у газохід системи первинної вентиляції. У такий спосіб фізичне тепло і загальний потік газу в системі первинної вентиляції зростає, і можна зробити більше пари в котлі-утилізаторі. Кількість повітря, що підмішується до конвертерного газу, визначається кількістю пари, що виробляється.

У повному циклі виплавки сталі (приблизно 30 – 40 хв.) киснева продувка триває приблизно 15 хв. Тому процес виробництва пари, який безпосередньо пов'язаний із кисневою продувкою, є дискретним.

2. Неповне спалювання конвертерного газу і напрямок конвертерного газу до газгольдеру для подальшого використання

Спалювання конвертерного газу в системі первинної вентиляції можна придушити шляхом запобігання надходженню навколишнього повітря в систему. Зазвичай це робиться завдяки опусканню висувної «спідниці» з водяним охолодженням над горловиною конвертера. При цьому, монооксид вуглецю залишається, і конвертерний газ можна використовувати як джерело енергії в інших місцях. Газ очищується для відповідності вимогам мережевого газу, і його можна подавати до газгольдеру. Можна встановити котел-утилізатор для утилізації фізичного тепла, яке міститься у неспаленому конвертерному газі. Слід зазначити, що конвертерний газ не збирається на початку і наприкінці продувки внаслідок низького вмісту CO. Протягом цих періодів, які тривають кілька хвилин, натомість відбувається спалювання газу на свічці (див. рис. 7.11).

Існує тенденція до неповного спалювання з подальшою утилізацією конвертерного газу. Для цього є дві основні причини:

- при неповному спалюванні знижується кількість димових газів, і, отже, знижуються витрати на вентилятори і видалення пилу. Зниження витрати димових газів, типове для неповного спалювання, призводить до неочищеного газу із підвищеною масовою концентрацією. Отже, для ідентичної концентрації очищеного газу повинна використовуватися більш ефективна система утилізації пилу (див. п. 7.3.1);
- великі обсяги пари виробляються у системах повного спалювання. Однак, оскільки пара виробляється дискретно, її неможливо завжди повністю утилізувати. Використання утилізованого конвертерного газу з пригніченням спалювання набагато гнучкіше.

Використання конвертерного газу в поєднанні з доменним і коксівним газом як третього пічного продукту в газовій фазі дає суттєві переваги, якщо з'являється можливість заміни значних кількостей ресурсів первинної енергії, таких як природний газ. На деяких заводах конвертерний газ використовується переважно для збагачення доменного газу [66, Йокш, 1995]. Коксовий і природний газ тільки підмішуються на станціях змішування як другий і третій пріоритети (ступеневе керування) [66, Йокш, 1995].

У табл. 7.27 показані переваги та недоліки неповного спалювання з окремим розглядом використання конвертерного газу.

Таблиця 7.27: Переваги та недоліки неповного спалювання з окремим розглядом використання конвертерного газу

Переваги	<ul style="list-style-type: none"> • Зниження об'ємної витрати відхідних газів • Великі розміри компонентів транспортування газу, що допомагають досягти більш рівномірних швидкостей у каміні конвертера • Зниження споживання енергії вентилятором відхідних газів • Зниження потреби у воді для охолодження відхідних газів • Конструювання систем утилізації пилу для менших обсягів відхідних газів • Можливість використання відхідних газів • Зниження викидів газу від умов плавлення з бурхливим кипінням внаслідок розміщення різних конструкцій герметичної «спідниці»
Недоліки	<ul style="list-style-type: none"> • Більш складне технологічне обладнання щодо стандартів техніки безпеки • Необхідність додаткових елементів • Необхідні додаткові заходи з техніки безпеки
<i>Джерело: [38, EUROFER BOF, 1997].</i>	

Склад конвертерного газу у разі неповного спалювання показаний у табл. 7.6. Коли застосовується повне спалювання, вміст CO набагато нижче, а вміст CO₂ відповідно вище.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У табл. 7.28 наведені приклади виробництва пари у котлах-утилізаторах на заводах компанії Thyssen Stahl AG, Німеччина.

Таблиця 7.28: Генерація пари в кисневому конвертері компанії Thyssen Stahl AG

Параметр	Одиниці вимірювання	Рурорт (Ruhrort)	Бекерверт (Beckerwerth)	Брюкхаузен (Bruckhausen)
Продуктивність	(т рідкої сталі/плавку)	4 × 140	3 × 250	2 × 380
Коефіцієнт забору повітря (*)	–	>2,0	0,4	0,15
Витрата димових газів	(нм ³ /т рідкої сталі)	250	115	87
Генерація пари	(кг пари/т рідкої сталі)	380	130	80
(*) Коефіцієнт забору повітря вказує, скільки повітря вводиться до газоходу димових газів, тобто коефіцієнт 2 означає, що кількість повітря, що забирається, у 2 рази більше кількості конвертерного газу, що утворюється				
<i>Джерело: [66, Йокш, 1995].</i>				

Утилізація енергії від системи повного спалювання із котлом-утилізатором, як повідомляється, проводиться із ККД 80 % від загальної кількості відведеного тепла. Коли застосовується неповне спалювання, утилізується лише 10 – 30 % (0,1 – 0,3 ГДж/т рідкої сталі) від загального виходу енергії в котлі-утилізаторі [66, Йокш, 1995].

Ще 50 – 80 % утилізується у вигляді хімічної енергії (CO) у конвертерному газі, залежно від коефіцієнта забору повітря. Коли газ спалюється на свічці, і, в такий спосіб, не утилізується, ця енергія втрачається.

При загальній утилізації енергії, коли застосовується неповне спалювання, утилізація конвертерного газу і ККД використання фізичного тепла у котлі-утилізаторі може досягти 90 % [1, Аріміцу, 1995], [66, Йокш, 1995].

Коли утилізується конвертерний газ, економія енергії становить 0,35 – 0,7 ГДж/т рідкої сталі, порівняно зі спалюванням на свічці. Система без витоків, розроблена Nippon Steel Corporation, призводить до того, що економія енергії досягає 0,98 – 1,08 ГДж/т рідкої сталі, і зростає виробництво розплавленої сталі на 0,4 %, порівняно зі спалюванням на свічці.

Міжсередовищні наслідки

Для утилізації конвертерного газу необхідне належне очищення сирого газу для відповідності вимогам мережевого газу. Коли застосовується повне спалювання, димові гази безпосередньо викидаються в атмосферне повітря. Загальні викиди у повітря знижуються, коли застосовується неповне спалювання. Крім того, значно більший обсяг димових газів від систем повного спалювання передбачає і дорожче, і порівняно менш ефективне очищення від пилу.

Утилізація енергії може призвести до економії первинних енергетичних ресурсів.

Утилізація конвертерного газу потенційно небезпечна і вимагає жорстких заходів безпеки (вибухонебезпечність, витoki монооксиду вуглецю тощо).

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Як утилізація тепла відхідних газів, так і утилізація конвертерного газу за допомогою неповного спалювання може застосовуватися на нових і наявних заводах. У деяких випадках це може виявитись економічно недоцільно або щодо належного керування енергією неможливо утилізувати конвертерний газ за допомогою неповного спалювання. У цих випадках конвертерний газ можна спалювати із виробництвом пари. Вид спалювання залежить від місцевого управління енергетикою.

Економічні дані

Інвестиції, які були потрібні у 2007 році, склали 30,5 млн євро на реалізацію проєкту, до складу якого входили газгольдер на 80 000 м³, дуттьові вентилятори, газоходи, триходові клапани у системах відхідних газів, заходи безпеки, монтаж та інженерно-технічні роботи тощо. Близько 80 % конвертерного газу потрібно утилізувати, а в підсумку щорічна економія енергії складе 2600 ТДж/рік = приблизно 12 євро/ГДж інвестицій. строк окупності становить близько п'яти років, з урахуванням економії від закупівель природного газу, витрат на експлуатацію, кредитів за скорочення викидів CO₂, зниження втрат під час спалювання на свічці, продаж газу виробникам електроенергії та зниження виробництва пари.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Утилізація енергії за допомогою систем повного спалювання або систем неповного спалювання широко застосовується у всьому світі. Існує тенденція до систем неповного спалювання, перш за все внаслідок логістичних переваг, порівняно із системами повного спалювання.

Довідкова література

[1, Арміцу, 1995] [65, InfoMil, 1997] [66, Йокш, 1995] [363, Eurofer, 2007]

7.3.8 Відбір проб у реальному часі та аналіз сталі

Опис

Виробництво сталі у кисневих конвертерах є періодичним процесом. Кожне завантаження рідкого чавуну повинно бути очищене для досягнення потрібної якості сталі. Для моніторингу успішності проведення процесу відбираються проби з ванни розплавленої сталі для проведення аналізу. Результати аналізу використовуються для визначення додаткового часу, необхідного для кисневої продувки з тим, аби сталь досягла необхідної якості.

Новітні системи динамічного моделювання та моніторингу досягли точності, яка робить зайвим відбір проб протягом продувки. Тоді контрольна проба відбирається протягом періоду розливки. Ця технологія виключає викиди внаслідок відбору проб.

Раніше було необхідно перервати кисневу продувку і нахилити конвертер для відбору проби. Для цього процесу потрібен час, і при цьому зростали викиди від конвертера. На сучасних заводах проби відбираються у реальному масштабі часу протягом кисневої продувки з використанням допоміжної фурми або подібного пристрою. Це дає можливість продовжувати процес доведення плавки під час аналізу проб. При цьому скорочується час виробничого циклу, і, отже, зростає продуктивність. Викиди нижче порівняно із колишнім методом відбору проб, оскільки позиція кисневого конвертера не змінюється.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Знижується час на проведення плавки, так що продуктивність зростає. Знижуються викиди у повітря, оскільки немає необхідності у нахиленні конвертера.

Міжсередовищні наслідки

Жодних міжсередовищних наслідків зафіксовано не було.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Ця технологія може бути застосована на всіх заводах. Наявні цехи необхідно модернізувати для встановлення системи для відбору проб.

Економічні дані

Витрати, ймовірно, знизяться у результаті зростання продуктивності.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

На більшості європейських заводів застосовується відбір проб у реальному масштабі часу та динамічне моделювання.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997] [363, Eurofer, 2007]

7.3.9 Підвищення ефективності використання енергії в сталеплавильних цехах за допомогою автоматизації

Опис

У цьому розділі включено два варіанти автоматизації сталеплавильного цеху:

- a) автоматизована система управління кришкою ковша
- b) автоматизована система випуску плавки з конвертера.

Технологія a) Автоматизована система управління кришкою ковша

Сталерозливний ківш використовується для вторинної обробки і транспортування рідкої сталі з кисневих конвертерів на безперервне розливання. При звичайній практиці ковші не покриваються під час обробки в ковші та транспортуванні, але кришка постійно використовується для запобігання надмірних втрат тепла протягом безперервної розливки. Після розливання та обслуговування ковша, ковші, що знаходяться в роботі, підігріваються за допомогою пальників, зазвичай з використанням коксового або природного газу для підтримання їх у нагрітому стані до наступного розливання.

На металургійному заводі Raabe Steel Works в м. Рааге, Фінляндія, в роботі постійно знаходиться від восьми до десяти ковшів. Ковші оснащені кришками, які видаляються тільки під час випуску з конвертера і протягом обробки у ковші. Пальники не потрібні для підтримання ковшів гарячими після обслуговування. Кисневі конвертери і майданчики для позапічної обробки сталі оснащені стендами з кришками, на яких кришки автоматично встановлюються та/або видаляються з ковша залежно від стадії процесу. Це – система з «відкидною кришкою», яка також дає можливість зливати шлак після розливання без видалення кришки.



Джерело: [208, Ліндфорс та ін., 2006]

Рис. 7.24. Автоматизована система управління кришкою ковша

Технологія b) Автоматизована система випуску плавки з конвертера

За допомогою використання наявної системи допоміжної фурми можна оцінити температуру сталі та вміст вуглецю в ній без нахилання конвертера у горизонтальне положення. Отже, випуск плавки може початися протягом 2-3 хв після закінчення продування, залежно від часу після перемішування. У 2004 році випускається приблизно 75 % плавок протягом трьох хвилин. Послідовність випуску, що ініціюється оператором, складається з таких автоматизованих стадій:

- випуску плавки
- шлакового покриття, і за необхідності сплеску шлаку
- зливу шлаку.

Інфрачервона камера, яку можна використовувати для виявлення відмінностей між сталлю і шлаком, показує, коли шлак входить в потік, що розливається, і коли автоматично завершується випуск плавки.

На рис. 7.25 схематично показана система автоматичного випуску.

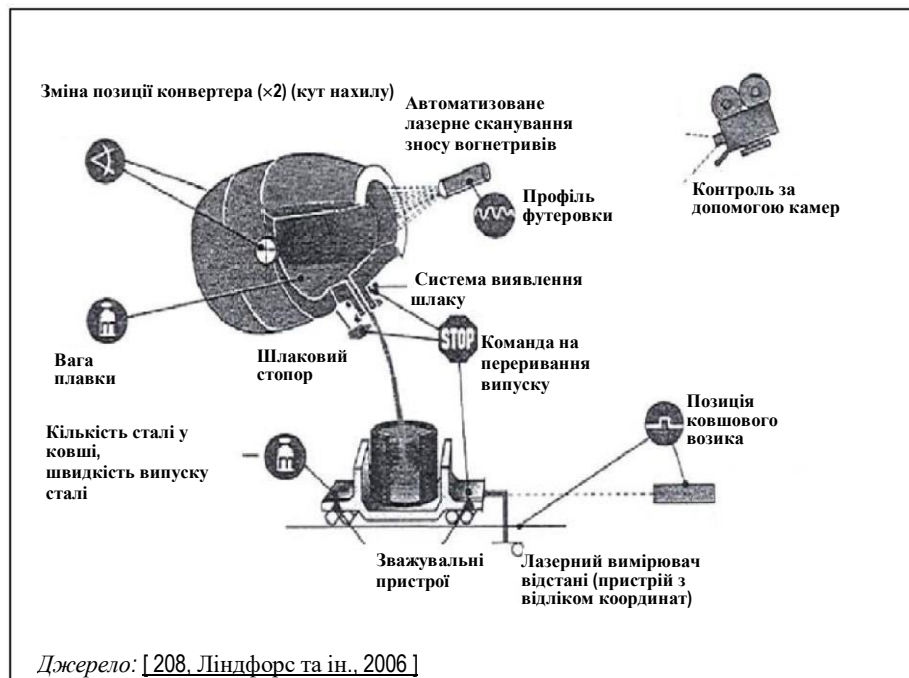


Рис. 7.25. Схема автоматизованої системи випуску металу

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Підвищується ефективність використання енергії (поліпшується контроль температури) та утворюється менше пилу.

Технологія а) Автоматизована система управління кришкою ковша

Оскільки втрачається менше тепла протягом циклу роботи ковша, середня температура випуску плавки знижується на 10 °С. Знижена температура випуску плавки дає можливість підвищити частку брухту в конвертері на 8 кг/т без додавання додаткового тепла, і, отже, підвищується продуктивність. Ще одна можливість полягає у виробництві сталі за меншої кількості рідкого чавуну на 8 кг/т, що еквівалентно зниженню викидів CO₂ на 15 кг/т. Відхилення температури випуску плавки знижується на 4 °С, що є суттєвим для контролю стійкості процесу. Температура сталі стає стабільнішою протягом усього процесу виплавки сталі, що знижує припинення розливань на машині безперервної розливки. Ковші практично вільні від шматків сталі та шлаку. Немає необхідності у додатковій енергії на майданчиках обслуговування ковшів, що дає змогу використовувати коксовий газ для інших застосувань на металургійному заводі. Кришки знижують викиди пилу і пряме випромінювання тепла від сталерозливних ковшів протягом транспортування. Дещо поліпшується ситуація зі зносом вогнетривів конвертерів і ковшів.

Технологія б) Автоматизована система випуску плавки з конвертера

Технологія демонструє кілька основних екологічних переваг:

- знижується цільова температура випуску плавки для сталі приблизно на 15 °С. Це дає можливість підвищити частку брухту, а, отже, знизити співвідношення рідкого чавуну в шихті.

При зниженні температури випуску плавки на 15 °С з'являється можливість зниження співвідношення частки рідкого чавуну приблизно на 9 кг на т нерафінованої сталі, що еквівалентно можливому загальному зниженню утворення CO₂ на 16 кг на тону нерафінованої сталі.

- внаслідок запобігання нахилу конвертера у горизонтальне положення для відбору проб після завершення продування, викиди гарячих газів і пилу знижуються.
- при точному визначенні часу припинення випуску сталі в конвертері залишається менше сталі, та, відповідно, менша її кількість зливається разом зі шлаком у шлаковий ківш. Менша кількість сталі у шлаковому ковші приводить не тільки до стабілізації процесу, але також й до менших викидів пилу при спустошенні ковшів;
- більший ступінь шлакового покриття приводить до більшого строку служби футеровки, і знижується необхідність в керамічних матеріалах. Груба оцінка стверджує, що при автоматизованому випуску на 20 % підвищується строк служби футеровки.

Ефективність використання енергії не тільки підвищує загальну продуктивність внаслідок скорочення часу між випусками сталі, але і знижує температуру випуску сталі, а це можна використовувати для підвищення рециркуляції брухту, а також підвищення виходу сталі.

Міжсередовищні наслідки

З використанням цієї нової практики не було зареєстровано жодних негативних взаємодій між середовищами.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія а)

Автоматизована система управління кришкою ковша, в принципі, може бути застосована для всіх металургійних заводів, з урахуванням характеристик наявних установок. Кришки можуть бути дуже важкими, оскільки вони виготовлені з вогнетривких цеглин. Вантажопідйомність кранів і конструктивні особливості всієї будівлі обмежують можливості застосування на наявних установках. Є різні технічні проектні рішення для реалізації системи з урахуванням реальних умов на заводі.

Технологія б)

Практика автоматизованого випуску сталі з конвертера може бути застосована в будь-якому конвертерному цеху, який оснащений системами швидкої та точної реєстрації температури і вмісту вуглецю в сталі в кінці продування, а також системою виявлення шлаку.

Економічні дані

Технологія а)

Автоматизована система управління кришкою ковша допомагає сталеварам значно знизити виробничі витрати.

Технологія б)

Практика автоматизованого випуску сталі з конвертера значною мірою пов'язана з підвищенням продуктивності, зниженням витрат на обслуговування і зниженням зносу вогнетривів.

Стимули для впровадження

Технологія а)

Стимулами для впровадження технології є підвищення продуктивності, кращий контроль процесу із підвищеним виходом, підвищення ефективності використання енергії та економія витрат.

Технологія б)

Підвищення продуктивності та споживання брухту є результатом практики автоматизованого випуску сталі. Стимулами для підвищення ступеня автоматизації цієї практики є:

- стабілізація та підвищення виробництва сталі, а також підвищення часу використання
- поліпшення контролю процесу
- поліпшення умов праці
- підвищення строку служби.

Приклади установок

Прикладом впровадження технологій а) і б) є завод в м. Руукі, Фінляндія.

Технологія б) – практика автоматизованого випуску сталі на металургійному заводі компанії SSAB Tunnpl t AB в м. Лулео, Швеція, була поступово впроваджена протягом кінця 1990-х років. Першим кроком стало впровадження технології прямого і швидкого випуску конвертерної сталі (QDT), з наступною автоматизацією всієї послідовності випуску плавки, включаючи випуск шлаку.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006]

7.3.10 Прямий випуск сталі з конвертера

Опис

Зазвичай дорогі пристрої типу допоміжної фурми або сенсорні тестові системи типу DROP IN використовуються без очікування на проведення хімічного аналізу відібраних проб (прямий впуск). Компанія Ovaко на своєму заводі в порті Коверхар, Фінляндія, розробила практику для досягнення прямого випуску без таких пристроїв. На практиці концентрація вуглецю при продуванні знижується до 0,04 %, і одночасно температура ванни рідкого металу знижується до заданого значення. Перед випуском плавки вимірюють температуру й активність кисню (із використанням кисневого концентраційного елемента) в рідкій сталі для прийняття подальших дій.

Рівень повторного продування на цьому заводі компанії Ovaко в порті Коверхар, Фінляндія, наразі складає приблизно 5 %.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

При прямому випуску сталі досягається підвищення ефективності використання енергії, і виявляються позитивні впливи на навколишнє середовище.

Перевагою практики прямого випуску сталі є, здебільшого, підвищення енергоефективності. Після продування ванна рідкого металу може охолотитися на 20 °С. Водночас, на 20 % скорочується час від випуску до випуску. Це означає значне підвищення продуктивності. Внаслідок підвищення теплообороту обсяг брухту зростає на 5 %, порівняно з практикою прямого випуску. Це означає зниження викидів CO₂ приблизно на 15 кг/т. Строк служби футеровки підвищується приблизно на 10 %. Внаслідок цього також можна досягти й більшої кількості використання матеріалу (брухту), що рециркулюється, і знижується вплив на навколишнє середовище.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Практика з погляду принципу застосовна на конвертерах із деякими попередніми умовами. Реалізація практики без додаткових пристроїв означає кілька років дослідно-конструкторських робіт.

Для успішних результатів при прямому продування необхідні деякі попередні умови, типу відповідного аналізатора рідкої сталі та пристроїв для запобігання витікання шлаку. Наявність печі-ковша полегшує реалізацію практики.

Економічні дані

Економічні переваги пов'язані зі зростанням продуктивності, зниженням споживання енергії та зносу вогнетривів.

Стимули для впровадження

Дедалі більша ефективність використання енергії є стимулом для впровадження технології. Іншими стимулами є підвищення продуктивності, економія витрат і зниження впливу на навколишнє середовище.

Приклади установок

Прямий випуск сталі використовує компанія Ovako на заводі Коверхар, Фінляндія, з 2001 року майже для всіх сортів сталі, і він пасує майже для всіх видів сталі, за винятком деяких спеціальних сталей. Частка прямого випуску становить на сьогодні 99 % для всіх плавок.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006]

7.3.11 Безперервна розливка смуги за формою, близькою до заданої**Опис**

Безперервна розливка смуги за формою, близькою до заданої, означає безперервне розливання смуги із товщиною менше 15 мм. Процес розливки об'єднується з прямою гарячою прокаткою, охолодженням і навиванням смуги без проміжної нагрівальної печі, що використовується для методів звичайної розливки, наприклад безперервної розливки слябів або тонких слябів. Тому розливка смуги представляє собою спосіб виробництва плоских заготовок різної ширини і товщини менше 2 мм.

Процес розливання можна розділити на різні способи. Всі вони характеризуються рухомими кристалізаторами без використання ливарного порошку. Найбільший промисловий інтерес викликає розливка подвійних рулонних смуг як техніка вертикальної розливки і пряма горизонтальна розливка смуг (яке раніше називалося прямою розливкою).

Огляд процесів розливки подвійними рулонними смугами та прямої горизонтальної смуги, а також подальших методів викладено в роботі [141, Феррі, М., 2006] (див. рис. 7.26).

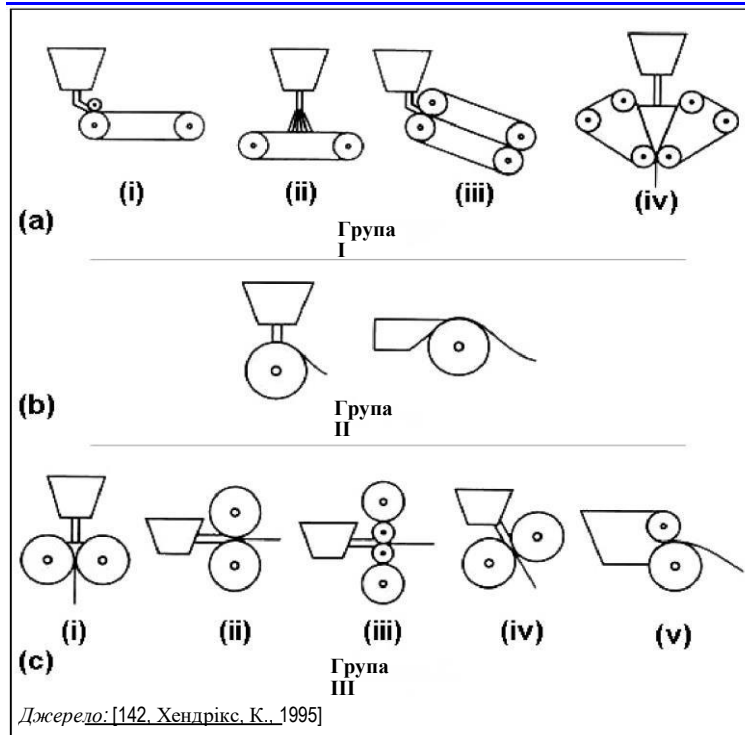
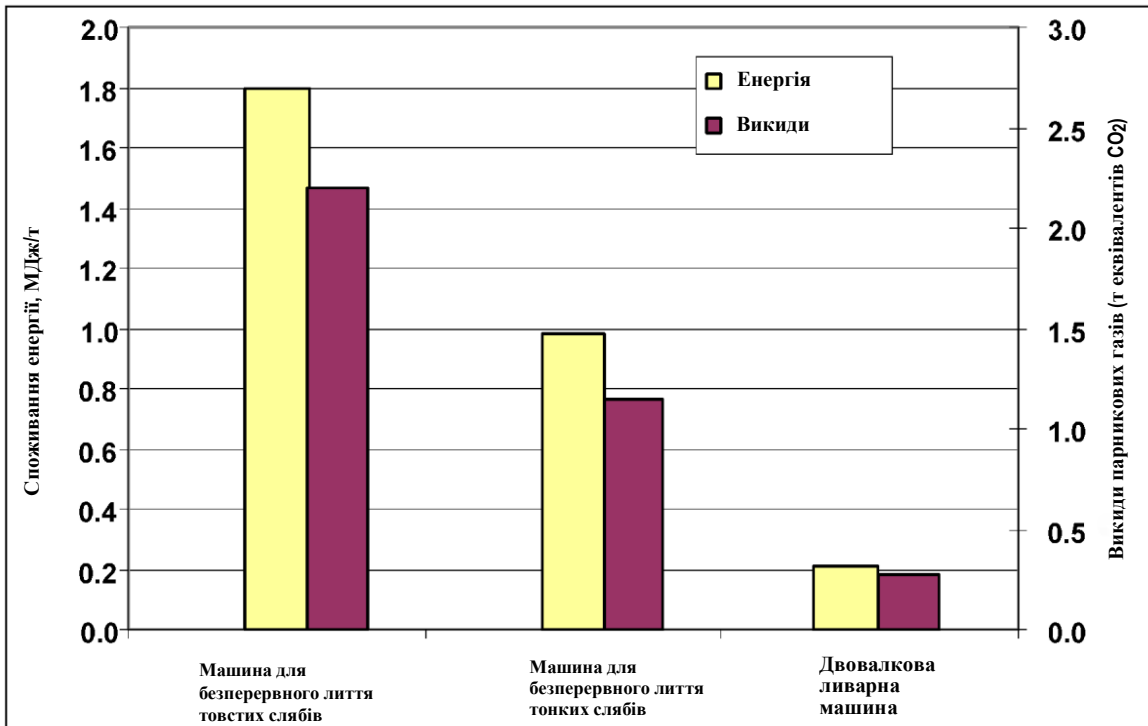


Рис. 7.26. Можлива схема класифікації для процесів безперервної розливки смуги

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Досягаються переваги для економії енергії, що, власне, засновані на тому факті, що нагрів не є необхідним, а також на зниженні рівня гарячої прокатки. Порівняно зі звичайним розливанням слябів, немає необхідності у додатковій енергії для досягнення температури, що вимагається для гарячої прокатки. Розрахунки щодо споживання енергії вже були зроблені в минулому. Співвідношення між споживанням первинної енергії та викидами CO₂ для різних методів розливки наведені на рис. 7.27 [141, Феррі, М., 2006] разом з основними стадіями процесу. Переоцінка споживання енергії для розливки смуги є частиною проекту, що виконується ВМВФ (Федеральним міністерством освіти та науки) [146, Шепенкьоттер, М., та ін., 2009].



Джерело: [141, Феррі, М., 2006]

Рис. 7.27. Співвідношення між споживанням первинної енергії та викидами CO₂ (порівняння установок промислового масштабу) для різних технологій розливання

Міжсередовищні наслідки

У цьому випадку міжсередовищні наслідки не було зафіксовано.

Експлуатаційні дані

Даних щодо рівня споживання немає.

Можливість застосування

Технологія розливки смуги може застосовуватись як для нових, так і для наявних металургійних заводів. Потрібна порівняно невелика площа (довжиною приблизно 100 м) для можливості інтеграції машини для безперервної розливки смуги під час модернізації.

Процес розливання може застосовуватись як до конвертерних цехів, так і до електродугових цехів. Додаткові металургійні технології стосуються сортів сталі, але не процесу розливання смуги.

Можливість застосування залежить також від вироблених сортів сталі (наприклад: при цьому процесі не можна робити товстий лист) та від асортименту продукції окремого металургійного заводу.

Економічні дані

Є три важливі економічні стимули для встановлення технології розливки смуги: капітальні витрати, економія енергії та необхідна площа. Крім того, технологія корисна для широкого діапазону сортів сталі та продуктивності однієї лінії розливної машини у 1,5 млн т/рік.

Стимули для впровадження

Стимули для впровадження цієї технології є багатогранними, зокрема:

- матеріальні міркування: машини безперервної горизонтальної розливки допомагають запобігти впливам внаслідок вигину і випрямлення заготовки. Зокрема, перевагою є виробництво сортів із найважливішими властивостями пластичності за високої температури за допомогою застосування даної технології. Можна виготовляти високолеговані сорти сталі (особливо з високим вмістом алюмінію), оскільки немає взаємодії з ливарним порошком
- економічні та екологічні міркування: основними економічними причинами є відсутність підігрівання смуги і зменшення гарячої прокатки. Адже обидва зазначені фактори приводять до зниження викидів.

Приклади установок

Установка для безперервної розливки смуг (двовалкова ливарна машина) експлуатується на заводі компанії ThyssenKrupp в м. Бохум, Німеччина (400 000 т/рік); на потужностях компанії Nucor Crawfordsville, штат Індіана, США (400 000 т/рік) та компанії Nippon Steel, Японія. Проводяться проекти компаніями Nucor Castrip в штаті Арканзас, США (500 000 т/рік) і POSCO, Корея (600 000 т/рік) [149, Кемпер, Г... 2008].

На 2010 рік заплановано пуск машини безперервної горизонтальної розливки з продуктивністю 500 000 т/рік.

Довідкова література

[141, Феррі, М., 2006] [142, Хендрікс, К., 1995] [146, Шепенкьоттер, М., та ін., 2009] [149, Кемпер, Г... 2008]

8 ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ В ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПЕЧАХ ТА ЛИТТЯ

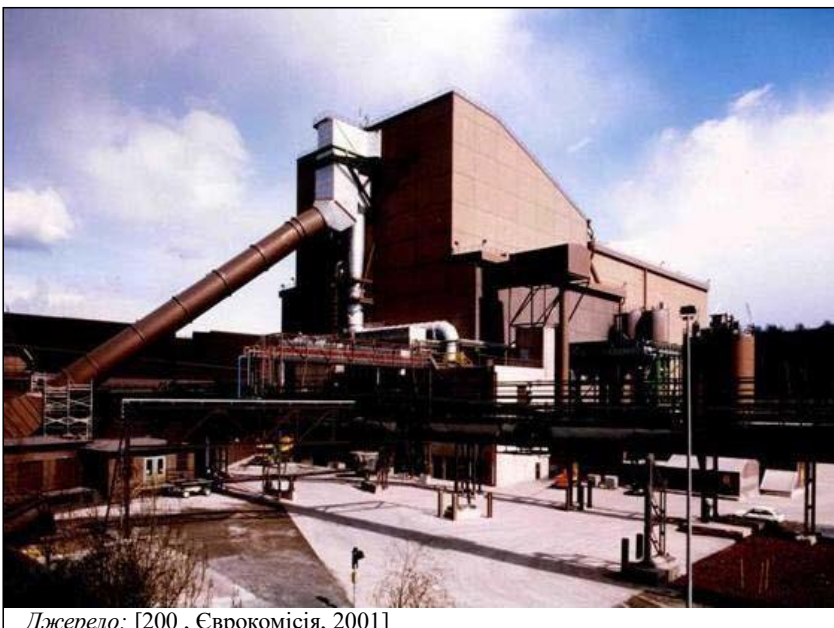
8.1 Процеси і технології, що застосовуються

Безпосереднє плавлення матеріалів, в яких міститься залізо, таких як металобрухт, зазвичай проводиться в електродугових печах (ЕАФ), які відіграють все важливішу роль в сучасних методологіях металургійного виробництва (див. рис. 8.1). Зараз частка електродугової сталі в загальному виробництві сталі у країнах-членах ЄС-27 становить 41,8 % [286, Шталь, 2008]. При частці 61 % в Італії та 77 % в Іспанії виробництво електродугової сталі значно вище, ніж у кисневих конвертерах (без урахування крайн-членів, у яких сталь виробляється виключно в електродугових печах).

Основною сировиною для ЕАФ є брухт чорних металів, в якому може міститися брухт самих металургійних заводів, відходи виробників виробів зі сталі (наприклад, виробники транспортних засобів) і важковаговий брухт або споживчий брухт (наприклад, вироби, в яких вплив строк експлуатації). Залізо прямого відновлення (DRI) також все частіше використовується як сировина внаслідок низького вмісту в ньому порожньої породи, змінних цін на брухт і зниженого вмісту небажаних металів (наприклад, міді). Феросплави можна використовувати як додаткову сировину в більших або менших кількостях для коригування бажаних концентрацій кольорових металів у готовій сталі.

Як і в кисневому конвертері, шлак утворюється з вапна, збираючи небажані компоненти в сталі [260, Німеччина, 2007], [373, Eurofer, 2007]. В електродуговій печі шлак утворюється під час виплавки вуглецевої сталі, коли відбувається плавлення сталевого брухту при додаванні вапняку та/або доломіту як флюсу при температурі близько 1 600 °С. Виробництво високолегованої сталі пов'язано з протіканням різних процесів, протягом яких утворюється кілька видів шлаків як побічних продуктів [177, Eurofer, 2009].

На рис. 8.1 показано електросталеплавильний цех. У цьому випадку будівля, що містить ЕАФ із двошаровою оболонкою, повністю закрита для мінімізації викидів пилу, газоподібних та шумових викидів.



Джерело: [200, Єврокомісія, 2001]

Рис. 8.1. Електросталеплавильні цехи

Електродугова піч зазвичай завантажується бруктом за допомогою металевих кошиків (мульд), що навісають над відкритою камерою, як можна побачити на рис. 8.2.



Джерело: [200, Єврокомісія, 2001] [260, Німеччина, 2007].

Рис. 8.2. Завантаження електродугової печі

Загальне уявлення про процес виплавки сталі в електродуговій печі можна побачити на рис. 8.3.

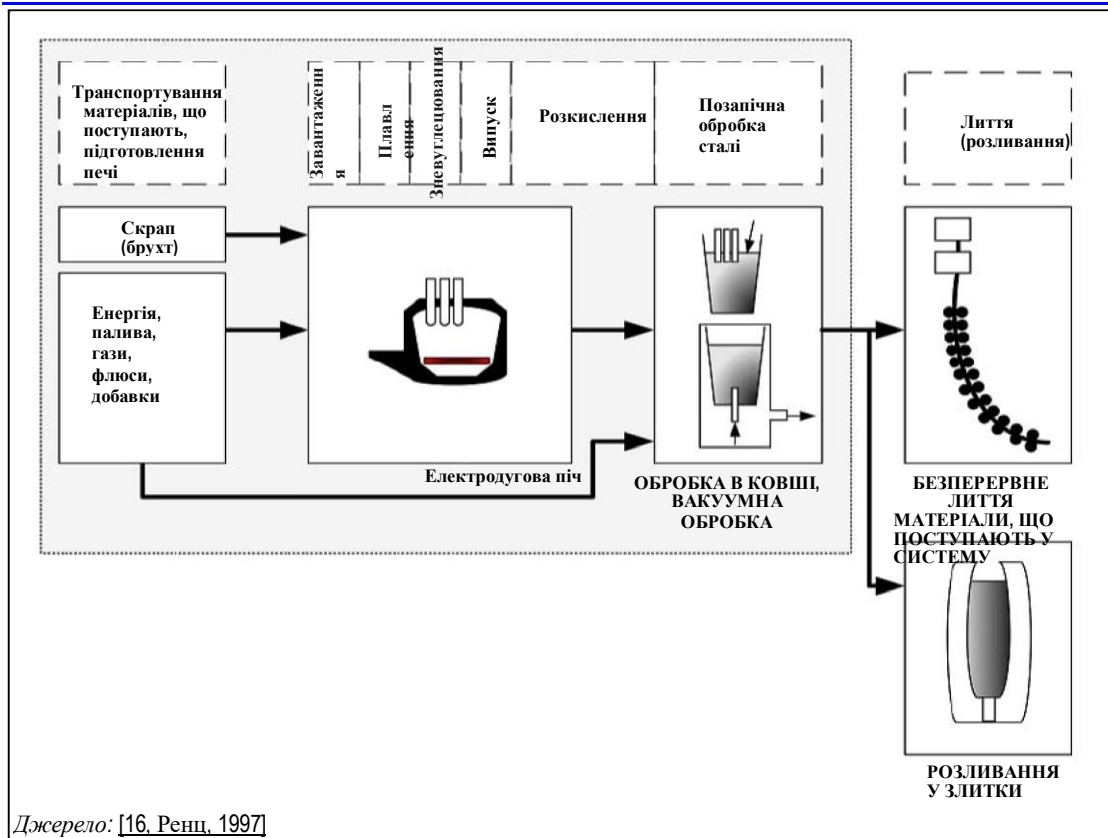


Рис. 8.3. Огляд процесів, пов'язаних із плавленням сталі в електродугових печах

Щодо кінцевих продуктів, слід розрізняти виробництво звичайної вуглецевої сталі, а також низьколегованої сталі та високолегованих сталей / нержавіючих сталей. В ЄС близько 88 % виробництва сталі – це вуглецева або низьколегована сталь [373, Eurofer, 2007].

Для виробництва вуглецевої сталі та низьколегованих сталей виконуються такі основні операції:

- обробка, попередня обробка сировини (якщо така є) та зберігання [373, Eurofer, 2007]
- завантаження печі
- плавлення брухту EAF
- випуск сталі та шлаку
- обробка в печі-ковші для регулювання якості
- обробка шлаків
- лиття.

Для високолегованих спеціальних сталей послідовність операцій є складнішою, і відбувається коригування з урахуванням вимог для кінцевого продукту. Процес ділиться на дві стадії: плавлення в електродуговій печі та зневуглецювання в процесі AOD (аргоно-кисневого зневуглецювання) або VOD (вакуум-кисневого зневуглецювання).

Після зневуглецювання проводяться різні види обробки у ковші (позапічна обробка сталі), такі як:

- десульфуріяція;
- дегазація для видалення розчинених газів на зразок азоту та водню.

8.1.1 Транспортування та зберігання сировини

Металобрухт зазвичай зберігається за межами підприємства на великих майданчиках, не покритих і часто не мощених. Брухт чорних металів завантажується в кошики за допомогою магнітів або грейферів. Придбання брухту відбувається на основі спеціальних міжнародних технічних умов, які мінімізують вміст неметалічних включень. При транспортуванні мінімізуються будь-які сторонні немагнітні матеріали типу каменів, деревини і кольорових металів, які не повинні надходити до процесу. Деякі типи та якості брухту протягом операцій зберігання металу та його транспортування можуть призвести до відкладення залишкових матеріалів на землі, а також відкладення важких металів і вуглеводнів.

Залежно від типів та якості брухту, що переробляється, операції транспортування також можуть призвести до неорганічних (пил) та органічних викидів за певних погодних умов. Деякі типи брухту також можуть стати причиною шумових викидів під час транспортування [220, Eurofer, 2008].

У деяких випадках проводиться сортування брухту для зниження ризику включення небезпечних забруднюючих речовин. Брухт, що утворюється на підприємстві, можна розрізати на керовані розміри з використанням різання кисневим списом. Брухт можна завантажувати у мульди на копровому цеху або транспортувати у тимчасове відділення брухту всередині електросталеплавильного цеху. У деяких випадках брухт підігрівають у шахті або на конвеєрі (див. Попереднє нагрівання брухту). У деяких випадках можуть бути проблеми з радіоактивним брухтом. Слід подивитися п. 2.3.1 [260, Німеччина, 2007].

Інші сировинні матеріали, включаючи флюси у шматках або порошку, вапно гашене гідратне (пушонку) та вуглець, легуючі добавки, розкислювачі та вогнетриви зазвичай зберігаються під покриттям. Після власне постачання транспортування мінімізується, і, в разі потреби, може використовуватись обладнання для пиловловлювання. Порошкоподібні матеріали можуть зберігатися в герметичному бункері (вапно повинне зберігатися в сухому вигляді) та переміщатися за допомогою пневмотранспорту або зберігатися в заварених мішках.

8.1.2 Попереднє нагрівання скрапу (брухту)

За останні кілька років дедалі більша кількість нових та наявних електродугових печей оснащується системою попереднього нагрівання брухту за допомогою відхідних газів для утилізації енергії. Підігрівання брухту успішно використовувалося більше 40 років у країнах із високою ціною на електроенергію, таких як Японія. Таке нагрівання брухту виконується або у завантажувальних кошиках, або у завантажувальній шахті (шахтній печі), доданий до дугової печі, або у спеціально спроектованій системі транспортування шлаку, що дає змогу робити безперервне завантаження протягом процесу плавлення (наприклад, процес CONSTELL і ESC – система випарного охолодження). У деяких випадках у процесі нагрівання додається навіть додаткова енергія у вигляді додаткового викопного палива [373, Eurofer, 2007].

Шахтна технологія розроблялася послідовно. У 1988 році німецька компанія Fuchs System Technik GmbH (нині SIMETAL) почала розробку для подолання недоліків підігрівачів скрапового кошика і вважала, що кращим варіантом є безпосереднє завантаження брухту в шахту, яка була розташована на зводу електродугової печі. З використанням однієї шахтної печі можна підігріти, як мінімум, 50 % брухту [125, Сміт, 1992].

Додаткові зміни полягали у виготовленні шахтної печі з подвійними стінками у двох екземплярах, які розміщувалися поруч одна з одною та обслуговувались одним комплектом електротримача. Брухт частково нагрівався за допомогою відхідних газів і частково за допомогою пальників, встановлених у боковій стінці.

Дуже ефективною конструкцією шахтної печі є шахтна піч з утримуючими пальцями. У конструкції шахтної печі використовується унікальна система утримання брухту пальцями, яка допомагає нагрівати 100 % брухту [162, Фосс-Шпілкер та ін., 1996]. Перший кошик підігривається протягом рафінування попереднього плавлення, а другий протягом розплавлення першого плавлення. У 1994 році перша шахтна піч із утримуючими пальцями була запущена в експлуатацію компанією Hylsa в м. Монтеррей, штат Нуево Леон, Мексика. За допомогою використання відхідних газів печі протягом циклу нагрівання брухт можна підігрівати до температури приблизно 800 °С перед заключним плавленням у камері дугової печі. Це означає значну економію енергії та витрат, при суттєвому зниженні часу від плавки до плавки.

Недавня розробка процесу підігрівання брухту полягає в технології COSS, яка об'єднує переваги систем шахтних печей з підігрівом брухту до високої температури з вигодами процесу CONSTELL, що полягають у безперервній подачі брухту [364, Фухс, Г., 2008].

8.1.3 Завантаження

Брухт зазвичай завантажуються у кошиках разом із вапном або доломітовим вапном, яке використовується як флюс для утворення шлаку. Завантажуються також вуглецевмісні матеріали, необхідні для виконання металургійних функцій в печі. На деяких печах завантажуються також шматкове вугілля для коригування вмісту вуглецю. Хоча до теперішнього часу й це не було підтверджено вимірами викидів, такий режим може призвести до суттєвих викидів бензолу (а також толуолу і ксилену). Електроди в печі піднімаються у верхню позицію, потім відводиться звід для завантаження.

Зазвичай садка складається з 50-60 % початкового брухту з першого кошика; потім звід закривається, а електроди опускаються до брухту. На відстані 200 – 300 мм від брухту відбувається запалювання електричної дуги. Після розплавлення першої садки додається частина брухту, що лишилася, з другого або третього кошика [260, Німеччина, 2007], [273, Eurofer, 2007], [373, Eurofer, 2007].

Кількість брухту, що завантажуються в електродугову піч, прямо пропорційна розміру печі. Наприклад, в електродугову піч з діаметром 6,7 м завантажуються близько 60 т брухту [260, Німеччина, 2007], [273, Eurofer, 2007].

Серійно виробляється система, відома як шахтна піч, яка дає змогу завантажувати у вертикальну шахту, інтегровану з пічним зводом, частину брухту, і в такий спосіб запобігає відкриттю зводу печі наполовину протягом процесу плавлення. Брухт, що знаходиться в шахті, нагрівається за допомогою гарячих газів із печі [373, Eurofer, 2007].

Ще однією системою завантаження, яка була прийнята деякими операторами, є процес CONSTEEL, коли брухт безперервно подається до дугової печі за допомогою горизонтальної конвеєрної системи. Це також дає можливість підігрівати брухт газами печі, які рухаються протитечійно.

8.1.4 Плавлення та рафінування в електродугових печах

Протягом початкового періоду плавлення підтримується низький рівень потужності, що постачається, для запобігання пошкодження стінок печі та звід від випромінювання, і, водночас, електроди можуть дістатися до брукху. Як тільки дуга екранується оточуючим брукхом, можна підвищити потужність, що подається, до завершення розплавлення. Щоразу більше використовуються кисневі фурми та/або киснево-паливні пальники для надання допомоги на ранніх стадіях плавлення. Палива включають природний газ і мазут. Крім того, можна подати кисень в рідку сталь за допомогою спеціальних сопел у горні або бічної стінки EAF.

Кисень в електродуговому виробництві сталі дедалі більше застосовується в останні 30 років, і не тільки з металургійних причин, але також і в зв'язку з вимогами щодо зростання продуктивності. Мета використання кисню різноманітна:

- спільне кисневе дуття і вдування гранульованого вугілля дає змогу отримати пінистий шлак, завдяки утворенню бульбашок CO. Технологія «пінистого шлаку», яка зараз широко використовується під час виплавки вуглецевих сталей, покращує екранування стін печі від випромінювання від дуги і допомагає підвищити передачу енергії від дуги до ванни розплавленої сталі [260, Німеччина, 2007]
- з металургійних причин кисень використовується для зневуглецювання розплаву і видалення інших небажаних елементів, таких як фосфор і кремній (силіцій)
- кисень також вдувається у верхню частину печі для «доспалення», щоб він прореагував із CO і вуглеводнями перед тим, як гази покинуть піч, з метою утримання якомога більшої кількості тепла, що утворюється під час проходження екзотермічних реакцій в печі [373, Eurofer, 2007].

Вдування кисню призводить до зростання утворення газів і диму в печі. Формуються гази CO і CO₂, надзвичайно дрібні частинки оксидів заліза та інші продукти. У разі доспалення вміст CO стає нижче 0,5 % об. [373, Eurofer, 2007].

Аргон або інші інертні гази можуть вдуватися до розплаву для забезпечення перемішування і вирівнювання температури. За допомогою цієї технології поліпшується також рівновага в системі шлак – метал.

Дим і гази, що утворюються протягом операції плавлення, переробляються на установці для очищення димових газів, яка включає пристрої для відведення та очищення з метою зниження викидів забруднюючих речовин.

8.1.5 Випуск сталі та шлаку

Може знадобитися видалення шлаку протягом нагрівання та окислення в кінці нагрівання, перед випуском. Піч нахилиється назад до шлакового вікна, і шлак зливається або збирається в ківш або на майданчик нижче печі, в результаті чого утворюються пил та дим. Для спеціальних сталей, здебільшого легованої сталі, з металургійних причин шлак випускається з рідкою сталлю в ківш. Велика частина шлаку відділяється від сталі на майданчику для скачування шлаку в шлаковий ківш. Дим, що утворюється при цьому, повинен уловлюватися за допомогою системи витяжки.

8.1.6 Позапічна обробка сталі

Вуглецева сталь

Позапічна обробка сталі проводиться для розплавленої сталі після випуску її зі сталеплавильної печі в місці розливання. Вона зазвичай проводиться на майданчиках для обробки у ковші, в той час як розплавлена сталь залишається у ковші. Ці майданчики для обробки зазвичай складаються з установки з дуговим нагріванням (піч-ківш), яка дає можливість коригувати кінцеву температуру рідкої сталі для операції розливання. Обробка включає в себе додавання розкислювачів і легуючих елементів для коригування хімічного складу готової сталі. У деяких випадках використовуються установки для вакуумної обробки з метою досягнення спеціальних вимог, що ставляться до концентрації таких елементів, як водень, азот і кисень у готовій сталі. Для досягнення хорошого усереднення в ківш вдуваються інертні гази (аргон або азот) із метою перемішування. Деякі майданчики для невеликої обробки засновані на обладнанні для вдування інертного газу або порошку. На рис. 8.4 показана блок-схема з безліччю можливих видів позапічної обробки сталі. Залежно від типу виробленої сталі, застосовуються один або кілька видів такої обробки. Деякі з цих видів обробки застосовуються для сталі, що знаходиться у ковші; для інших видів потрібна окрема посуда для обробки. Деякі види обробки проводяться під вакуумом, інші за умов використання інертного газу [373, Eurofer, 2007].

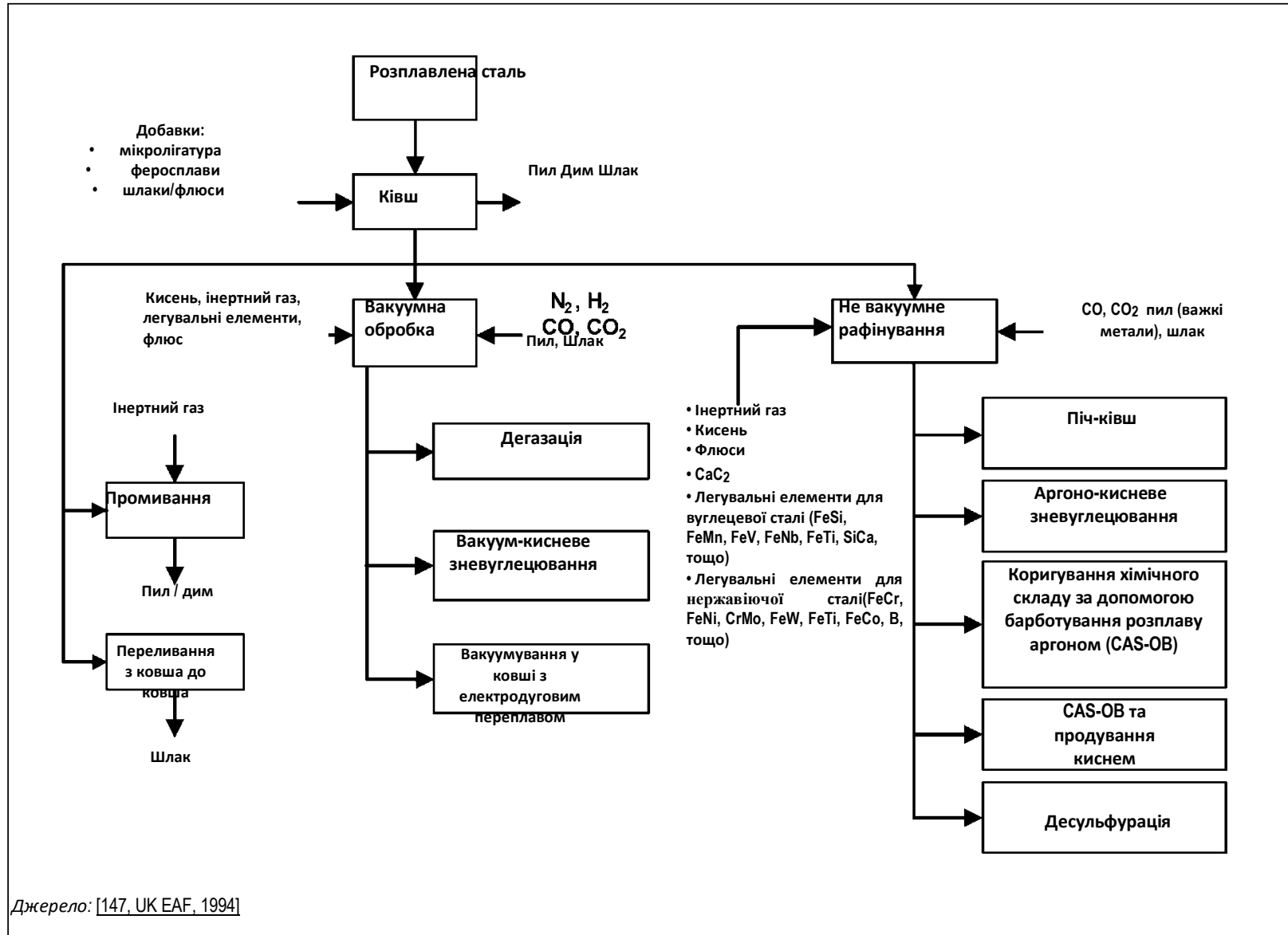


Рис. 8.4. Блок-схема можливих видів позапичної обробки сталі в ковші для різних сортів сталі (вуглецевої, нержавіючої або високолегованої)

У випадку виробництва сталей, що містять свинець, газу, які містять свинець, повинні піддаватися спеціальному очищенню (див. інформацію про позапічну обробку сталі в киснево-конвертерному виробництві у п. 7.3.2.3).

Нержавіюча сталь

Позапічна обробка нержавіючих сталей повинна виконуватися під вакуумом у ковші (процес VOD – вакуум-кисневе знеуглецювання) або в окремому металургійному агрегаті, що називається AOD-конвертером (аргоно-кисневе знеуглецювання) з подальшою обробкою в ковші. Залежно від сорту сталі, який потрібно виготовити, деякі оператори застосовують поєднання AOD і VOD [373, Eurofer, 2007].

Графічне представлення цеху з виплавки нержавіючої сталі з AOD-конвертером наведено на рис. 8.5.

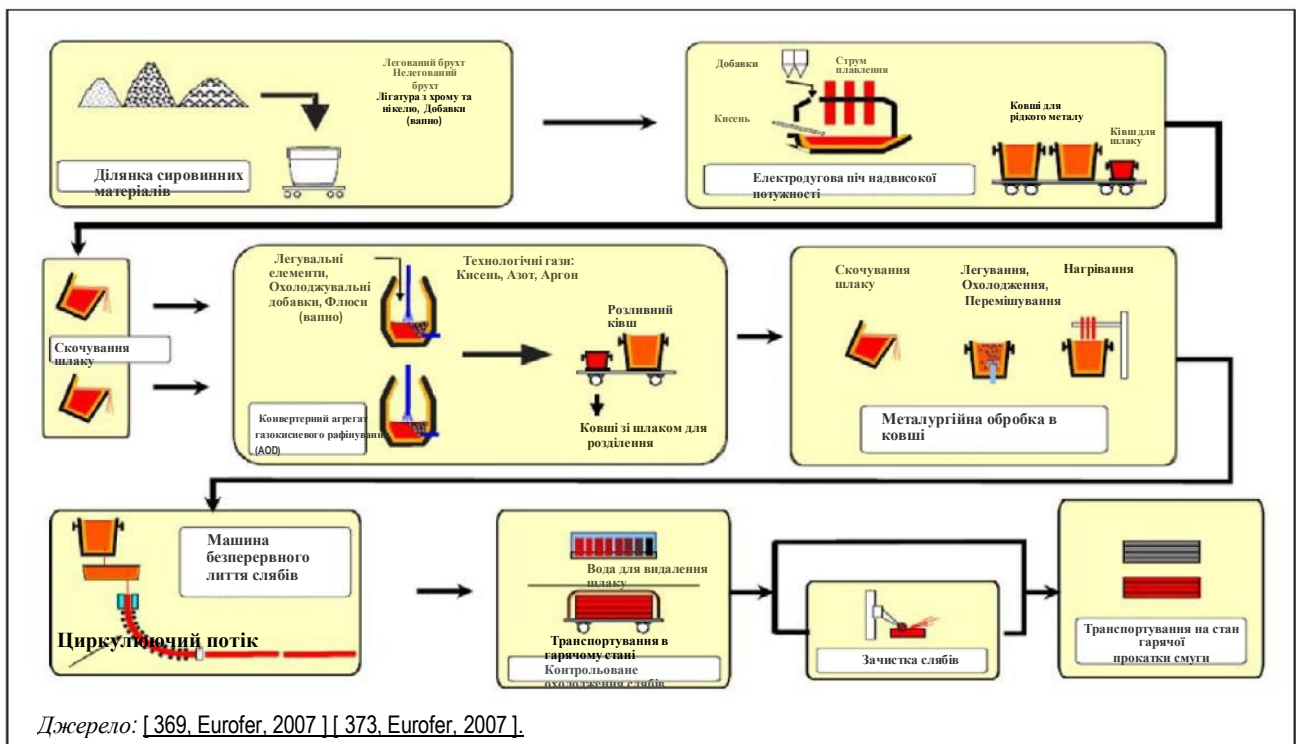


Рис. 8.5. Потік матеріалів у цеху виплавки нержавіючої сталі з конвертером аргоно-кисневого знеуглецювання

Легована сталь

Позапічна обробка легованих сталей, які містять (крім вуглецю) суттєві кількості легувальних елементів, але не класифікуються як нержавіючі сталі, включає зазвичай піч-ківш і, за необхідності, вакуумну обробку, залежно від сорту виробленої сталі.

Протягом більшості процесів позапічної обробки шлаки використовуються для вловлювання неметалевих сполук, що утворюються при обробці [373, Eurofer, 2007].

8.1.7 Транспортування та обробка шлаку

Якщо шлак збирається в шлаковий ківш після EAF (або після установок для позапічної обробки типу AOD або VOD), для затвердіння він повинен бути розлитий в зовнішні басейни для шлаку. Охолодження шлаку можна покращити за допомогою зрошення водою.

Деякі дільниці працюють із переробкою шлаку протягом рідкої фази для підвищення якості кінцевого шлаку та стабільності його розмірів за допомогою додавання кремнезему, глинозему, бору (бората кальцію або бората натрію) і перевірки часу охолодження.

На деяких установках шлаки з різних процесів змішуються в рідкій фазі для того, щоб вони були більш придатні для подальшої переробки.

Якщо шлак розливається на підлогу, його попередньо дроблять після затвердіння з використанням екскаваторів або ковшових навантажувачів і переміщують на зовнішній майданчик зберігання.

Після певного періоду часу шлак переробляється в пристроях для дроблення і просіювання, для того щоб він отримав бажану консистенцію. Протягом цієї операції будь-які металеві частинки, що містяться в шлаку, відокремлюються за допомогою магнітів, вручну або з використанням виймання, дроблення і просіювання для рециклінгу в процесі виробництва сталі. Утилізовані зі шлаку метали особливо чутливі для металів із високою комерційною цінністю. При дробленні шлаку та утилізації металів можуть відбуватися викиди пилу [373, Eurofer, 2007].

Іноді використовується вода для охолодження шлаку протягом випуску сплаву, що покращує його мікроструктуру, досягаються кращі механічні властивості. Цей чорний шлак переробляється для отримання матеріалів для дорожнього будівництва, в той час як білий шлак можна використовувати, наприклад, як вапняне добриво [260, Німеччина, 2007], [273, Eurofer, 2007].

8.1.8 Лиття (розливання)

З метою контрольованого затвердіння електродугової сталі зазвичай застосовуються ті самі технології, що й для конвертерної сталі. Використовується опис з п. 7.1.5.

У той час, як загальна тенденція полягає у витісненні розливання у злитки безперервним литтям, розливання у злитки буде продовжувати застосовуватися для деяких спеціальних сталей, вироблених в електродугових печах.

8.2 Чинні рівні споживання ресурсів та викидів

8.2.1 Огляд основних потоків і показників споживання та виробництва

На рис. 8.6 представлений огляд вхідних і вихідних масових потоків для електродугових печей. Цей огляд можна використовувати для збору показників від електродугової печі.

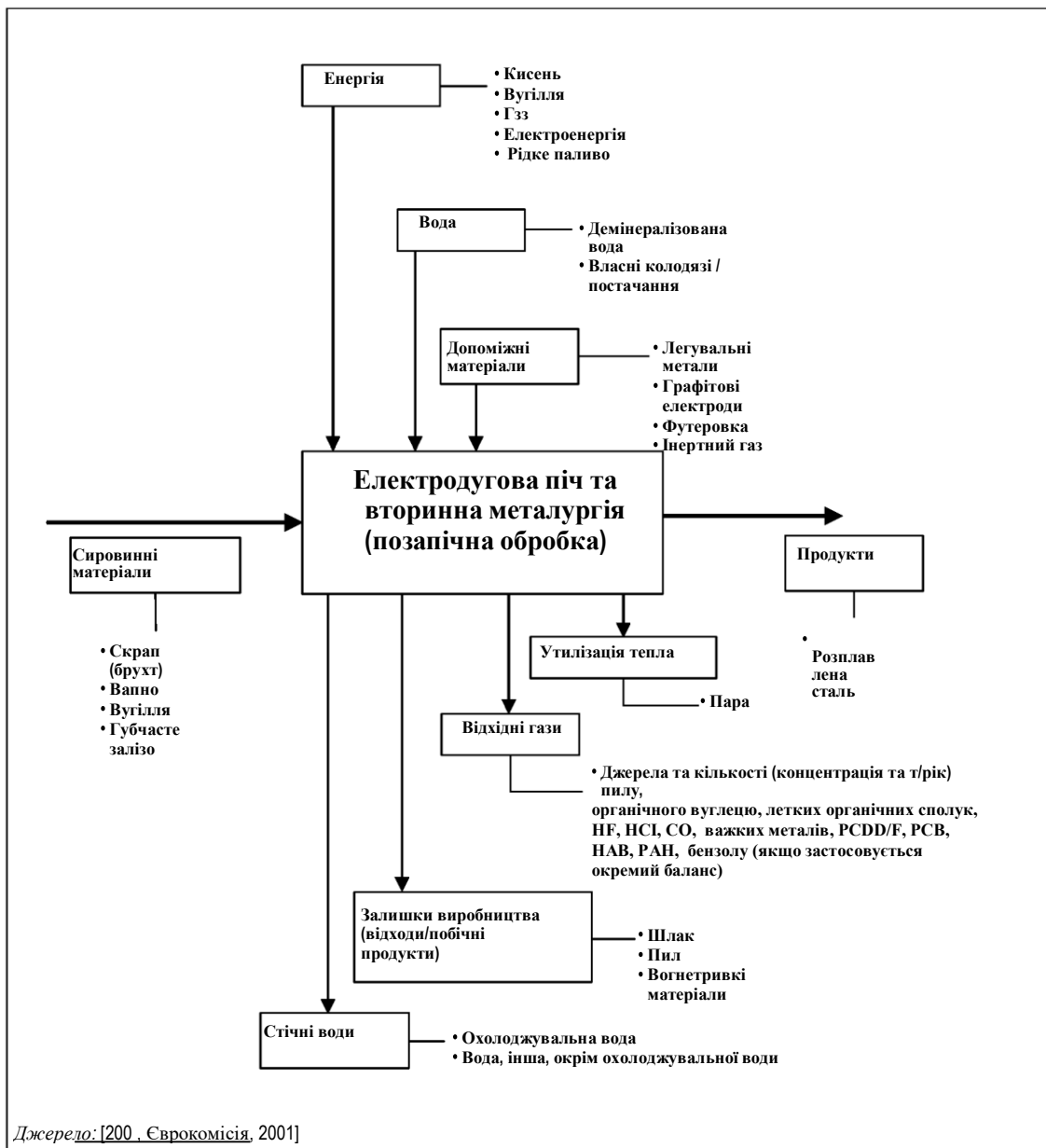


Рис. 8.6. Загальне уявлення про масові потоки в електродугових печах

Були визначені питомі показники для потоків матеріалів, а також питомі показники викидів для електродугових печей. Ці показники представлені в табл. 8.1. Показники отримані з різних джерел, що згадані у виносках.

Таблиця 8.1: Вхідні та вихідні дані для електродугових печей в ЄС

Вхід			Вихід		
Сировинні матеріали			Продукти		
Вхід металу: Скрап (брухт) Чавун у чушках Рідкий чавун ⁽¹⁾ DRI (HBI)	кг/т рідкої сталі кг/т рідкої сталі кг/т рідкої сталі кг/т рідкої сталі	1 039 – 1 232 0 – 153 0 – 215	Рідка сталь (LS)	кг	1 000
Вапно/доломіт ⁽²⁾	кг/т рідкої сталі	25 – 140	Викиди у повітря		
Вугілля (включаючи антрацит вугілля)	кг/т рідкої сталі	3 – 28	Витрата відхідних газів	млн нм ³ /год нм ³ /т рідкої сталі	1 – 2 8 000 – 10 000
Графітові електроди	кг/т рідкої сталі	2 – 6	Пил	г/т рідкої сталі мг/м ³	4 – 300 0,35 – 52
Вогнетривка футеровка	кг/т рідкої сталі	4 – 60	Hg	мг/т рідкої сталі	2 – 200
Лігатура: Вуглецева сталь Високолегована та нержавіюча сталь	кг/т рідкої сталі кг/т рідкої сталі	11 – 40 23 – 363	Pb	мг/т рідкої сталі	75 – 2 850
Гази			Cr	мг/т рідкої сталі	12 – 2 800
Кисень	м ³ /т рідкої сталі	5 – 65	Ni	мг/т рідкої сталі	3 – 2 000
Аргон	м ³ /т рідкої сталі	0,3 – 1,45	Zn	мг/т рідкої сталі	200 – 24 000
Азот	м ³ /т рідкої сталі	0,8 – 12	Cd	мг/т рідкої сталі	1 – 148
Пара ⁽³⁾	кг/т рідкої сталі	33 – 360	Cu	мг/т рідкої сталі	11 – 510
Енергія			HF	мг/т рідкої сталі	0,04 – 15 000
Електроенергія	кВт-год/т рідкої сталі МДж/т рідкої сталі	404 – 748 1 454 – 2 693	HCl	мг/т рідкої сталі	800 – 35 250
Палива (природний газ і рідке паливо)	МДж/т рідкої сталі	50 – 1 500	SO ₂	г/т рідкої сталі	5 – 210
Вода			NO _x	г/т рідкої сталі	13 – 460
Вода	м ³ /т рідкої сталі	1 – 42,8	CO	г/т рідкої сталі	50 – 4 500
			CO ₂	кг/т рідкої сталі	72 – 180
			Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	г C/т рідкої сталі	35 – 260
			Бензен (бензол)	мг/т рідкої сталі	30 – 4 400
			Хлорбензени	мг/т рідкої сталі	0,2 – 12
			РАН ⁽⁴⁾	мг/т рідкої сталі	9 – 970
			PCB ⁽⁵⁾	мг/т рідкої сталі	0,01 – 5
			PCDD/F	мкг I-TEQ/т рідкої сталі	0,04 – 6
			Залишки виробництва (відходи/побічні продукти)		
			Шлак від печі	кг/т рідкої сталі	60 – 270
			Шлак від ковша	кг/т рідкої сталі	10 – 80
			Пил	кг/т рідкої сталі	10 – 30
			Відходи вогнетривів	кг/т рідкої сталі	1,6 – 22,8
			Шум		
				дБ (А)	90 – 133

(1) Рідкий чавун використовується тільки в спеціальних випадках (близько 275 кг/т рідкої сталі), коли якість брухту нижче

(2) Зазвичай використовується вапно, але в невеликій кількості випадків використовується один доломіт або доломіт разом із вапном (наприклад, у ваговому співвідношенні 63/37)

(3) Пара зазвичай не використовується при виплавці сталі в електродугових печах, за винятком установок вторинної металургії (позапічної обробки) з вакуумною обробкою

(4) Немає узгодженої бази даних, деякі результати подають підсумок 16 ЕРА РАН, інші – тільки частину

(5) Немає узгодженої бази даних: значення стосуються різних РСВ (2 з них стосуються згаданої номенклатури Большміттера (Ballschmiter PCB), 3 до ВООЗ-ТЕQ і 2 без додаткових зазначень).

Примітка: — Деякі методології вимірювань можуть значно змінюватися від країни до країни і від заводу до заводу. Не всі викиди речовин вимірюються на всіх заводах. Програми вимірювань значно змінюються залежно від вимог у дозволах.

— Дані зібрані з інформації, представленій операторами сталеплавильних цехів (вуглецева сталь, легована сталь, нержавіюча сталь), які представляють 374 млн т виробленої сталі. Це близько до 50 % від загальної кількості сталі, виробленої в 11 країнах ЄС у 2004 році

— LS = рідка сталь.

Джерело: [140, Eurofer, 2009] [200, Єврокомісія, 2001] [220, Eurofer 2008] [234, Польща, 2007] [367, Прюм та ін., 2005] [371, Eurofer, 2007] [372, чеський член ТРГ, 2008].

Поза всякими сумнівами, основним джерелом заліза для електродугових печей є брухт. Рідкий чавун і залізо прямого відновлення використовуються доволі невеликою кількістю операторів, зазвичай досить випадково.

Отже, важко вказати репрезентативні діапазони. Рідкий чавун і залізо прямого відновлення можуть використовуватися для коригування складу для деяких сортів сталі. У деяких випадках надходження заліза прямого відновлення або рідкого чавуну може бути також пов'язане з економічними причинами. Брикетоване залізо (НВІ), власне, є гарячим брикетованим залізом прямого відновлення. Воно краще придатне для звернення і транспортування і менше піддається атмосферному окисленню.

Питомі викиди, зазначені в табл. 8.1, є результатом обстеження з опитуваннями. Широкий діапазон, що спостерігається для деяких питомих викидів, може мати таке походження:

- відмінності в характеристиках природоохоронного обладнання;
- відмінності в граничних значеннях викидів, запропонованих національними або місцевими органами влади;
- відмінності в якості вимірювань – частоті, точності, відборі проб, лабораторних методологіях тощо;
- відмінності в матеріалах, що надходять;
- відмінності в характеристиках печей;
- тип виробленої сталі (викиди металів);
- продуктивність печі.

[220, Eurofer, 2008], [373, Eurofer, 2007].

8.2.2 Екологічні проблеми для процесу виробництва сталі в електродугових печах

Процес виробництва сталі в електродугових печах здебільшого є джерелом викидів пилу і твердих відходів/побічних продуктів. Споживання енергії також відіграє важливу роль у виплавці сталі в електродугових печах. Коли технології очищення застосовуються для зниження викидів, відбуваються взаємодії між середовищами. Здебільшого, у нижченаведених п.п. 8.2.2.1 – 8.2.2.6 описано більшість найважливіших екологічних проблем у процесі виплавки сталі в електродугових печах.

8.2.2.1 Викиди у повітря

8.2.2.1.1 Уловлювання первинних викидів

Первинні гази представляють приблизно 95 % загальних викидів від електродугових печей [22, ЕС EAF, 1994]. На більшій частині дугових печей відбираються первинні викиди з четвертого отвору з патрубком для газовідсмоктувача (в разі трьох електродів – печі на змінному струмі (див. рис. 8.7) або з другого отвору з патрубком для газовідсмоктувача (в разі одного електрода – печі на постійному струмі). Отже, 85-90 % всіх викидів протягом повного циклу від плавки до плавки можна відводити [22, ЕС EAF, 1994]. Все ще є невелика кількість печей, в яких немає четвертого отвору, але є шумопилозахисний кожух; повне закриття печі з адекватним відведенням газу [373, Eurofer, 2007].

8.2.2.1.2 Уловлювання вторинних викидів

Відхідні гази, які утворюються при обробленні брухту, завантаженні та випуску плавки, а також при викидах із пічних отворів типу диму (тобто отворів, у яких встановлені електроди, і вікон), уловлюються за допомогою витяжного накриття, що зазвичай розміщується вище печі. У них можуть міститися всі забруднюючі речовини, описані в розділі первинних викидів.

Найсучасніші печі часто встановлюються в будівлях із закритими верхніми частинами і потужною системою відсмоктування в районі даху. Залежно від розмірів будівлі та потужності печі витрата газів в системі відсмоктування може перевищувати 1 млн м³/год [373, Eurofer, 2007].

Застосовуються такі конфігурації для вловлювання:

- електродугові печі з уловлюванням первинних відхідних газів від печі (2-ий та 4-ий отвір) і витяжний парасоль для вловлювання вторинних відхідних газів, встановлений в будівлі з відкритою секцією даху
- електродугові печі з уловлюванням первинних відхідних газів від печі (2-ий та 4-ий отвір) та шумопилозахисним кожухом, що уловлює весь дим з печі, з відведенням в одну систему витяжки, встановлені в будівлі з відкритою секцією даху
- електродугові печі з уловлюванням первинних відхідних газів від печі (2-ий та 4-ий отвір), встановлені в будівлі з повністю закритим дахом, зі збором потоку вторинних відхідних газів
- в деяких випадках уловлювання відбувається тільки з одного отвору (2-го або 4-го).

На рис. 8.7 показано три основні типи систем уловлювання відхідних газів для печей на змінному струмі з 4-м отвором для відсмоктування.

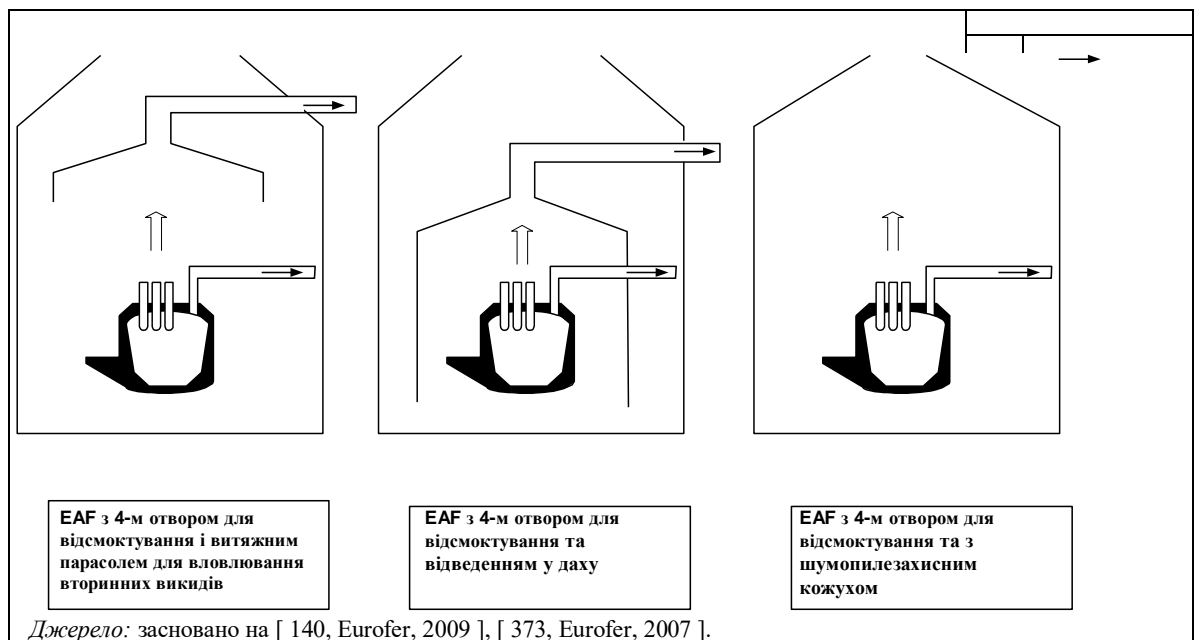


Рис. 8.7. Системи уловлювання на електродугових печах

Шумопилозахисний кожух може мати різні конструктивні варіанти. Є велика кількість таких кожухів, коли шихтовий кран входить (або майже входить) у верхню частину кожуха, яка закрита протягом завантаження, і кожух працює як парасоль. Інший тип шумопилозахисного кожуха невеликого розміру, і він повністю відкритий протягом завантаження. У цьому випадку необхідний додатковий парасоль для уловлювання шлейфів диму під час завантаження.

Якщо позапічна металургія (позапічна обробка сталі) проводиться в тій самій будівлі, де знаходиться електродугова піч, викиди можна також уловлювати за допомогою витяжного накриття і відведення під дахом [373, Eurofer, 2007].

У табл. 8.2 оцінена якісна ефективність уловлювання викидів від основних операцій під час виплавки сталі в електродугових печах.

Таблиця 8.2: Системи уловлювання викидів з ЕАФ

Джерела викидів	Завантаження	Плавлення (в ЕАФ)	Випуск плавки	Позапічна обробка ⁽¹⁾	Безперервне лиття ⁽¹⁾
4-ий отвір	Немає	Так	Немає	Так, якщо оснащена	NA
Витяжний парасоль	Так, частково	Так	Так, частково	Так, якщо оснащена	Так, якщо оснащена
Шумопилозахисний кожух	Тільки якщо закритий ⁽²⁾	Так	Так	Так, якщо оснащена	NA
Загальне видалення з будівлі	Так	Так	Так	Так	Так

(1) Якщо знаходиться в тій самій будівлі.
(2) Зазвичай шумопилозахисний кожух не закривається протягом завантаження, так як це заважає доступу до ЕАФ. Примітка: NA = Немає даних.
Джерело: [22, ЕС ЕАФ, 1994 | [373, Eurofer, 2007].

На рис. 8.8 показані відсоткові значення систем уловлювання відхідних газів для вибірки з 51 ЕАФ в країнах-членах ЄС. Уловлювання з 4-го отвору первинних викидів у звід печі поширене майже скрізь. На значній кількості печей є або витяжні парасолі, або будівля є повністю захисною. Деякі печі все ще працюють тільки з уловлюванням з 4-го отвору.

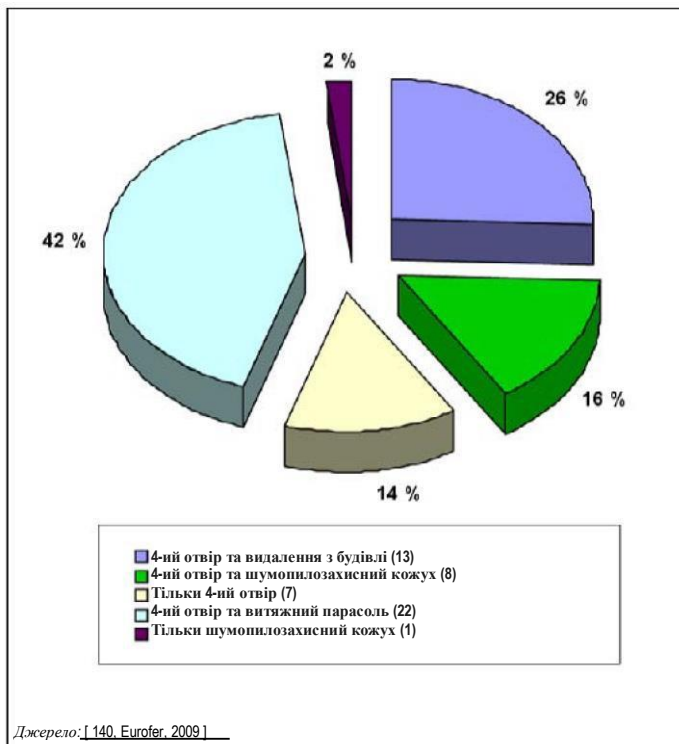


Рис. 8.8. Відсоткові частки наявних систем знепилювання для 51 ЕАФ в ЄС

За винятком забруднюючих речовин у мікрокількостях, типу хлорорганічних сполук, особливо PCDD/F, забруднення від вторинних відхідних газів (в основному витоку з ЕАФ) вносить свій внесок у загальні викиди.

Для мінімізації загальних викидів PCDD/F необхідно враховувати і вторинні викиди, що підкреслює необхідність повного видалення викидів із будівлі.

8.2.2.1.3 Первинні та вторинні викиди і очищення

У газах первинних і вторинних викидів із електродугових печей містяться пил, метали, оксиди азоту та сірки і органічні речовини (наприклад, леткі органічні сполуки, РСВ, РАН, PCDD/F). Викиди органічних речовин здебільшого залежать від якості брухту. У деяких видах брухту є фарби, масла та інші органічні речовини [367, Прюм та ін., 2005].

Інформація про вторинні викиди обмежена. При завантаженні EAF зазвичай відбуваються викиди 0,3 – 1 кг пилу/т рідкої сталі, а при випуску плавки зазвичай 0,2 – 0,3 кг пилу/т рідкої сталі (викиди до очищення) [22, ЕС EAF, 1994]. Що стосується витоків диму, то протягом роботи EAF повідомляють про питомі викиди пилу від 0,5 до 2 кг пилу/т рідкої сталі [30, Рьодерер та ін., 1996].

Питомі викиди як сума з трьох згаданих джерел (завантаження, випуск плавки, виток диму) варіюються від 1,4 до 3 кг пилу/т рідкої сталі перед очищенням [30, Рьодерер та ін., 1996]. Це можна вважати підтвердженням того, що первинні викиди приблизно у десять разів вищі ніж вторинні викиди.

Зазвичай очищення різних потоків відхідних газів (тобто первинних і вторинних викидів) здійснюється в одному і тому ж пристрої, здебільшого в рукавних фільтрах [373, Eurofer, 2007]. Тільки в декількох випадках є електрофільтри та застосовуються мокрі скрубери. У табл. 8.3 наведені приклади для досягнутих концентрацій викидів у повітря від процесу в EAF після очищення із застосуванням рукавних фільтрів або електрофільтрів.

Таблиця 8.3: Концентрації викидів у повітря від EAF після очищення

Параметр		Рукавний фільтр	Електрофільтр ⁽¹⁾	Одиниці вимірювання
Пил		0,35 – 3,4	1,8	мг/м ³
CO		88 – 256		мг/м ³
NO _x		0,97 – 70		мг/м ³
SO _x		8 – 17		мг/м ³
Метали:	Hg	0,016 – 0,019	<0,0003	мг/м ³
	Разом (включаючи Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Se, Te, Ni, Co, Sn)	0,006 – 0,022	0,01 – 0,07	мг/м ³
	Cr (окрім Cr (VI))	0,013		
	Mn	0,036		
	Ni	0,003		
РАН		<0,00001	<0,001	мг/м ³
PCDD/F		0,0015 – 0,1 ⁽²⁾		нг/м ³
HF		0,085 – 0,2		мг/м ³
HCl		3 – 5,4		мг/м ³
Cl ₂		<3		мг/м ³

(1) Значення стосуються однієї німецької печі, що виплавляє нержавіючу сталь.
(2) Верхня межа діапазону стосується вимірювань, проведених у 1997 році.
Примітка: — Представлені середні щорічні значення, і вони стосуються централізованої системи пиловидалення.
— У РАН містяться бензопірен і дібензо-(а,һ)-антрацит.
Джерело: [244, Плікерт, 2007] [277, Вісенбергер, 2007].

Пил

У газах міститься 10 – 30 кг пилу/т рідкої вуглецевої сталі або низьколегованої сталі, і 10 – 18 пилу/т рідкої високолегованої сталі перед очищенням. У EAF для виплавки нержавіючої сталі максимальне значення утворення пилу становить 30 кг/т. У разі конвертера типу AOD в газах (EAF і AOD) міститься 10 – 46 кг/т легованої сталі. Склад пилу можна перевірити з аналізу пилу, відділеного з відхідних газів у рукавних фільтрах або в електрофільтрах (див. табл. 8.10). Більша частина важких металів пов'язується переважно з пилом, і в такий спосіб значно віддаляється з відхідних газів при очищенні від пилу. Ці важкі метали знаходяться в газовій фазі, наприклад ртуть, і вони не видаляються при фільтрації або з електрофільтра [373, Eurofer, 2007].

Діапазон питомих викидів після очищення можна бачити в табл. 8.1. Близько 96 % пилу стосується PM_{10} [83, Ерліх, К. та ін., 2007], [288, IA, 2006]. Діапазон досить широкий (три порядки величин), що вказує на великі відмінності в ефективності вловлювання і очищення. Що стосується концентрації, то викиди знаходяться в діапазоні від 0,5 до 50 мг пилу/нм³ (велика частина печей працює в нижньому кінці діапазону). Зазвичай ці питомі значення викидів або концентрації включають і вторинні викиди, оскільки первинні та вторинні викиди часто очищуються в одному й тому самому обладнанні [366, Дорнзайффер та ін., 2007], [373, Eurofer, 2007].

Важкі метали

Для деяких викидів в табл. 8.1 є широкий діапазон. Підвищені значення можуть мати високе екологічне значення. Цинк є металом із максимальними питомими викидами. Викиди хрому і нікелю з очевидних причин зазвичай бувають вище під час виробництва нержавіючої сталі [373, Eurofer, 2007]. Частина викидів може відбуватись у вигляді шестивалентного хрому. Це має особливе значення внаслідок його високої канцерогенності в разі інгаляції.

На трьох EAF питомі викиди арсену були виміряні в діапазоні від 0,025 до 14 г/т [288, IA, 2006], [234, Польща, 2007].

Викиди ртуті можуть значно відрізнитися від плавки до плавки, залежно від складу/якості брухту [137, Теобальд, 1995], [144, UBA-BSW, 1996]. Викиди ртуті в секторі, як очікується, будуть знижуватися через поступове припинення її використання внаслідок повного виконання декількох вже діючих директив, таких як Директива про транспортні засоби, що вийшли з експлуатації, Директива про відходи електротехнічного і електронного обладнання та Директива про обмеження застосування небезпечних речовин в електротехнічному та електронному обладнанні, а також Директива про батарейки [273, Eurofer, 2007]. Проте, спостерігалися суттєві перевищення вмісту ртуті у транспортних засобах, що вийшли з експлуатації, і це вказує на те, що компоненти, що містять ртуть, все ще знаходяться у джерелах брухту, і, вочевидь, вони не завжди видаляються при переробці автомобільного брухту на шредерах. Викиди ртуті досягають 170 мг/т рідкої сталі, незважаючи на зусилля щодо зниження вмісту ртуті в покупному брухті, як це видно зі щорічних спостережень, і картина виглядає схожою як для вітчизняного, так і для імпортованого брухту [81, норвезький член ТРГ, 2008].

Оксиди сірки і азоту

Викиди SO_2 переважно залежать від кількості вугілля і мазуту в шихті, що поступає, але вони не мають великого значення. Викиди оксидів азоту також не вимагають спеціального розгляду.

Інші неорганічні забруднювачі

[288, IA, 2006]

Фториди і хлориди є іншими важливими неорганічними забруднювачами, але додаткова інформація не була представлена.

Леткі органічні сполуки (ЛОС або VOC)

Леткі органічні сполуки (ЛОС) можуть з'являтися в результаті потрапляння органічних речовин в сировинні матеріали (наприклад, розчинники, фарби), що завантажуються в піч. У разі використання сирого вугілля (антрациту) можуть виділятися такі сполуки як бензол перед вигоранням [373, Eurofer, 2007].

Поліциклічні ароматичні вуглеводні (РАН)

Викиди РАН порівняно високі (9 – 970 мг/т рідкої сталі – див. табл. 8.1), але немає значної кількості даних про вимірювання. РАН також вже знаходяться у брукхті, що поступає [120, Шіманн, 1995], але можуть також утворюватися при роботі електродугової печі. Передбачається, що РАН значною мірою адсорбуються до пилу від фільтрів (це також залежить від температури відхідних газів), але це не вдалося підтвердити при дослідженнях в Люксембурзі, де викиди РАН не змінювалися до і після очищення в рукавному фільтрі, коли були досягнуті низькі залишкові рівні вмісту пилу (<5 мг/нм³) як середньодобове значення [167, Вернер, 1997]. У викидах РАН домінують більш леткі сполуки із двома або трьома кільцями, такі як фталейн, аценафтен, антрацен і фенантрен [388, Фішер та ін., 2005].

Стійкі органічні забруднювачі (СОЗ)

З 1990-х років зростає увага, що приділяється СОЗ (POP). В наявності є обмежена кількість результатів аналізів для обмеженої кількості сполук. Вимірюють хлорорганічні сполуки, такі як хлорбензени, РСВ і PCDD/F.

Існує сильна кореляція між концентраціями PCDD/F та ВООЗ-12 РСВ, причому I-TEQ PCDD/F приблизно в 16,5 разів вище ніж ВООЗ-12 РСВ. Це дає підстави припускати, що механізми утворення РСВ і PCDD/F взаємопов'язані [388, Фішер та ін., 2005].

Хлорбензени були виявлені на кількох електродугових печах (0,3 – 12 мг/л рідкої сталі – див. табл. 8.1). З вимірювань на одній електродуговій печі відомо, що в газах знаходився гексахлорбензен [373, Eurofer, 2007].

Поліхлоровані біфеніли (РСВ)

Поліхлоровані біфеніли стосуються класу хлорованих напівлетких органічних сполук, що складаються з 209 конженерів (споріднених сполук). Група з 12 РСВ, яка характеризується поведінкою, близькою до поведінки діоксинів, була ідентифікована ВООЗ. Основний внесок до ВООЗ-12 I-TEQ вніс РСВ 126.

Іншими виявленими конженерами РСВ є РСВ 28, 52, 101, 138, 153 і 180, які відомі як шість конженерів Бальшміттера (Ballschmitter) [388, Фішер та ін., 2005]. Токсикологічна мета визначення двох груп РСВ не одна і та сама. Загальним підходом для адекватної оцінки «загальних РСВ» є множення суми 6 конженерів Бальшміттера (6 Ballschmitter/DIN РСВ) на п'ять.

Було визначено рівень викидів РСВ і виміряно на декількох електродугових печах. Ці вимірювання показали, що були визначені різні конженери. Повідомлялося про настільки низькі значення як 0,01 мг/т рідкої сталі, та настільки високі як 5 мг/т рідкої сталі. Крім того, ще не відомо, чи утворюються РСВ за допомогою синтезу de novo протягом процесу та/або у пристроях для очищення відхідних газів. Ці невизначеності свідчать, що зробити загальний висновок щодо процесів утворення і розкладання РСВ у газах електродугових печей складно, якщо не неможливо.

РСВ можуть перебувати у брукхті, що поступає, який може бути домінуючим джерелом їхніх вимірних викидів [120, Шіманн, 1995]. Регламенти, наприклад, пов'язані з управлінням електротехнічним устаткуванням, що вийшло з експлуатації, значною мірою допомагають у запобіганні введення елементів обладнання, які містять РСВ (наприклад, невеликі конденсатори в декількох технічних пристроях типу пральних машин, сушарок, кухонних витяжок, мазутних форсунок, люмінесцентних ламп тощо).

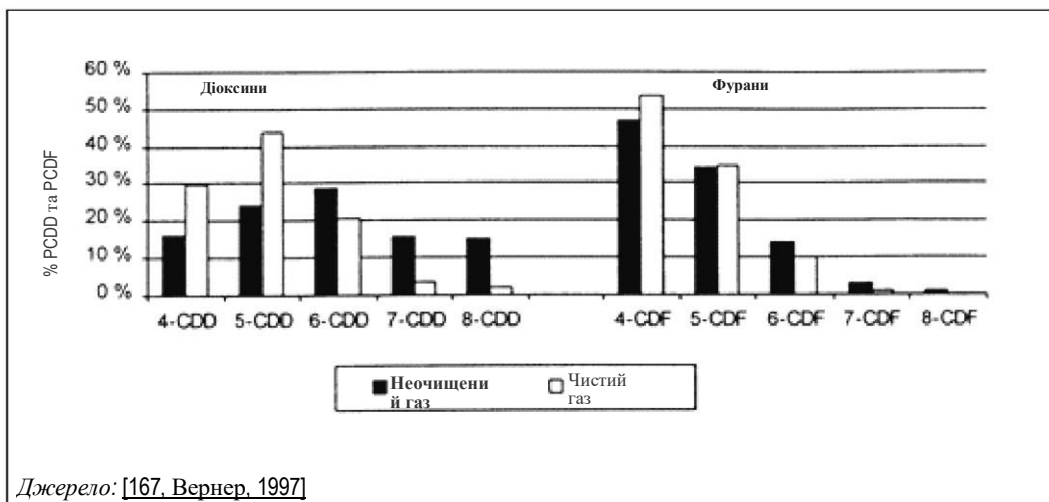
В одному дослідженні показано, що РСВ практично не видаляються в рукавних фільтрах [167, Вернер, 1997]. У нещодавньому дослідженні, проведеному в Швеції, продемонстрували кореляцію між діоксіноподібними РСВ і PCDD/F, але було також показано, що викиди РСВ ВООЗ-ТЕQ набагато менш важливі, ніж викиди PCDD/F [373, Eurofer, 2007].

Загалом, був зроблений висновок, що звичайні системи очищення димових газів (наприклад, рукавні фільтри, електрофільтри, скрубери) більш ефективні при видаленні викидів PCDD/F, ніж у разі викидів РСВ. Специфічні відмінності між сполуками можна пояснити різницею в летючості між конженерами трьох груп сполук. Відмінності в ефективності можуть бути також пов'язані з відмінностями в ефективності поділу пилу, температурі газу та адсорбційних властивостях пилу [370, Еберг, 2007].

Поліхлоровані дибензо-п-діоксини та фурани (PCDD/F)

Протягом термічної обробки брухту, в якому містяться фарби, масла (наприклад, мастильно-охолоджувальні рідини), полівінілхлорид або інші органічні речовини, PCDD/F виділяються або утворюються при очищенні стічних вод і викидаються в атмосферу разом із випарами від печі [367, Прюм та ін., 2005]. Ці викиди є особливо важливими протягом фази початку плавлення брухту в електродуговій печі, коли температура все ще низька. Навіть, якщо в наступній стадії процесу температура буде досить високою для руйнування PCDD/F, вони будуть утворюватися протягом цієї початкової фази і будуть впливати на утворення в подальшому процесі [375, ПІІ, 1998], [388, Фішер та ін., 2005].

PCDD/F повторно утворюються також при спалюванні за низьких температур (250 – 500 °C) із хлорорганічних сполук, які можуть знаходитися в ковші, а також за допомогою синтезу de novo, каталізатором якого є метали (наприклад, мідь і в меншому ступені залізо). Є дані, які вказують, що профіль розподілу температур є більш важливим, ніж середня температура при визначенні концентрації PCDD/F в газах [388, Фішер та ін., 2005]. Що стосується PCDD/F, то багато наявних даних вимірювань показують, що викиди знаходяться в діапазоні від 0,04 до 6 мкг I-TEQ/т рідкої сталі [220, Eurofer, 2008] (див. табл. 8.1). Були виміряні концентрації від 0,02 до 9,2 нг I-TEQ/м³ [367, Прюм та ін., 2005]. На рис. 8.9 наведено приклад розподілу гомологів PCDD/F у газах електродугової печі із подвійною стінкою, з попереднім підігрівом брухту і з подальшим очищенням. Домінують гомологи PCDD/F із чотирма і п'ятьма атомами хлору.



Джерело: [167, Вернер, 1997]

Рис. 8.9. Розподіл гомологів PCDD/F у газах EAF із подвійною стінкою з попереднім підігрівом брухту до і після очищення

Що стосується абсолютних викидів PCDD/F, то є кореляція між температурою відхідних газів (див. рис. 8.10) і змістом пилу (див. рис 8.11) [366, Дорнзайффер та ін., 2007] [375, ПІІ, 1998].

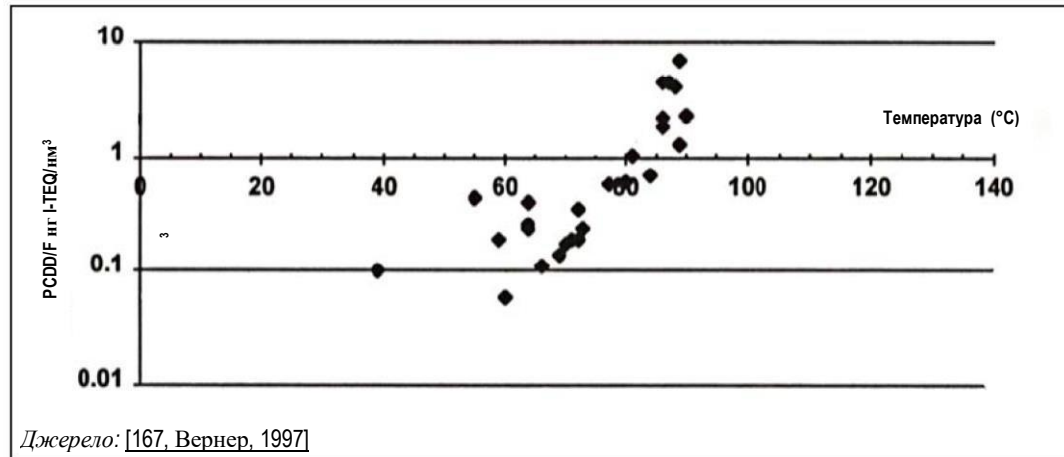


Рис. 8.10. Кореляція викидів PCDD/F із температурою відхідних газів після очищення в рукавному фільтрі EAF

На рис. 8.10 зазначено, що коли температура очищеного газу стане нижче 75 °С, викиди PCDD/F залишатимуться нижче 1 нг I-TEQ/м³. Фізичне пояснення цього явища пов'язане зі зменшенням летючості PCDD/F при зниженні температури [126, Спенсер та ін., 1992]. За низьких температур PCDD/F дедалі більше абсорбується на пилу фільтра.

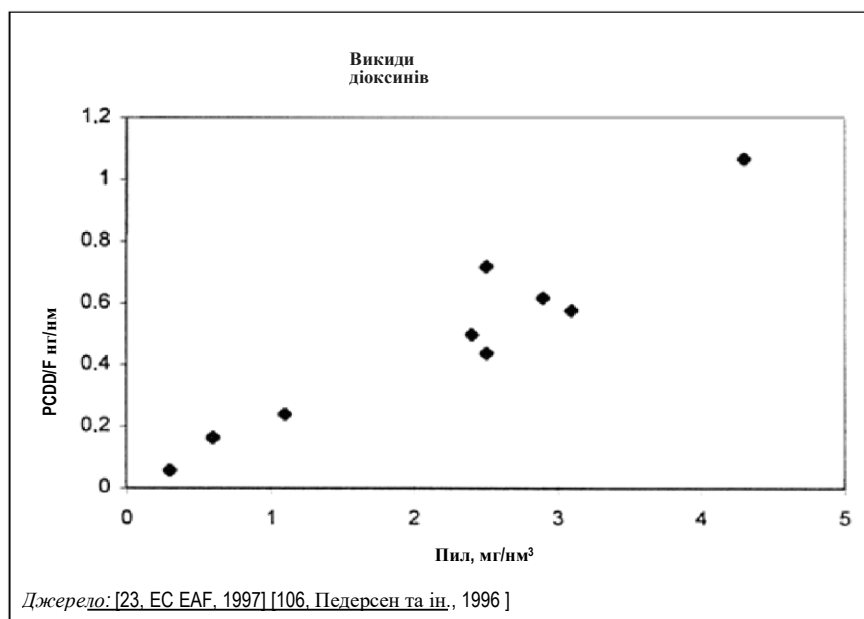


Рис. 8.11. Кореляція залишкового вмісту пилу з концентраціями PCDD/F після очищення в рукавному фільтрі в газах EAF при температурі нижче 85 °С

Спостереження, що свідчать про тісний зв'язок між викидами пилу та PCDD/F повинні вказувати про зв'язок із температурою відхідних газів. Сам собою вміст пилу залежить від розмірів та якості рукавного фільтра, але також від порівняної вологості відхідних газів, яка може бути високою у випадках гарту охолоджувальних газів або при розташуванні поблизу моря (див. рис. 8.12).

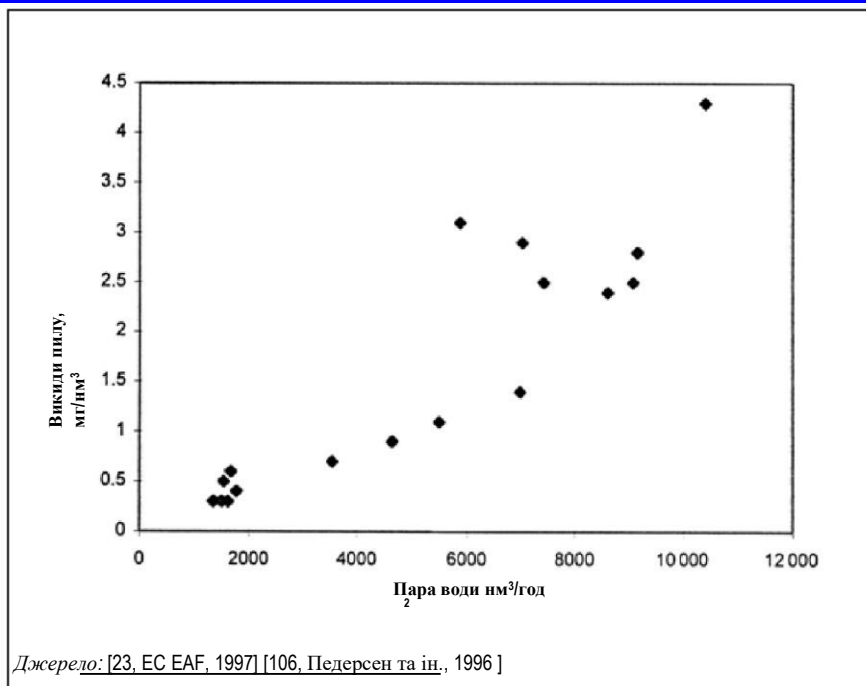


Рис. 8.12. Кореляція вмісту водяної пари і залишкового пилу після очищення в рукавному фільтрі

PCDD/F зазвичай виражаються в Міжнародних еквівалентах токсичності (I-TEQ) відповідно до NATO/CCMS, 1988 (Комітет НАТО з питань викликів сучасному суспільству). Це також стосується наявного законодавства та чинних дозволів. Переглянуті дозволи IPPC (комплексне запобігання та контроль забруднень) для металургійних заводів у Валлонському регіоні Бельгії сформульовані у BOO3-TEQ для PCDD/F і діоксиноподібних PCB плюс окремі граничні значення для «загальних PCB», які викидаються як $5 \times$ суму 6 Ballschmitter/DIN PCB (масова концентрація).

У 1998 році BOO3 розробила новий еквівалент токсичності для PCDD/F (BOO3-TEQ або WHO-TEQ), який був інтегрований до цієї оцінки для 12 діоксиноподібних PCB [219, Ван ден Берг та ін., 1998].

У 2005 році були представлені переглянуті еквіваленти токсичності (ВООЗ 2005-ТЕQ), які були прийняті ВООЗ [366, Дорнзайфер та ін., 2007], [315, Ван ден Берг та ін., 2006]. На рис. 8.13 наведені результати вимірювань, виражені у I-ТЕQ порівняно з ВООЗ-ТЕQ, включаючи діоксиноподібні РСВ.

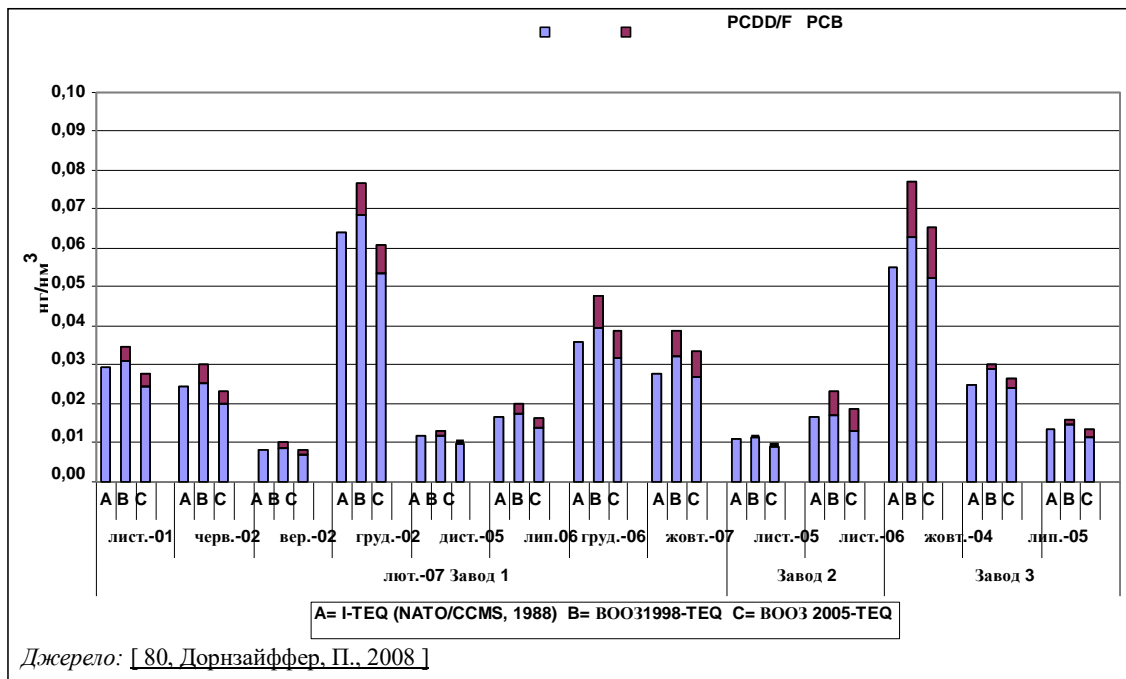


Рис. 8.13. Викиди PCDD/F як I-ТЕQ (міжнародний токсичний еквівалент), включаючи діоксиноподібні РСВ

Загальний рівень PCDD/F, включаючи РСВ, виражений як ВООЗ 2005-ТЕQ (WHO 2005-ТЕQ), варіюється від значення на 11 % нижче до значення на 21 % вище ніж PCDD/F, виражені як I-ТЕQ. Середнє значення всіх представлених вимірювань на 2 % нижче для значень PCDD/F як ВООЗ 2005-ТЕQ, включаючи РСВ, порівняно з PCDD/F як I-ТЕQ.

Загальний рівень PCDD/F, включаючи РСВ, на 12 – 24 % нижчий, якщо вони виражаються як ВООЗ 2005-ТЕQ порівняно з ВООЗ 1998-ТЕQ [80, Дорнзайфер, П., 2008], [315, Ван ден Берг та ін., 2006].

Згідно з інформацією, наданою Eurofer (Європейська сталева федерація, створена у 1975 році), викиди діоксинів від виробництва нержавної сталі нижче ніж у разі виробництва вуглецевої сталі. Однак це твердження було підтверджено лише на кількох заводах [209, Єврокомісія (ЕС), 2005].

У табл. 8.4 показані питомі та річні викиди PCDD/F в повітря від шведських сталеплавильних цехів, оцінені для виробництва в 2005 році. Повідомлені значення відповідають ТЕQ при використанні найсвіжшої схеми оцінки ВООЗ [315, Ван ден Берг та ін., 2006], включаючи як PCDD/F, так і діоксиноподібні РСВ. Внесок діоксиноподібних РСВ знаходився в діапазоні 10 – 20 %. Значення ТЕQ повідомлялось як інтервал, коли деякі токсичні конженери були нижче межі визначення.

Таблиця 8.4: Питомі та річні викиди PCDD/F та PCB у повітря від шведських електродугових печей

Установка (піч)	PCDD/F (мкг TEQ/т рідкої сталі)	PCDD/F (г TEQ/рік)	PCB (мкг TEQ/т рідкої сталі)	PCB (г TEQ/рік)
A	0,67	0,29	0,22	0,096
B	0,41	0,025	0,04	0,002
C	0,091	0,008	0,015	0,0013
D	0,080	0,015	0,02	0,0034
E	3,7	1,8	0,42	0,21
F	0,056	0,015	0,012	0,0032
G	2,4	1,0	0,28	0,12
H	0,17	0,003	0,56	0,01

Примітка: LS = рідка сталь.
Джерело: [370, Еберг, 2007].

8.2.2.1.4 Викиди від позапічної обробки сталі та безперервного лиття

Інформація про викиди від процесів позапічної обробки (переважно викиди пилу) та від безперервного розливання дуже обмежена. У роботі [30, Рьодерер та ін., 1996] повідомляється про викиди перед очищенням від семи установок із рафінування сталі AOD/VOD в межах від 6 до 15 кг пилу/т рідкої сталі та про одне низьке значення 1,35 кг пилу/т рідкої сталі. Ці сім агрегатів мають систему для знепилювання незалежно від знепилювання на електродугових печах. Значення викидів, повідомлені в табл. 8.1, включають викиди від вторинної обробки сталі.

Очищення вловлених потоків відхідних газів від систем вторинної обробки сталі проводиться в пристроях такого ж самого типу, здебільшого в рукавних фільтрах, як у випадку первинних, так і вторинних викидів. У табл. 8.5 показані деякі значення викидів для різних частин позапічної обробки після очищення.

Таблиця 8.5: Викиди від різних елементів позапічної обробки після очищення

Параметр	Первинне знепилювання ковшової металургії	Розливання у злитки та безперервне лиття ⁽¹⁾	Вакуумна обробка і установка кисневої продувки
PM	0,6 – 1	0,5	4,1 – 13,2
Pb, Co, Ni, Se, Te	0,006		
Sb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Sn	0,01	0,01 – 0,03	

⁽¹⁾ Тільки для виробництва нержавіючої сталі.
Примітка: Значення є середньорічними і наведені в мг/м³.
Джерело: [244, Плікерт, 2007].

8.2.2.1.5 Викиди від попереднього нагрівання скрапу

Попереднє нагрівання скрапу може призвести до важливого утворення органічних забруднюючих речовин внаслідок можливої наявності органічних речовин у брукхті, які спалюються протягом нагрівання в дуже несприятливих умовах. Це може призвести до зростання викидів ЛОС і PCDD/F. В цьому випадку газу повинні піддаватися додатковій обробці з доспаленням.

8.2.2.1.6 Викиди від переробки шлаку

Якщо шлак збирається у шлаковий ківш в електродуговій печі, його потрібно зливати у зовнішні шлаковідстійники для затвердіння. Охолодження шлаку можна інтенсифікувати за допомогою розпилення води, в результаті чого може утворитися дим. Цей дим може мати високу лужність, якщо у шлаку міститься вільний СаО (див. табл. 8.7). Це відбувається дуже часто. Відкладення лугів із диму може викликати проблеми поблизу заводу.

Якщо шлак розливається на підлогу, він піддається попередньому дробленню після затвердіння з використанням екскаваторів або ковшового навантажувача і згодом іде на ділянку зовнішнього зберігання.

Через певний період часу шлак переробляється за допомогою дробильних пристроїв і просівання для отримання бажаної консистенції з метою відокремлення металів від шлаку і подальшого використання в будівництві. Під час дроблення шлаку і утилізації металу можуть відбуватися викиди. Викиди від дроблення і просіювання повинні віддалятися і згодом очищуватися. Можна застосовувати упорскування води на стрічковому транспортері. Якщо шлак, що переробляється, піддається зберіганню, відвали можна зволожувати. Протягом розвантаження дробленого шлаку водяний туман можна використовувати для мінімізації викидів пилу [85, VDI/DIN, 2006], [260, Німеччина, 2007], [273, Eurofer, 2007], [373, Eurofer, 2007].

8.2.2.2 Стічні води

Вода використовується для таких цілей:

- для охолодження EAF
- для швидкої гарту гарячих відхідних газів
- як скруберна вода, якщо застосовується мокре знепилювання
- для створення вакууму
- для прямого охолодження при безперервному литті або розливанні у злитки.

Відповідно до режиму управління водою усі прагнуть до оптимального очищення всіх стічних вод, але інформації про витрати та очищення стічних вод для одиничних виробничих стадій часто немає в наявності, оскільки суміш різних потоків стічних вод очищується разом (див. п. 2.4) [363, Eurofer, 2007].

Охолоджувальна вода

Вода в електродугових печах використовується для охолодження стінових панелей і зводу, а також для обприскування електродів. Питома витрата води для охолодження EAF становить близько 5-12 м³/(м²·год). Для EAF із продуктивністю 70 т/год потреба в охолоджувальній воді становить 1 000 м³/год. Так як вода направляєтся до замкнутого циклу охолодження, то охолоджувальна вода не утворюється. Може також використовуватись охолоджувальна вода без циркуляції, якщо не бракує охолоджувальної води гарної якості. Це економить енергію для роботи насоса і для охолодження оборотної води.

Стічні води від очищення відхідних газів

У деяких випадках у країнах ЄС гази очищуються в мокрому скрубєрі. Немає інформації про використання технологій очищення та кількості, що скидаються, а також ступінь їх забруднення.

Стічні води від безперервного розливання і розливання у злитки

Безперервне лиття в процесі електродугової плавки подібне до безперервного лиття для киснево-конвертерного процесу.

Більше інформації можна знайти в пп. 7.2.2.2 і 7.3.4. Немає окремої інформації щодо кількості води, що надходить і відводиться. Зазвичай ці стічні води очищуються разом з іншими потоками від прокатних станів.

Стічні води від створення вакууму

Для вакуумної обробки типова питома витрата технічної води від створення вакууму варіюється від 5 до 8 м³/т рідкої сталі, що піддається вакуумній обробці. У декількох випадках питома потреба у технологічній воді вища, в одному випадку це було 42,8 м³/т рідкої сталі (див. табл. 8.1). Ця вода майже повністю піддається рециклінгу. Слід згадати, що не вся рідка сталь повинна піддаватися вакуумній обробці. Інформація про склад, очищення або рециклінг відсутня [140, Eurofer, 2009], [363, Eurofer, 2007], [365, Eurofer, 2007].

Стічні води від гартування

Вода використовується для швидкого охолодження. Є повідомлення, що на одній установці з гартування в системі пило- та газовидалення з витратою 870 000 м³/год використовується 25 м³/год. Стічні води не утворюються, так як вода, що використовується, повністю випаровується і виходить із процесу з потоком повітря, що відсмоктується. Невелика частина йде з процесу із залишковою вологістю пилу.

Дренажна вода зі складу брухту

Основний сировинний матеріал EAF, різні види брухту часто зберігаються на складах брухту з підлогою без покриття. Дренажна вода може бути забруднена, особливо в разі брухту, в якому містяться масла/емульсії від стружки. Немає інформації щодо кількостей і ступеня забруднення дренажної води. Зазвичай перед скиданням вона, як мінімум, очищується в масловідділювачі.

8.2.2.3 Залишки виробництва, такі як відходи та побічні продукти

Різні тверді залишки, такі як відходи або побічні продукти від процесу виплавки сталі в електродугових печах представлені разом з їхніми питомими кількостями в табл. 8.6.

Таблиця 8.6: Вид і питома кількість твердих відходів/побічних продуктів від EAF

Тверді відходи / побічні продукти		Питома кількість (діапазон) (кг/т рідкої сталі)
Шлаки від виробництва вуглецевої/низьколегованої сталі	Шлак від EAF	100 – 150
	Шлак від ковша	10 – 30
Шлак від виробництва високолегованої сталі	Шлак від EAF	100 – 135
	Шлак від ковша	30 – 40
	Шлаки від AOD	приблизно 160
Пил від виробництва вуглецевої/низьколегованої/високолегованої сталі		10 – 46
Вогнетривка цегла		2 – 25
Примітка: LS = рідка сталь. Джерело: [46, Гайзелер, 1991] [116, Ренц та ін., 1996].		

Більш сучасні дані для європейських EAF можна знайти в табл. 8.1.

8.2.2.3.1 Шлаки від виплавлення вуглецевої/низьколегованої/високолегованої сталі

Перший шлак утворюється під час процесу плавлення сталевого брухту в EAF при додаванні шлакоутворювачів. Протягом одного або декількох наступних процесів нерафінована сталь, що виплавляється в EAF, буде проходити наступні обробки в конвертерах та/або ковшах. У цьому (цих) процесі (процесах) до рідкого чавуну додаються феросплави, і разом із деякими добавками (наприклад, вапном) утворюються основні шлаки. На відміну від шлаку EAF від виробництва вуглецевої сталі, шлаки EAF від виробництва нержавіючої сталі можуть мати підвищений вміст важких металів, які, наприклад, використовуються як легувальні добавки.

Хімічний склад шлаків EAF від виробництва вуглецевої/низьковуглецевої сталі та нержавіючої /високолегованої сталі можна бачити в табл. 8.7.

Таблиця 8.7: Хімічний склад шлаку EAF при виплавленні вуглецевої/низьколегованої сталі та високолегованої/ нержавіючої сталі

Компонент, % за масою	Вуглецева/низьколегована сталь ⁽¹⁾			Нержавіюча /високолегована сталь ⁽²⁾		
	Типова концентрація	Нижнє граничне значення	Верхнє граничне значення	Типова концентрація	Нижнє граничне значення	Верхнє граничне значення
CaO	28	15	64	50	17	68
SiO ₂	19	4	26	23	2	42
MgO	7	0,5	15,5	6	1,5	25
Al ₂ O ₃	7	1	16,5	2,5	<0,1	30
FeO	32	10	63	2	<0,1	39
Cr ₂ O ₃	1,8	<0,1	11	2	<0,1	22
F				2	<0,1	9
MnO	5	0,5	19,5	1	<0,1	21
TiO ₂				0,8	<0,1	3,5
Zn				<0,1	<0,1	2
P ₂ O ₅	0,4	<0,01	2			
Na ₂ O	0,2	<0,01	2			
K ₂ O	0,14	<0,01	2,5			

(1) Вуглецева/низьколегована сталь: EAF C EINECS №: 294-410-9 CAS №: 91722-10-0.
(2) Нержавіюча /високолегована сталь: EAF S EINECS №: 294-410-9 CAS №: 91722-10-0.
Примітка: — Аналітична інформація про шлаки в чорній металургії наводиться у формі оксидів, хоча компоненти можуть перебувати в різних мінеральних фазах і різних станах окислення.
— Компоненти, які зазвичай мають максимальні концентрації <1 ваг. %, не визначені.
— Аналіз стосується не розплаву суміші азотної та соляної кислоти, а загального вилугування (див., наприклад, EPA 3052 або EN 13211:2001).
— У слідових, інших елементах, таких як Pb, As, Sb, Hg, Cl, F, може перебувати також і шестивалентний хром.
Джерело: [37, Моц, 2009].

Рівень полігонного депонування або рециклінгу в різних країнах-членах змінюється залежно від законодавчих вимог, доступності полігонів, податків, ринкової ситуації, витрат і можливостей повторного використання перероблених шлаків. У ЄС дедалі більша кількість шлаків від виплавки вуглецевих і низьколегованих сталей використовується як вторинна сировина, переважно для дорожнього будівництва і для інфраструктурних потреб у декількох застосуваннях. Шлаки від виробництва нержавіючої сталі зазвичай менш придатні для такого використання, і їх необхідно депонувати. Відсоткова частка рециклінгу шлаків за місцем їх виникнення значно вище від виробництва високолегованих сталей, ніж для шлаку з вуглецевої та низьколегованої сталі. Але все ще третина шлаків депонується і знаходиться на зберіганні (див. табл. 8.8) [373, Eurofer, 2007]

Таблиця 8.8: Види використання шлаків EAF в ЄС

Вид сталі	Загальна кількість шлаку (кг/рік)	Рециклінг на місці		Зовнішнє використання		Продано		Депонування і зберігання	
		(кг/рік)	(%)	(кг/рік)	(%)	(кг/рік)	(%)	(кг/рік)	(%)
Вуглецева сталь ⁽¹⁾	958	–	–	164	17,1	362	37,8	432	45,1
Вуглецева сталь ⁽²⁾	1 796	45,1	2,5	494,8	27,6	13,7	0,8	1242	69,2
Низьколегована сталь ⁽²⁾	444	–	–	61,6	13,9	108,0	24,4	261	58,9
Високолегована сталь ⁽²⁾	461	81,4	17,7	68,0	14,8	160,0	34,7	156	33,9
Разом шлаків EAF ⁽²⁾	2701	126,5	4,7	624,4	23,1	281,7	10,4	1 659	61,4
Разом шлаків EAF ⁽³⁾	4 408								

(1) Дані від 12 заводів, які виробляли 958 тис./рік шлаків (131,7 кг/т рідкої сталі) у 2008 році.
(2) Дані від 57 заводів, які виробляли 2,7 млн т шлаків/рік (133 кг/т рідкої сталі) у 1996 році.
(3) Дані за 2004 рік стосуються таких країн-членів ЄС: Австрії, Бельгії, Німеччини, Данії, Іспанії, Франції, Фінляндії, Люксембургу, Нідерландів, Швеції, Словаччини.
Джерело: [30, Рьодерер та ін., 1996] [195, Вернер, 2010] [365, Eurofer, 2007].

Шлаки від чотирьох EAF були проаналізовані на предмет PCDD/F і PCB. У табл. 8.9 наведені концентрації та річні масові потоки PCDD/F і PCB у шлакові для цих печей, в яких брутхт використовувався як сировинний матеріал. Виявлені концентрації були нижче граничного значення в 15 мкг TEQ/кг, як це визначено в регламенті для стійких органічних забруднювачів.

Таблиця 8.9: Концентрації та щорічні масові потоки PCDD/F та PCB у сталеплавильних печах, де використовують брутхт як сировину

Установка (піч)	PCDD/F (мкг TEQ/кг)	PCDD/F (г TEQ/рік)	PCB (мкг TEQ/кг)	PCB (г TEQ/рік)
A	<0,004	<0,56	0,0002	0,029
B	0,014 – 0,015	0,053 – 0,058	0,0014	0,0069
I	0,002	0,14	0,0004	0,027
J	0,002	0,09	0,00005	0,002

Джерело: [370, Еберг, 2007].

8.2.2.3.2 Пил від очищення відхідних газів

Як уже згадувалося, очищення відхідних газів (здебільшого відхідних газів разом із вторинними газами) дуже часто виконується в рукавних фільтрах. Хімічний склад пилу від виробництва вуглецевої, низьколегованої і високолегованої сталі можна побачити в табл. 8.10.

Таблиця 8.10: Хімічний склад пилу EAF при виплавці вуглецевої/низьколегованої та високолегованої сталі

Компонент	Пил від виробництва вуглецевої / низьколегованої сталі (%-ваг.)	Пил від виробництва високолегованої сталі (%-ваг.)	Пил від виробництва нержавіючої сталі (%-ваг.)
Fe загальне	10 – 45	17 – 37	20 – 65
SiO ₂	0,6 – 5,1	1,7 – 5	3 – 9
CaO	3 – 17	2 – 16	8 – 20
Al ₂ O ₃	0,3 – 3	1 – 4	0,4 – 2
MgO	0,5 – 6	1,2 – 3	1 – 5
P ₂ O ₅	0,1 – 0,37	0,01 – 0,1	0,03 – 0,1
MnO	1,1 – 6	1,5 – 6,9	2,2 – 6,3
Cr ₂ O ₃	0,13 – 2	0,12 – 6	9 – 20
Na ₂ O	0,3 – 3	NA	0,6 – 2
K ₂ O	0,5 – 2,3	NA	0,7 – 3
Zn	21 – 43	2 – 15	2 – 25
Pb	0,4 – 10	0,05 – 3,6	0,2 – 4,5
Cd	0,02 – 0,18	0,01 – 0,04	0,01 – 0,08
Cu	0,08 – 0,5	0,01 – 0,8	0,015 – 0,5
Ni	0,01 – 0,8	0,01 – 0,5	1 – 8
V	0,01 – 0,09	0,01 – 0,2	0,05 – 0,12
W	NA	0,5 – 1,5	NA
Co	0,001 – 0,01	0,01 – 0,2	0,02 – 0,04
As	0,001 – 0,02	0,001 – 0,01	0,01
Hg	0,0001 – 0,005	0,05 – 0,7	0,0002 – 0,015
Cl	0,8 – 5	0,7 – 1,7	0,8 – 1
F	0,02 – 0,9	0,01 – 0,65	0,3 – 2,4
S	0,1 – 3	0,25 – 1,42	0,2 – 0,5
C	0,4 – 3,3	0,5 – 3,1	0,05 – 1,3
Основність	2,0 – 6,5	NA	NA
Вологість	6 – 16	NA	NA

Примітка: NA = Немає даних.
Джерело: [39, EUROFER EAF, 1997] [62, Хоффманн, 1997] [134, Штромайер та ін., 1996] [277, Вісенбергер, 2007] [376, Eurofer, 2007] [391, Таверньєр та ін., 2004].

Пил від шести печей був проаналізований на PCDD/F і PCB. У табл. 8.13 показані концентрації та щорічні масові потоки PCDD/F і PCB у пилу для чотирьох із цих печей, у яких брут черних металів використовувався як сировина.

Таблиця 8.11: Концентрації та щорічні масові потоки PCDD/F та PCB у пилу від сталеплавильних печей, де використовують брут як сировину

Установка (піч)	PCDD/F (мкг TEQ/кг)	PCDD/F (г TEQ/рік)	PCB (мкг TEQ/кг)	PCB (г TEQ/рік)
A	0,16	1,0	0,014	0,089
B	0,21	0,11	0,015	0,0075
I	0,035	0,20	0,0020	0,011
J	0,16	1,0	0,0042	0,026

Джерело: [370, Еберг, 2007].

Останніми роками після введення в дію законодавства щодо управління відходами процентна частка пилу, що спрямовується на полігони, різко скоротилася. Значна частина пилу під час написання довідкового документа (2010 рік) прямувала на операції утилізації кольорових металів (переважно Zn і Pb в разі вуглецевих сталей і Cr і Ni в разі пилу від виплавки нержавіючої сталі [373, Eurofer, 2007].

Існують технології для переробки пилу від EAF, в якому міститься 18 – 35 % цинку. Ці загальновідомі процеси використовуються в кольоровій металургії. Однак у галузі виробництва цинку зазвичай використовуються сировинні матеріали, які мають підвищені концентрації цинку. В результаті пил EAF піддається додатковій переробці перед тим, як можна буде утилізувати цинк. За допомогою цих процесів вміст цинку підвищується до 55 – 65 % [274, Eurofer та ін., 1999], [284, Єврокомісія (ЕС), 2001].

Згідно з обстеженням, проведеним у 2006 році, яке охопило 36 EAF та 342 949 т пилу, пил EAF здебільшого використовується трьома різними способами, як це показано на рис. 8.14.



Рис. 8.14. Використання пилу EAF

8.2.2.3.3 Вогнетривка цегла

Вогнетривка цегла використовується для футерування різних агрегатів. Згідно з даними роботи [30, Рьодерер та ін., 1996], відпрацьована вогнетривка цегла направляється на полігон. В останні роки відпрацьовану цеглу з оксиду магнію, доломіту і глинозему утилізували, а полігонне депонування використовували тільки для фракцій, які не придатні для утилізації [373, Eurofer, 2007]. Цегла більшою мірою повторно використовується у виробництві сталі для тієї ж самої або іншої мети, коли не потрібна цегла такої високої якості. На EAF із продуктивністю приблизно 400 000 т нержавіючої сталі на рік кількість відпрацьованих вогнетривків доходить до 9 000 т на рік [386, Корс та ін., 2005]. У табл. 8.12 наведені дані щодо річних кількостей, що стосуються різних стадій процесу.

Таблиця 8.12: Приклад щорічної кількості витрачених вогнетривких матеріалів на одній установці

Відпрацьовані вогнетриви	Електродугова піч	Сталевий ківш	Ківш-піч, RH процес	Машина безперервного лиття	Розливання у злитки
Магнезит	1 200	3 800	600 ⁽¹⁾	2 400	
Доломіт		600			
Муліт (силікат)					500
⁽¹⁾ Хромомагнезит. Примітка: Значення наведені у т/рік. Джерело: [386, Корс та ін., 2005].					

8.2.2.4 Споживання енергії

Електроенергія і природний газ є найважливішими джерелами енергії в операції EAF. Протягом процесу плавлення такі типи енергії охоплюють:

- теплову енергію від електричної дуги
- теплову енергію від спалювання природного газу або інших видів газоподібного або рідкого палива
- хімічну енергію екзотермічних реакцій, що протікають у печі при окисленні металу.

Споживання енергії печі являє баланс трьох згаданих надходжень енергії. В роботі [364, Фухс, Г., 2008] наведено приклад EAF із порівняно низьким надходженням електричної енергії 380 кВт-год/т електроенергії. 210 кВт-год/т завдяки споживанню палива та 100 кВт-год/т від окислення металу, що в підсумку відповідає 690 кВт-год/т рідкої сталі. 370 кВт-год/т необхідно для розплавлення і перегріву брухту до температури випуску, 37 кВт-год/т необхідно для розплавлення і перегріву шлаку, 100 кВт-год/т складають втрати печі, а 140 кВт-год/т – фізичне тепло відхідних газів.

Використання 140 кВт-год/т фізичного тепла відхідних газів розроблено за останні 40 років, і наразі це доведений засіб для зниження загального споживання енергії під час експлуатації електродугових печей. Одним із варіантів є використання цього фізичного тепла для нагріву брухту. Брухт можна нагрівати приблизно до 800 °C перед процесом розплавлення у корпусі печі, що знижує загальне споживання енергії на 100 кВт-год/т рідкої сталі.

8.2.2.5 Шум

[260, Німеччина, 2007], [273, Eurofer, 2007]

Основними джерелами викидів в електросталеплавильному виробництві є:

- плавильний цех, включаючи EAF
- склад металобрухту
- первинне пиловидалення
- пиловидалення з парасоллю
- обладнання для керування водою
- транспортування шлакових ковшів
- транспортування продукції, наприклад автотранспортом
- переробка шлаку в дробарках, магнітних сепараторах і в пристроях просівання.

Для звичайних електродугових печей середні рівні шуму (при плавленні і обробці) LWA становлять 118 – 133 дБ (А) для печей з ємністю > 10 т і 108 – 115 дБ (А) для печей із ємністю <10 т; номінальна потужність трансформатора визначає рівень шумових викидів. В електросталеплавильних цехах виміряні рівні шуму можуть доходити до 127 дБ (А) (вимірювання включають плавлення і обробку). Основна частка шумових викидів припадає на електросталеплавильний цех, включаючи EAF, склад металобрухту і первинне пиловидалення.

8.2.2.6 Забруднення ґрунту

У багатьох випадках склад металобрухту буває небрукованим (див. п. 8.1.1). Може відбуватися забруднення ґрунту від зберігання брухту, забрудненого мінеральними маслами/емульсіями або іншими сполуками. Інформація щодо ступеня і впливу такого забруднення ґрунту відсутня [260, Німеччина, 2007].

Якщо двір для переробки брухту небрукований, а у неочищеному шлаку міститься СаО, лужна вода може проникати у ґрунт.

8.3 Техніки та прийоми, які слід враховувати при визначенні НДТМ

У цьому розділі описані технології (або їх поєднання) і пов'язаний із ними моніторинг, які спрямовані на досягнення високого рівня захисту навколишнього середовища в економічній діяльності у контексті тематики цього документа.

Він включає технології, інтегровані в процес, і заходи, які передбачають очищення в кінці виробничого циклу. Запобігання утворенню відходів та управління ними, включаючи мінімізацію відходів та процедури рециклінгу, також будуть розглянуті. Крім того, в документі описані технології для зниження споживання сировинних матеріалів, води та енергії.

У Додатку III до Директиви перерахований ряд критеріїв для визначення ВАТ (НДТМ), власне, інформація в цьому розділі стосується саме цих міркувань. Наскільки можливо, використана стандартна структура, наведена в табл. 8.13, для загального уявлення про інформацію, зібрану щодо кожної технології, з метою порівняння технологій та їх оцінки на основі визначення ВАТ згідно з Директивою.

Цей розділ необов'язково дає вичерпний перелік технологій, які можна застосовувати в секторі. Можуть існувати інші технології для конкретної установки, які можна було б розглянути для визначення НДТМ.

Таблиця 8.13: Підібрана інформація для кожної технології, описаної в цьому розділі

Тип інформації розглянутої	Основний зміст інформації
Опис	Короткий технічний опис із використанням за необхідності малюнків, діаграм і технологічних схем
Екологічні переваги, яких можна досягнути	Основні потенційні екологічні вигоди, що досягаються за допомогою реалізації технології (включаючи економію енергії, води, сировини, а також зростання виходу продукції, ефективності використання енергії тощо)
Міжсередовищні наслідки	<p>Вплив на навколишнє середовище та інші середовища внаслідок реалізації технології, включаючи детальні дані щодо впливу на навколишнє середовище технології порівняно з іншими (переваги та недоліки, що підтримуються даними, якщо вони є) для оцінки впливу технології на навколишнє середовище в цілому. Це може включати такі питання, як:</p> <ul style="list-style-type: none"> • споживання сировини і води; • споживання енергії та внесок у зміну клімату; • потенціал руйнування озонового шару; • фотохімічний потенціал утворення озону; • підкислення в результаті викидів у повітря; • тверді частинки в навколишньому повітрі (включаючи мікрочастинки та метали); • евтрофікація ґрунтів і водойм (в результаті викидів у повітря або скидів у воду); • потенціал виснаження кисню у воді; • стійкі/токсичні/біоаккумулятивні компоненти у воді або ґрунті (включаючи метали); • утворення або зниження (відходів) відходів; • можливість повторного використання або рециклінгу (відходів) залишків; • шум та/або запах; • ризик аварій.
Експлуатаційні дані	Реальні технічні дані (включаючи порівняльні умови, періоди моніторингу та методи моніторингу) про рівні викидів, споживання ресурсів (сировини, води, енергії) і кількості відходів, що утворюються. Будь-яка інша корисна інформація про те, як працює, обслуговується або контролюється технологія.
Можливість застосування	Вказівка щодо типу установок або процесів, в яких технологія може або не може застосовуватись, а також обмеження для реалізації в певних випадках, з урахуванням, наприклад, віку установки (нова або наявна), факторів, пов'язаних із модернізацією (наприклад, наявність місця), розміру установки (велика або невелика), вже впроваджених технологій і типу або якості продукції.
Економічні дані	Витрати (капітальні експлуатаційні) і будь-яка можлива економія (наприклад, зниження споживання сировини або енергії, платежів за розміщення відходів) або доходи, зокрема детальний опис того, як вони були розраховані/оцінені. Економічна інформація, важлива для нового будівництва та модернізації наявних установок. Все це допомагає ідентифікувати, там, де це можливо, спільний економічний вплив технології.
Стимули для впровадження	Особливі місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи безпеки) або не екологічні механізми (наприклад, зростання продуктивності, підвищення якості продукції), які регулюють або стимулюють реалізацію технології до теперішнього часу.
Приклади установок	Посилання на установку (установки), для якої була впроваджена технологія, і по якій була зібрана інформація і використана при написанні розділу. Вказівка щодо ступеня використання технології в Європі чи у світі.
Довідкова література	Література або інший довідковий матеріал (наприклад, книги, звіти, дослідження, вебсайти), які були використані при написанні розділу і в яких міститься більш докладна інформація щодо технологій.

8.3.1 Оптимізація виплавлення сталі в EAF

Опис

Процес виплавлення сталі у EAF стійко вдосконалився для його оптимізації і для підвищення продуктивності, що корелюється зі зниженням питомого споживання енергії. Найважливішими заходами/технологіями, які коротко описані у цьому розділі, є [312, д-р Мікаель Дегнер та ін., 2008]:

- робота із надвисокою потужністю;
- бічні стінки і звід з водним охолодженням;
- кисневопаливні пальники і кисневі фурми;
- система донного випуску;
- практика спінювання шлаку;
- ковшова або позапічна обробка сталі;
- автоматизований відбір проб і домішок легуючих елементів;
- підвищення енергоефективності;
- комп'ютеризоване керування технологічним процесом і автоматизація.

Робота із надвисокою потужністю

Зусилля щодо зниження проміжку часу від плавки до плавки привели до встановлення більш потужних пічних трансформаторів. Вирішальними факторами для впровадження печей надвисокої потужності є номінальна встановлена потужність, середній енергетичний ККД ($\geq 0,70$) та час використання трансформатора ($\geq 0,70$). Робота із надвисокою потужністю може привести до підвищення продуктивності, зниження питомого споживання електродів і зниження питомого обсягу відхідних газів, але при цьому підвищується також і знос футеровки печі [57, Хайнен, 1997].

Бічні стінки і звід з водним охолодженням

З 1980-х років пічні стінки і звід виконуються у вигляді футерованих панелей із водним охолодженням, що забезпечує економію вогнетривких матеріалів, використання технології печей надвисокої потужності, а також повторне використання тепла відхідних газів за допомогою застосування заходів для утилізації енергії. Однак економічну доцільність утилізації енергії необхідно перевірити на конкретній печі. В принципі, можна виділити дві охолоджувальні системи. «Охолодження холодної або підігрітою водою» знімає втрати енергії завдяки підвищенню температури охолоджуваної води, що протікає через змійовик. Випарне охолодження працює за допомогою випаровування охолоджуваної води для зняття теплоти випромінювання, що викликається процесом електричної дуги. Для захисту бічних панелей із водним охолодженням від термічної деформації, особливо, коли неможлива робота зі спінюванням шлаку (див. нижче), автоматизоване керування процесом плавки допомагає запобігти появі тріщин у панелях, що викликаються механічною напругою, а також економить вогнетривкі матеріали [75, Кнооп та ін., 1997].

Кисневопаливні пальники і кисневі фурми

Кисневопаливні пальники сприяють рівномірному плавленню брухту. При цьому також частково компенсується ефект контролю максимальної потреби в електроенергії, що постачається. Зазвичай додаткове надходження енергії за допомогою кисневопаливних пальників і кисневих фурм приводить до зниження загального споживання необхідної енергії.

Система донного випуску

Практика донного випуску використовується з 1983 року, і зараз вона широко практикується, оскільки при цьому мінімізується можлива кількість оксидного шлаку (винос шлаку) у ківш протягом випуску. Це також допомагає заощадити витрати завдяки зниженню кількості необхідних вогнетривких матеріалів, для швидшого випуску плавки, і знизити втрати енергії. Крім того, спрощується вловлювання диму.

Зазвичай більшість електродугових печей для виплавки вуглецевої сталі оснащено системами донного випуску. Однак деякі старі печі, а також більшість печей для виплавки нержавіючої сталі все ще оснащені зливними носками. Причин для цього багато. Зливні носки дають змогу здійснювати випуск всієї плавки і частковий випуск. Процедура випуску добре контролюється, а обслуговування зливного носка є легким внаслідок простої конструкції.

При виплавці нержавіючої сталі та високому рівні зниження кількості шлаку деяка частина хрому утилізується сталлю зі шлаку після випуску і перед скочуванням шлаку у місці його скочування [77, австрійський член ТРГ, 2008] [177, Eurofer, 2009].

Практика спінювання шлаку

Застосування спінювання шлаку у печі покращує теплопередачу до матеріалу, що завантажується, а також захищає вогнетривкий матеріал у печі. Внаслідок підвищення стабільності дуги і зниження ефектів випромінювання практика спінювання шлаку приводить до зниження споживання енергії, витрати електродів, рівня шуму і до підвищення продуктивності. Воно також викликає позитивний вплив на деякі металургійні реакції (наприклад, між шлаком і розплавом). Щільність спіненого шлаку нижче ніж щільність звичайного шлаку EAF, в якому міститься FeO (0,15 – 1,5 т/м³, порівняно з 2,3 т/м³). З цієї причини обсяг шлаку, що утворюється у процесі виплавки сталі, зростає, можуть знадобитися великі ковші для шлаку. Після випуску плавки шлак частково знову дегазується. Інформація щодо негативних впливів практики спінювання шлаку на можливості використання шлаку не зустрічалася. Слід зазначити, що використання цієї практики неможливе для деяких сортів сталі, таких як нержавіюча сталь та інші високолеговані сталі.

Ковшова або позапічна обробка сталі

Немає необхідності у здійсненні деяких стадій виробничого процесу в самій EAF, і їх можна виконувати більш ефективно в інших агрегатах (типу десульфурації, легування, гомогенізації температури і хімічного складу). Технологія перенесення деяких видів діяльності на ковші, печі-ковші або інші агрегати почала впроваджуватися з 1985 року [36, EPRI, 1992] [57, Хайнен, 1997]. Вигодами цієї діяльності, що повідомляються, є економія енергії (нетто економія 10 – 30 кВт-год/т), зниження часу від плавки до плавки на 5 – 20 хв., підвищення продуктивності, кращий контроль температури сталі із теплом, яке постачається для безперервного лиття, можливе зниження витрати електродів (до 0,1 – 0,74 кг/т), економія легуючих елементів і зниження викидів від самої EAF [36, EPRI, 1992]. Можливим недоліком використання ковшів або інших агрегатів щодо контролю забруднення повітря є зростання кількості джерел викидів, потреба у підвищених температурах для обладнання газоочищення внаслідок додаткового диму, вловлюваного пристроями типу камінів.

Підвищення енергоефективності

Потреба EAF в енергії (електрична напруга) значно зросла з 1995 року, результатом чого став дедалі більший розподіл електричних мереж, що передбачає втрати електроенергії. Надходження електроенергії є важливим діючим інструментом. Підвищення постачання енергії за допомогою ефективних електронних систем підвищує продуктивність і знижує загальне споживання енергії. Було досягнуто питомих споживання електроенергії у 360 кВт-год/т у випадку печі на постійному струмі потужністю 100 МВт компанії ArcelorMittal у м. Еш-Белваль, Люксембург. Для дугових печей, що працюють на змінному струмі, в одному дослідженні було продемонстровано, що підвищення постачання енергії може привести до виграшу в продуктивності приблизно на 7 % і до відповідному виграшу в енергоефективності [252, Франція, 2007].

Комп'ютеризоване керування технологічним процесом і автоматизація

Комп'ютеризоване керування у секторі EAF стало необхідним, і воно стало всюди використовуватися приблизно з 1982 року, оскільки високі температури вимагають ефективних систем контролю для керування потоками матеріалів і даних, пов'язаних із вибором сировинних матеріалів. Ефективні системи контролю, зокрема, дають можливість оптимізації споживання енергії у піч і підвищення продуктивності, а також зниження викидів пилу [86, Ліннінгер та ін., 1995] [312, д-р Мікаель Дегнер та ін., 2008].

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Екологічними перевагами, що досягаються, є переваги, згадані вище в описі.

Міжсередовищні наслідки

Кисневопаливні пальники підвищують утворення відхідних газів, але, з іншого боку, знижується загальне споживання енергії.

Бічні стінки і звід з водним охолодженням викликають додаткове споживання енергії розміром близько 10 – 20 кВт-год/т, але це може бути компенсовано перевагами в області коефіцієнта використання обладнання та обслуговування. Бічні стінки і звід з водним охолодженням, серед іншого, дають можливість застосування сучасних технологій, типу печей надвисокої потужності.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Описані технології можуть застосовуватись як для нових, так і наявних печей, але їх потрібно перевіряти в кожному конкретному випадку.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Висока ринкова конкурентоспроможність і необхідність у підвищенні продуктивності / зниженні витрат викликають необхідність впровадження описаних технологій.

Приклади установок

Багато печей у країнах ЄС працюють із описаними технологіями в оптимальних умовах.

Довідкова література

[16, Ренц, 1997] [252, Франція, 2007] [260, Німеччина, 2007] [273, Eurofer, 2007] [312, Д-р Мікаель Дегнер та ін., 2008]

8.3.2 Попереднє нагрівання скрапу (брухту)

Опис

Використання фізичного тепла відхідних газів (приблизно 140 кВт-год/т рідкої сталі) було розроблено в останні 40 років, і зараз воно стало визнаним засобом у зниженні загального споживання енергії під час роботи EAF. Одним із варіантів є використання цього фізичного тепла для нагріву брухту. Брухт можна підігрівати приблизно до 800 – 1 000 °С із використанням періодичних систем і до 300 – 400 °С за використанням безперервних систем перед процесом плавлення в EAF, що знижує загальне споживання енергії на 100 кВт-год/т рідкої сталі.

Таке нагрівання брухту виконується або у завантажувальних кошиках, або у завантажувальній шахті (шахтній печі), доданий до дугової печі, або у спеціально спроектованій системі транспортування шлаку, що дає змогу робити безперервне завантаження протягом процесу плавлення. У деяких випадках у процесі нагрівання додається навіть додаткова енергія у вигляді додаткового вихідного палива [373, Eurofer, 2007].

Шахтна технологія розроблялася послідовно. У 1988 році німецька компанія Fuchs Systemtechnik GmbH (нині SIEMENS VAI Metals Technologies) почала розроблення для подолання недоліків підігрівачів скрапового кошика і вважала, що кращим варіантом є безпосереднє завантаження брухту в шахту, яка була розташована на зводі електродугової печі. З використанням однієї шахтної печі можна підігріти 100 % брухту [125, Сміт, 1992].

Додаткові зміни полягали у виготовленні шахтної печі з подвійними стінками у двох екземплярах, які розміщувалися поруч одна з одною та обслуговувалися одним комплектом електротримача. Брухт частково нагрівався за допомогою відхідних газів і частково за допомогою пальників, встановлених у боковій стінці.

Дуже ефективною конструкцією шахтної печі є шахтна піч з утримуючими пальцями. У конструкції шахтної печі використовується унікальна система утримування брухту пальцями, яка дає змогу нагрівати 100 % брухту [162, Фосс-Шпілкер та ін., 1996]. Перший кошик підігривається протягом рафінування попереднього плавлення, а другий протягом розплавлення першого плавлення. У 1994 році перша шахтна піч з утримуючими пальцями була запущена в експлуатацію компанією Hylsa в м. Монтеррей, штат Нуево Леон, Мексика. За допомогою використання відхідних газів печі протягом циклу нагрівання брухт можна підігривати до температури приблизно 1000 °С перед заключним плавленням у камері дугової печі. Це означає значну економію енергії та витрат, при суттєвому зниженні часу від плавки до плавки. Четверте покоління технології шахтного підігрівання SIEMENS VAI було встановлено у січні 2008 року на заводі швейцарської компанії Stahl Gerlafingen з більш ефективною системою завантаження у шахту додатково до поліпшення підігрівання брухту. Середня додаткова економія енергії для цієї системи знаходиться у діапазоні 10 кВт-год на тонну рідкої сталі.

Всі наявні викиди від систем підігріву брухту можуть спалюватися в окремій камері згоряння, встановленій додатково.

З 2000 року безперервний підігрів брухту і завантаження став дуже популярним, наприклад, системи CONSTEEL (див. рис 8.15) [84, Грасселлі, А. та Раджіо, К., 2008]. Брухт завантажується за допомогою кранів на спеціальну конвеєрну стрічку. У секції підігрівання брухту передається тепло відхідних газів, що залишають піч. Подача брухту коригується для потужності, що підводиться до EAF. Завантаження плавиться під час занурення у ванну рідкого металу, нагріваючись завдяки енергії, що надходить від електричних дуг, та хімічним реакціям, що відбуваються у розплаві, на відміну від звичайного завантаження згори в EAF, коли розплав отримує безпосереднє тепло від електричної дуги. Ванна завжди покрита спіненим шлаком, який постійно утворюється за допомогою контрольованого вдування вуглецю і кисню.

Ще один нещодавно розроблений безперервний процес підігрівання брухту, що подається, це технологія COSS (див. табл. 8.15) [364, Фухс, Г., 2008].

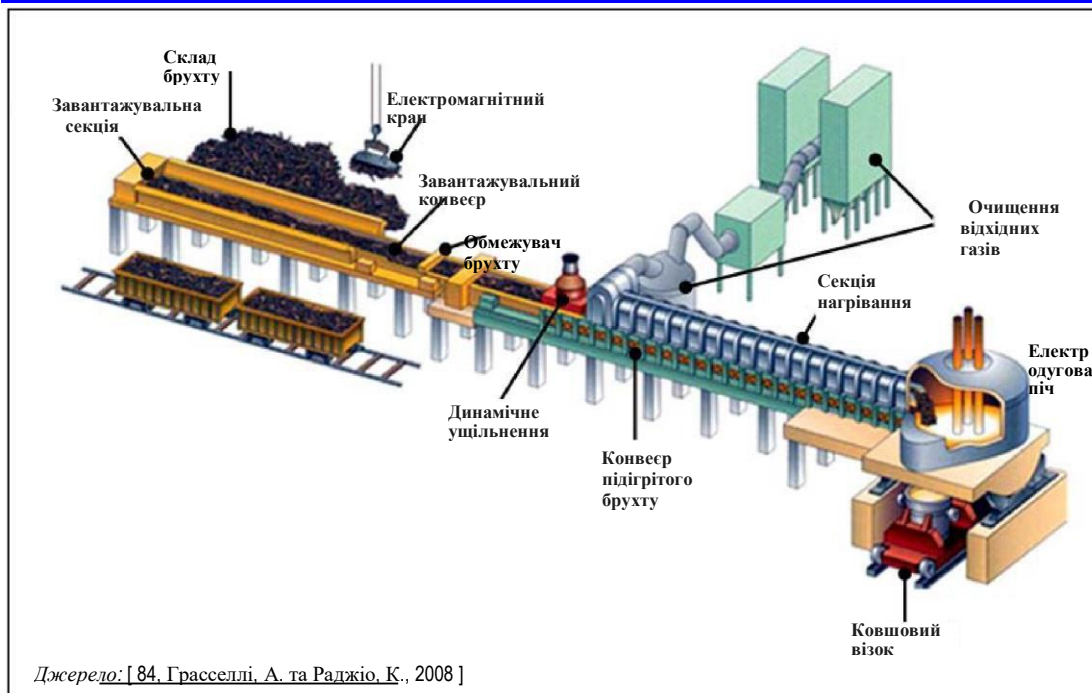


Рис. 8.15. Схема процесу CONSTELL

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Із шахтними печами можна досягти дуже високих температур підігрівання брухту (до 800 – 1 000 °С). За допомогою описаних технологій для підігрівання брухту можна заощадити 70 – 100 кВт-год/т рідкої сталі, що становить 10 – 25 % від загального надходження електроенергії. При розрахунку на основі первинної енергії економія може бути вище, враховуючи облік ефективності енергії, що надходить. Крім того, два рішення для підігрівання брухту знижують час від плавки до плавки, оскільки потрібно менше енергії для завантаження і знижується простій під час періодичного завантаження.

У поєднанні із передовими методами очищення відхідних газів підігрів брухту відіграє значну роль в оптимізації виплавки сталі в електродугових печах, що стосується не тільки продуктивності, але й мінімізації викидів.

Як побічний ефект, підігрів брухту знижує викиди неочищеного пилу приблизно на 20 %, оскільки гази повинні проходити через брухт, який діє як фільтр. Це зниження корелює зі зростанням вмісту цинку в пилу, що сприяє рециклінгу.

За наявності систем безперервної подачі брухту можна підігрівати до середньої температури 300 °С; у такий спосіб ефективність печі зростає, а споживання енергії знижується. Але безперервна подача має деякі додаткові переваги, включаючи низькі шумові викиди.

Вважається, що всі CO і H₂ утворюються у процесі плавлення, і вони спалюються з утворенням CO₂ і H₂O при підігріванні. Безперервність процесу допомагає досягти стабільної температури відхідних газів від 800 до 1 000 °С, через надлишок кисню 8 – 10 %, що, зі свого боку, допомагає досягти повного руйнування PCDD/F. За умови, що гази будуть швидко охолоджуватися нижче 200 – 250 °С, ризик утворення PCDD/F у процесі синтезу *de novo* значно знижується.

Проте, досвід принаймні від двох установок безперервного завантаження продемонстрував високі концентрації викидів PCDD/F, які значно перевищують значення 0,1 нг I-TEQ/м³ [67, компанія «TSW GmbH», 2005]. Це означає, що можуть знадобитися додаткові заходи для зниження концентрації PCDD/F, з метою зниження їх нижче 0,1 нг I-TEQ/м³ також і для технологій безперервного завантаження від часу до часу. У табл. 8.14 наведені результати безперервних вимірювань забруднення від однієї установки за вісім років роботи.

Таблиця 8.14: Вимірювання забруднення з однієї установки протягом восьми років експлуатації

Параметр	Одиниці вимірювання	1999 – 2007
Витрата відхідних газів	нм ³ /год	750 000 – 800 000
CO	мг/нм ³	142 – 400
NO _x	мг/нм ³	5 – 50
PCDD/F	нг I-TEQ/нм ³	0,05 – 0,20
Пил (PM ₁₀)	мг/нм ³	0,40 – 0,86

Джерело: [84, Грасселлі, А. та Раджіо, К., 2008].

На електродуговій печі у м. Му-і-Рана (Норвегія) у 2008 році була впроваджена система CONSTEEL. Для зниження викидів пилу, діоксинів і ртуті після рукавного фільтра був встановлений вугільний фільтр. До і після установки системи були проведені вимірювання, які показали, що викиди діоксинів і ртуті були знижені більш ніж на 90 %.

Міжсередовищні наслідки

Підігрів брухту виглядає дуже привабливо з погляду керування енергією. Але підігрів брухту може призвести до значного утворення органічних забруднюючих речовин внаслідок можливої наявності органічних речовин у брухті. Внаслідок характерних для процесу низьких температур у купі брухту, органічні складові, налипли до брухту, такі як масла і жири, тільки випаровуються, але не піддаються термічній деструкції; результатом є утворення летючих хлорованих вуглеводневих сполук і прекурсорів PCDD/F [367, Прюм та ін., 2005].

Як згадувалося раніше, викиди ароматичних або органогалогенних сполук, таких як поліхлоровані дібензо-п-діоксини та фурані (PCDD/F), хлорбензол, поліхлоровані біфеніли (PCB), а також поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАН) та інші сполуки, що частково згоріли, можуть з'являтися від брухту, забрудненого фарбами, пластмасами, мастильними засобами або іншими органічними сполуками. В одній дуговій печі з підігріванням брухту були виміряні концентрації діоксинів на рівні до 9,2 нг I-TEQ/нм³.

Ці викиди можна мінімізувати за допомогою допалювання відхідних газів у спеціально сконструйованій камері допалювання з пальниками на викопному паливі. Внаслідок високої температури, що досягається для руйнування стійких органічних забруднювачів (COЗ), які знаходяться у газах, кількість необхідної енергії буде значною, і це порядок величини, що дорівнює величині енергії, зекономленої під час підігрівання брухту.

Експлуатаційні дані

З моменту запуску жодна система CONSTEEL не була зупинена. У наступній таблиці показані деякі експлуатаційні дані для деяких систем підігрівання брухту, що застосовуються для EAF.

Таблиця 8.15: Технологічні дані для ряду систем підігріву брухту, що застосовуються в EAF

Особливості	Одиниці вимірювання	Система Consteel 1	Система Consteel 2	Система Consteel 3		Установка Fuchs-Coss	SIMETAL Шахтна піч з утримуючими пальцями 1		SIMETAL Шахтна піч з утримуючими пальцями 2
Тип печі		DC	AC	AC			AC		DC
Вага плавки	т рідкої сталі	109	187	73		120	126,5		80
Потужність трансформатора	MVA	90	130	50		100	85		56
Склад металеві шихти		100 % брухту	80 % брухту 15 % чавуну у чушках	80 % брухту 20 % чавуну у чушках	80 % брухту 20 % рідкого чавуну	100 % брухту ⁽¹⁾	100 % брухту	80 % брухту 20 % чавуну у чушках	100 % брухту
Температури випуску	°C	1 650	1 630	1 600		NA	1 620	1 673	1 630
Середня потужність	MВт	55	82	37	33	NA	57	63	35
Домішки (добавки)	кг/т рідкої сталі	26	32	41	60	58	50	48	NA
Час роботи під струмом	хв.	41	50	43	35	40	40	30	38
Час відключення	хв.	8	15	7	7	NA	10	17	12
Споживання електроенергії	кВт-год/т рідкої сталі	343	365	362	265	300	300	248	278
Споживання кисню	нм ³ /т рідкої сталі	35,5	33	34	35	38	34	37	44
Витрата електродів	кг/т рідкої сталі	0,8	0,9	1,4	1,2	1,2	1,3	1,1	0,8
Ефективність попереднього нагрівання скрапу (брухту)									
Температура скрапу після підігрівання	°C	200 – 300				300 – 400	800 – 1 000		
Ефективність попереднього нагрівання скрапу (брухту)	кВт-год/т рідкої сталі	15				NA	80 – 100		
⁽¹⁾ Може бути досягнуто теоретично. Установка Coss працює із застосуванням 60 % брухту і 40 % рідкого чавуну Примітка: NA = Немає даних.									
Джерело: [58, Кестлі, П., 2009] [84, Грасселлі, А. та Раджіо, К., 2008] [364, Фухс, Г., 2008].									

Можливість застосування

Процес CONSTEEL застосовується як до нових, так і до наявних печей. На наявних печах місцеві умови, пов'язані з наявністю місця і обмеженнями для установки конвеєра і розміщенням складу металобрухту, повинні бути розглянуті, оскільки іноді вони заважають використанню такого методу. Системи підігрівання брухту не вимагають спеціально розсортованого за величиною брухту більше ніж у випадку звичайних EAF. Земляні роботи на складах металобрухту еквівалентні тим роботам, які проводяться на печах, що працюють з кошиками для брухту.

Економічні дані

У випадку електродугової печі з піччю шахтного типу з утримуючими пальцями досягається проміжок часу від плавки до плавки близько 35 хв, що приблизно на 10 – 15 хв коротше, порівняно із EAF без ефективного підігрівання брухту. Це допомагає досягти дуже коротких строків окупності витрат, які становлять близько року.

Як приклад, для нового електросталеплавильного цеху, що виробляє близько 1 млн т сталі на рік, впровадження системи CONSTEEL зазвичай становить близько 10 – 15 % від загальних інвестицій.

Витрати на модернізацію знаходяться у діапазоні від 5 до 10 млн євро і змінюються відповідно до розміру печі, планування і ступеня необхідної модифікації.

Загальна економія витрат, що досягається, із застосуванням процесу CONSTEEL для сталеплавильного цеху з продуктивністю 1 млн т на рік, становить близько 9,5 євро/т рідкої сталі.

Стимули для впровадження

Основним стимулом є підвищення продуктивності, у поєднанні з досягненням підвищення садки і зниженням витрат на перепрофілювання, а також зі зниженням впливу на навколишнє середовище. У деяких випадках підігрів брухту за допомогою шахтної печі з утримуючими пальцями був запроваджений у поєднанні із сучасною системою очищення відхідних газів.

Ще одним важливим стимулом є зниження порушень електричного режиму на печах, де постачання електроенергії з мережі є проблемою.

Приклади установок

- Двокорпусна шахтна піч з інтегрованим підігріванням у шахті: компанія ASW у муніципалітеті Монтеро-Фо-Іонн, Франція
- Дві шахтні печі з утримуючими пальцями і одна шахтна піч, м. Чжанцзяган, Китайська Народна Республіка
- Три шахтні печі з утримуючими пальцями на заводі Северсталь, Росія
- Дві шахтні печі з утримуючими пальцями у м. Аліага, Туреччина
- Шахтна піч з утримуючими пальцями компанії Stahl Gerlafingen, Швейцарія
- Шахтна піч з утримуючими пальцями компанії SUEZ Steel, Єгипет
- Установка CONSTEEL компанії TSW, м. Трир, Німеччина
- Установка CONSTEEL компанії Celsa, м. Му-і-Рана, Норвегія
- Установка CONSTEEL компанії ORI Martin, м. Брешиа, Італія
- Установка CONSTEEL компанії Acciaierie Arvedi, м. Кремона, Італія
- Установка CONSTEEL компанії Sovel Hellenic Steel Company, Греція.

У січні 2009 року у всьому світі експлуатувалися 31 шахтна піч і 35 безперервно діючих систем CONSTEEL, включаючи установки, що знаходяться у стадії будівництва.

На рис. 8.16 показано кількість встановлених шахтних печей, систем CONSTEEL і ESC (система випарного охолодження) у період з 1988 по 2009 роки.

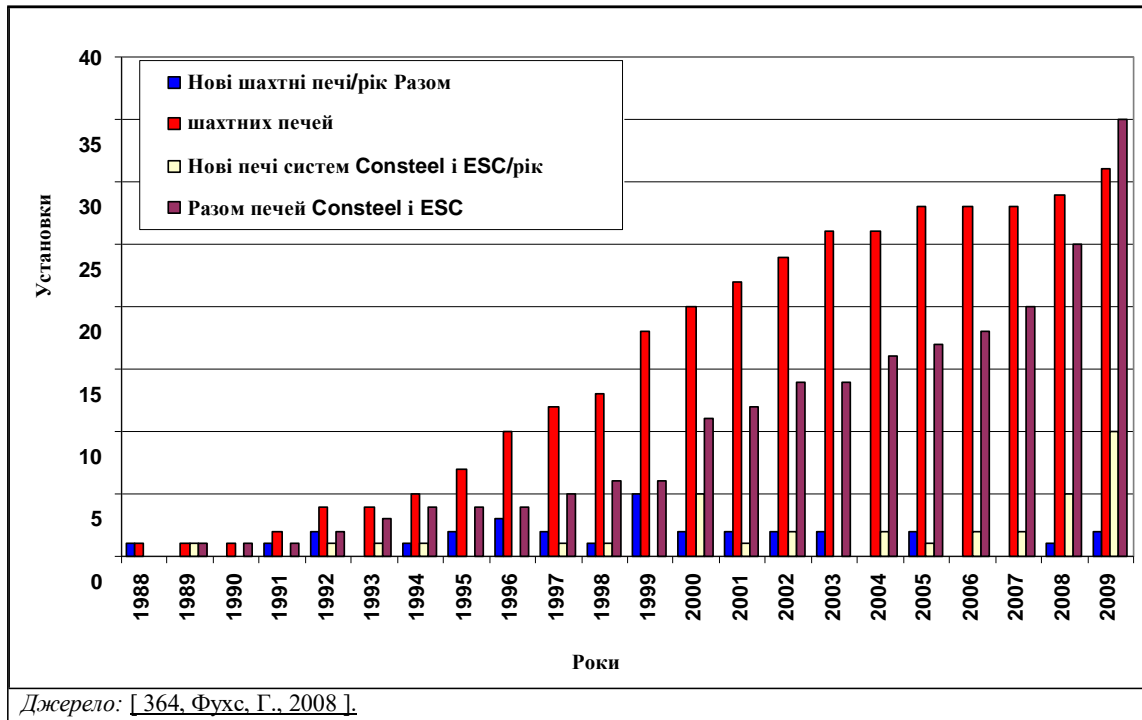


Рис. 8.16. Кількість установок для підігрівання брухту в ЕАФ

Довідкова література

[54, Хайссіг, 1997] [84, Грасселлі, А. та Раджіо, К., 2008] [91, Мемолі, Ф. та Феррі, М., 2007] [94, Мак Манус, 1995] [125, Сміт, 1992] [162, Фосс-Шпілкер та ін., 1996] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [260, Німеччина, 2007] [273, Eurofer, 2007] [287, MVAE, 2005] [364, Фухс, Г., 2008] [367, Прюм та ін., 2005] [373, Eurofer, 2007] [388, Фішер та ін., 2005]

8.3.3 Зниження викидів пилу від переробки шлаку

Опис

Якщо шлак збирається у шлаковий ківш в електродуговій печі, його потрібно зливати у зовнішні шлаковідстійники для затвердіння. Охолодження шлаку можна інтенсифікувати за допомогою розпилення води, в результаті чого може утворитися дим.

Якщо шлак розливається на підлогу, він піддається попередньому дробленню після затвердіння з використанням екскаваторів або ковшового навантажувача і згодом іде на ділянку зовнішнього зберігання.

Через певний період часу шлак переробляється за допомогою дробильних пристроїв і просівання для отримання бажаної консистенції з метою відокремлення металів від шлаку і подальшого використання в будівництві. Під час дроблення шлаку й утилізації металу можуть відбуватися викиди.

Для мінімізації викидів пилу пристрої для дроблення і грохочення можуть бути закриті й оснащені витяжкою. Викиди від дроблення і грохочення згодом очищуються за допомогою рукавного фільтра. Конвеєрна стрічка повинна бути закрита, пункти перевалки повинні зволожуватись. Якщо перероблений шлак піддається зберіганню, партії шлаку повинні зволожуватись.

Протягом завантаження дробленого шлаку водяний туман може використовуватися для мінімізації викидів пилу [85, VDI/DIN, 2006], [260, Німеччина, 2007], [273, Eurofer, 2007], [373, Eurofer, 2007].

Екологічні переваги, яких можна досягнути

З використанням цієї технології може бути досягнута залишкова концентрація пилу <10 – 20 мг/м³.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних заводів.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Основна мотивація – зниження викидів твердих частинок.

Приклади установок

BSW, м. Кель, Німеччина Georgsmarienh tte, м. Оснабрюк, Німеччина
Lech-Stahlwerke (LSW), громада Меттінген, Німеччина.

Довідкова література

[85, VDI/DIN, 2006]

8.3.4 Сучасні системи відведення пилу

Опис

Первинні і вторинні викиди у повітря мають особливе значення (див. п. 8.2.2.1). Як первинні, так і вторинні викиди повинні відводитися максимально, переважно у джерела походження, а потім очищуватися. Поєднання 4-го отвору (у випадку трьох електродів, наприклад для печей на змінному струмі) або 2-го отвору (у випадку одного отвору, наприклад для печі на постійному струмі), безпосереднього відведення із системами витяжного парасолу (або зачинення печі) або загального видалення з будівлі є системами, яким надається перевага.

З 4-м або 2-м отвором (див. рис. 8.7) первинні викиди, які утворюються протягом періодів плавлення і рафінування, можуть відводитися майже повністю. Цей тип технології безпосереднього відведення є сучасним рівнем розвитку новітнього електросталеплавильного виробництва для відведення первинних викидів. Він може також застосовуватися для агрегатів позапічної обробки сталі.

У системі з витяжним парасолом (див. рис. 8.7) один або більше камінів над піччю побічно відводить дим, що видаляється із печі протягом стадій завантаження, плавлення, скочування шлаку і випуску плавки (до 90 % первинних викидів, а також вторинних викидів [22, EC EAF, 1994]). Системи камінів зазвичай використовуються в електросталеплавильному виробництві. У поєднанні із системами безпосереднього відведення ефективність видалення первинних викидів, а також вторинних викидів зростає до 98 %. Каміни також встановлюються для відведення викидів, що виникають під час роботи агрегатів позапічної обробки сталі, бункерів і конвеєрних стрічок.

Обв'язка кожуха печі, яка називається також шумопилозахисними кожухами (див. рис. 8.7), зазвичай герметизує піч, її звід, що повертається, а також залишає деяку частину робочого простору перед робочим вікном. Зазвичай відхідні гази відводяться поблизу верхньої частини однієї зі стін обв'язки і підхоплюють повітря, що надходить через отвори у районі горну печі [36, EPRI, 1992]. Більш складні стадії керування, що викликають втрату часу і, можливо, великі інвестиції (наприклад, необхідність додаткового отвору в робочому вікні та механізмів зачинення для завантаження і видалення металу і шлаку із печі) є недоліком такого типу технології відведення. Рівні витяжки шумопилозахисних кожухів подібні або зазвичай трохи вище, ніж у випадку додаткового каміну в поєднанні з отвором. Позитивний вплив обв'язки печі полягає у зниженні рівня шуму, якщо вона належно виконана. Придушення рівня шуму на EAF за допомогою шумозахисних огорож може знизити середній рівень звукового тиску на 10 – 20 дБ (А) [79, Кунер та ін., 1996]. Обв'язка кожуха печі може також застосовуватися під час процесів позапічної обробки сталі [22, ЕС EAF, 1994], але необхідна обробка стін цеху для виключення реверберації звуку.

Ще один спосіб відведення вторинних викидів від печі та інших установок полягає у повній обв'язці усіх установок в одній будівлі у герметичному виконанні.

Будівництво таких будівель і додатково необхідні великі установки для видалення пилу для досягнення повного знепилювання викликають значні витрати в операторів. З цієї причини необхідно ретельно оцінити витрати і результати для кожного конкретного випадку перед вибором варіанта. Позитивний вплив цього заходу полягає у зниженні рівня шуму, здатного проникати за межі будівлі. Зазвичай тиск у будівлі у герметичному виконанні знаходиться нижче атмосферного тиску задля запобігання викидам диму через випадкові віконні отвори.

Для високого рівня відведення має бути забезпечений достатній обсяг видалення. Залежно від системи відведення обсяги видалення часто знаходяться у діапазоні від 0,6 до 1,2 млн м³/год.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Часто застосовується поєднання безпосереднього відведення диму і системи каміну. Таке поєднання допомагає досягти ступеня відведення близько 98 % від первинних викидів. Крім того, можна відвести також значну частку викидів при завантаженні та випуску плавки (вторинні викиди), хоча це залежить від типу та кількості камінів [22, ЕС EAF, 1994]. Поєднання пристрою для безпосереднього відведення та обв'язки кожуха печі може навіть допомогти досягти рівня відведення від 97 до 100 % від загальних викидів пилу [57, Хайнен, 1997]. При загальному відсмоктуванні з будівлі також досягали відведення 100 % викидів.

В одному випадку система відведення викидів була заново сконструйована й оптимізована. Сюди можна включити підвищення обсягу відпрацьованих газів з 630 тис. до 1,25 млн нм³/год, нове облицьовування дахів сталеплавильного цеху, оновлення газоходу відхідних газів від печі й додатковий рукавний фільтр, три вентилятора і нову димову трубу.

Порівняння викидів пилу від димових труб сталеплавильних цехів до та після модернізації наведено в табл. 8.16.

Таблиця 8.16: Порівняння викидів пилу від димових труб сталеплавильних заводів до і після модернізації (один завод у Німеччині)

Параметр	Виміряні значення	
	Концентрація	Масова витрата
Викиди пилу від димових труб сталеплавильного заводу, середньодобові значення до серпня 2006 року	4,5 – 5 мг/м ³	3,25 кг/год
Викиди пилу від димових труб сталеплавильного заводу, середньодобові значення з вересня 2006 року	0,35 мг/м ³	0,44 кг/год
Поліпшення, що досягаються після модернізації	- 93 %	- 87 %
<i>Джерело: [355, Плікерт, 2007].</i>		

Цей захід також суттєво допоміг поліпшити робочі умови та знизити розсіяні викиди пилу за допомогою дахових вентиляторів з 6,35 мг/м³ до 2,5 мг/м³, що відповідає зниженню викидів приблизно на 60 % [355, Плікерт, 2007].

Міжсередовищні наслідки

Для систем відведення викидів потрібна енергія, особливо для вентиляторів.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Ця технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних установок.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Основна мотивація – зниження викидів твердих частинок.

Приклади установок

Багато заводів у Європі мають поєднання безпосереднього відведення відхідних газів і камінів.

Такі німецькі заводи оснащені тільки шумопилозахисними кожухами або поєднанням шумопилозахисного кожуха і безпосереднім відведенням з отвору: завод компанії Benteler AG в м. Лінген; завод компанії ThyssenKrupp Nirosta в м. Бохум, тієї ж компанії в м. Крефельд, компанії Mannesmannrohr GmbH в м. Бус (Саар), компанії TSW в м. Трір, компанії Stahlwerke Thüringen GmbH в громаді Унтервелленборн, завод компанії Elbe und Stahlwerke Feralpi в м. Піза.

Система з повним відсмоктуванням із будівлі: компанія ArcelorMittal в мм. Шиффланж, Діфферданж, Бельваль, усі в Люксембурзі.

Довідкова література

[16, Ренц, 1997] [22, ЕС EAF, 1994] [57, Хайнен, 1997] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [366, Дорнзайффер та ін., 2007] [373, Eurofer, 2007]

8.3.5 Сучасні технології очищення первинних та вторинних викидів у повітря від електродугових печей

Технології очищення для первинних і вторинних викидів у повітря від ЕАФ (наприклад, концентрації PCDD/F у викидах в повітря) стосуються загальних первинних і вторинних викидів.

Тому, якщо первинні та вторинні викиди очищуються окремо, концентрація, що вказується як досяжна, повинна порівнюватись із середньозваженими концентраціями в первинних і вторинних викидах; в обох випадках вимір проводиться після системи відведення пилу.

8.3.5.1 Зниження запиленості за допомогою рукавного фільтра та електрофільтрів

Опис

Поза всякими сумнівами, найпоширенішою технологією очищення від пилу під час роботи електродугових печей (ЕАФ) є рукавний фільтр, який особливо придатний для очищення від пилу, що утворюється під час роботи ЕАФ. Рукавні фільтри є дуже ефективними при вловлюванні всіх твердих часток, пов'язаних із забруднюючими речовинами, наприклад важкими металами, а також хлорорганічними забруднювачами, такими як PCDD/F, особливо за умов використання адсорбуючих агентів (див. п. 8.3.5.3).

Потік відхідних газів первинних і вторинних викидів залежить від систем видалення. Обсяги, що відсмоктуються, часто знаходяться в діапазоні від 0,6 до 1,4 млн м³/год. Для великих рукавних фільтрів, які зазвичай потрібні в електросталеплавильних цехах, обирається конструкція із трубчастими фільтрувальними елементами близько 6 м завдовжки і діаметром близько 200 мм. Дуже важливим конструктивним параметром для рукавних фільтрів є питоме навантаження повітря на тканину, яке в разі електросталеплавильного виробництва часто буває від 1 до 1,3 (м³/хв/м²).

Типовим фільтрувальним матеріалом для застосування в ЕАФ є іскробезпечний поліефір або політетрафторетилен із покриттям з іскропробивного полотна. Однак важливою проблемою для надійної роботи рукавного фільтра є запобігання потраплянню розпечених часток до фільтрувального середовища, і, отже, пропалюванню отворів у ньому. З цією метою часто встановлюються іскровловлювачі, такі як циклони, в газоходах неочищеного газу.

Очищення тканини, тобто періодичне видалення пилу, який накопичується на поверхні тканини, виконується або за допомогою механічного струшування, або безперервно, повністю в автоматизованому режимі системою з пульсуючим струменем (стисненого повітря), і це означає, що потік відхідних газів продовжує проходити протягом очищення. Шматки пилу, що спіклися та падають із рукавних фільтрів, збираються в бункери для пилу нижче рукавних фільтрів і видаляються з фільтра конвеєрною системою.

На невеликій кількості печей використовуються електрофільтри з дещо гіршими характеристиками ефективності очищення.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

На рис. 8.17 показаний характер викидів пилу з однієї ЕАФ протягом трьох років (2004 – 2006 років). Дані показують, що при добре спроектованих і добре експлуатованих рукавних фільтрах досяжні середньорічні значення за викидами пилу в 1 мг/нм^3 . Рукавні фільтри, що добре спроектовані та добре обслуговуються, мають залишкові викиди менше 5 мг/нм^3 (середньодобові).

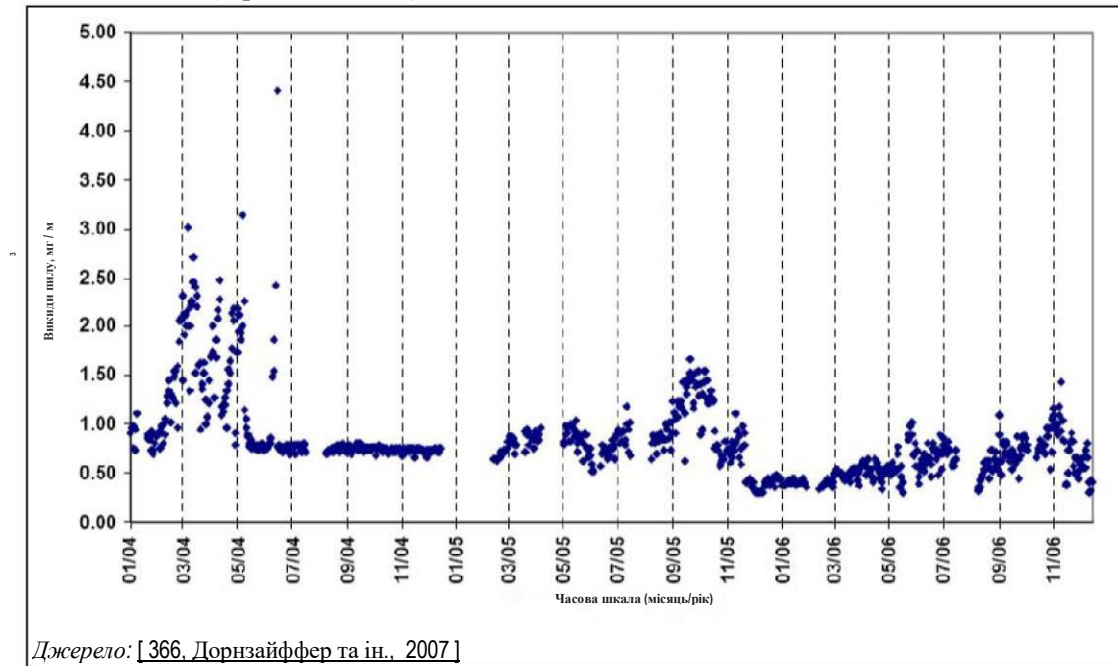


Рис. 8.17. Середньодобові викиди пилу від ЕАФ за три роки

Докладні результати безперервного вимірювання пилу для трьох згаданих ЕАФ за три роки наведені в табл. 8.17.

Таблиця 8.17: Середньодобові викиди пилу від трьох ЕАФ (2004 – 2006 роки)

Результати вимірювань	ЕАФ А	ЕАФ В	ЕАФ С	Одиниці вимірювання
Середнє значення	0,84	0,85	0,53	мг/нм^3
Стандартне відхилення	0,47	0,40	0,58	мг/нм^3
Мінімум	0,30	0,05	0,01	мг/нм^3
Максимум	7,82	4,35	7,36	мг/нм^3
Кількість значень	902	716	1054	

Джерело: [366, Дорнзайффер та ін., 2007].

У табл. 8.18 показані результати семи вимірів концентрації пилу і важких металів, проведених у Німеччині та Австрії, а також двох у Нідерландах.

Таблиця 8.18: Концентрації залишкового пилу і важких металів від дев'яти EAF після очищення

Параметр		Рукавний фільтр	Електрофільтр ⁽¹⁾	Одиниці вимірювання
Пил		0,35 – 3,4	1,8	мг/нм ³
Метали:	Hg	0,001 – 0,019		мг/нм ³
	Сума Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Se, Te, Ni, Co, Sn	0,006 – 0,022	<0,0003	мг/нм ³
	Cr (окрім Cr (VI))	0,013	0,01 – 0,07	мг/нм ³
	Mn	0,036		мг/нм ³
	Ni	0,003		мг/нм ³

⁽¹⁾ \ Електрофільтр застосовується при виплавці нержавіючої сталі.
Примітка: — Представлені середні щорічні значення, і вони стосуються централізованої системи пиловидалення.
— У РАН містяться бензопірен і дібензо-(a,h)-антрацит.
Джерело: [191, Infomil 2010] [244, Плікерт, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [355, Плікерт, 2007].

Міжсередовищні наслідки

Рукавні фільтри вловлюють переважно пил, включаючи важкі метали, які знаходяться як тверді частинки при температурі фільтрування, а також органічні речовини, які адсорбуються на пилу, разом з PCDD/F. Рукавні фільтри відіграють найважливішу роль в очищенні від PCDD/F, як описано в п.п. 8.3.5.2 і 8.3.5.3.

Експлуатаційні дані

Підвищені викиди можуть з'являтися, наприклад, коли частини рукавних фільтрів будуть пошкоджені. Цього можна уникнути за допомогою належної експлуатації, яка полягає у безперервному моніторингу викидів пилу і подальшій заміні всіх пошкоджених фільтрів. Хороша конструкція означає добре підігнані за розміром камери рукавних фільтрів, завдяки чому мінімізується механічний знос, наявність іскрогасників і контроль температури, а також детектування надмірного накопичення пилу.

Є різні типи тканин, що використовуються для виготовлення рукавних фільтрів. Деякі допускають температури 125 – 130 °С, інші можуть використовуватися за температур до 250 °С. Тканини, які придатні для низько-температурної фільтрації, відрізняються підвищеною ефективністю для очищення. Потік відхідних газів повинен охолоджуватися до потрібної температури. Це часто робиться за допомогою змішування первинного і вторинного потоків. Якщо в результаті температура все ще буде високою, і в разі окремого очищення первинного і вторинного потоків, необхідно встановити пристрій для додаткового охолодження у потоці первинних відхідних газів.

Споживання електроенергії становить приблизно 20 – 28 кВт-год/т рідкої сталі для рукавних фільтрів і системи повної витяжки з будівлі.

Можливість застосування

Очищення відхідних газів за допомогою рукавних фільтрів може бути застосована для нових і старих електросталеплавильних цехів.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Більшість європейських сталеплавильних цехів використовує рукавні фільтри для очищення від пилу. Приклади згаданої технології наведені у табл. 8.19.

Таблиця 8.19: Приклад установок, що використовують технології знепилювання

Приклади установок	Опис
Люксембург	Три цехи з EAF
Böhler Edelstahl, м. Капфенберг, Австрія	Виплавка високолегованої сталі із загальною продуктивністю 180 000 т/рік. У цеху є електродугова піч із садкою 50 т, системою позапічної обробки сталі з конвертером AOD і спеціальною установкою для вакуумної обробки і переплавлення. Для первинного пиловидалення основні джерела викидів (EAF і конвертер AOD). Відхідні гази відводяться від обох джерел викидів і очищуються за допомогою рукавного фільтра. Витрата відхідних газів близько 900 000 нм ³ /год.
Marienhütte, м. Грац, Австрія	Виробництво близько 365 000 т/рік вуглецевої сталі, з якої отримують сортову сталь і армовану сталь. Піч із садкою 35 т. Протягом процесу плавлення первинні викиди відводяться з 4-го отвору. Вторинні викиди відводяться через парасоль. Первинні і вторинні викиди проходять через камеру змішування і очищуються разом у рукавному фільтрі. Загальна витрата відхідних газів близько 1 млн нм ³ /год.
Elbe Stahlwerke Fergalpi, м. Різа, Німеччина	Обсяг відхідних газів близько 1,25 млн нм ³ /год; площа фільтрувального матеріалу в елементах фільтра 19 270 м ²
BSW, м. Кель, Німеччина	Обсяг відхідних газів близько 1,8 млн нм ³ /год; площа фільтрувального матеріалу в елементах фільтра 38 000 м ² .
Ovako, м. Іматра, Фінляндія	Обсяг відхідних газів приблизно 0,62 млн нм ³ /год; площа фільтрувального матеріалу в елементах фільтра 9 400 м ² . Фільтрувальний матеріал – політетрафторетілен із покриттям, очищення фільтра за допомогою системи імпульсного очищення та безперервним моніторингом за допомогою системи SINTROL®1 і системи оптичного вимірювання SICK®.
<i>Джерело:</i> [208, Ліндфорс та ін., 2006] [277, Вісенбергер, 2007] [360, Зік-Майхак, 2006] [366, Дорнзайффер та ін., 2007] [355, Плікерт, 2007] REFERENCE BOOKMARK 8669.	

Довідкова література

[140, Eurofer, 2009] [208, Ліндфорс та ін., 2006] [244, Плікерт, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [355, Плікерт, 2007] [366, Дорнзайффер та ін., 2007] [367, Прюм та ін., 2005] [375, IISI, 1998] [388, Фішер та ін., 2005]

8.3.5.2 Зниження викидів PCDD/F за допомогою доспалення та заготовування в поєднанні з рукавним фільтром

Опис

Допалювання у камері згоряння призначене, перш за все, для повного спалювання CO і H₂, що залишаються у газах, для запобігання неконтрольованих реакцій в обладнанні для очищення газів.

По-друге, це допалювання, коли воно добре оптимізовано (тобто коли температура і час перебування є адекватними), знижує викиди органічних і хлорорганічних сполук, таких як PAH, PCB або PCDD/F. Спалювання з додатковою метою мінімізації мікрокількостей органічних забруднювачів вимагає адекватного часу перебування, ступеня турбулентності й температури (принцип 3 т).

Тепло, що утворюється при спалюванні, зазвичай не утилізується, якщо тільки утилізація неможлива з охолоджуваною водою.

Для запобігання синтезу de novo PCDD/F, важливо забезпечити швидке охолодження (гартування) відхідних газів якомога швидше після допалювання до температури нижче 250 °С, при якій ризик синтезу de novo виключений. У деяких випадках цього можна досягти шляхом розведення вторинного контуру; однак, зазвичай, за допомогою розпилення води в охолоджувальній вежі. На рис. 8.18 представлено допалювання первинних відхідних газів від EAF із наступним швидким охолодженням.

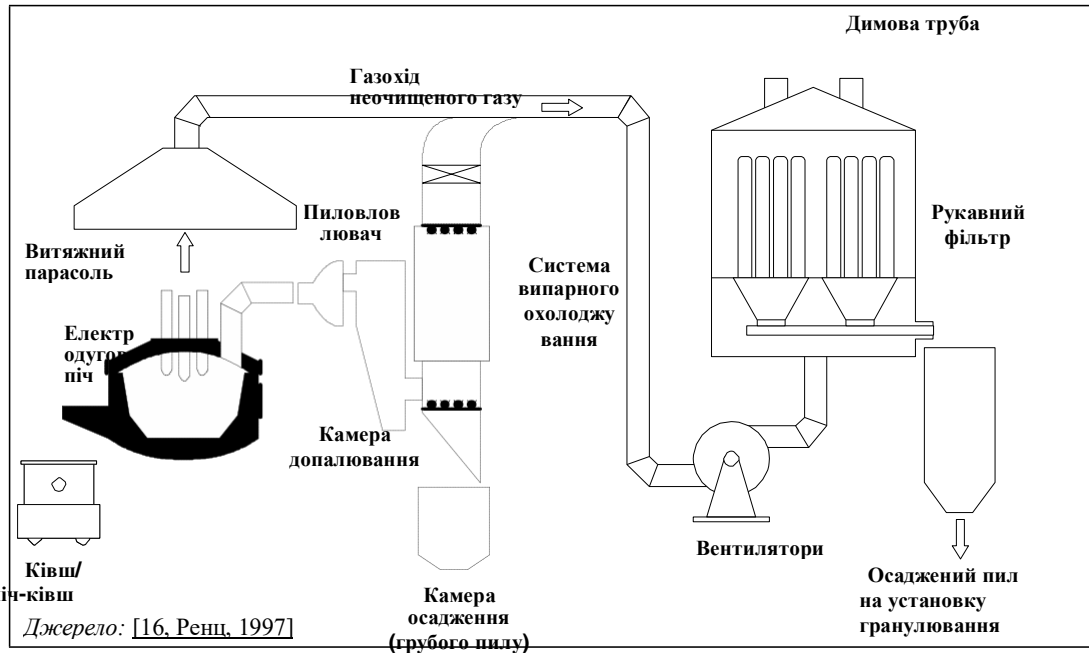


Рис. 8.18. Спалювання основних відхідних газів EAF із наступним швидким охолодженням

Екологічні переваги, яких можна досягнути

На рис. 8.19 показані концентрації PCDD/F, виміряні на двох EAF із допалюванням і швидким охолодженням, які перебували у діапазоні від 0,102 до 0,7 нг I-TEQ/нм³. Основними причинами відсутності надійності, що спостерігається, цієї технології є:

- недостатній рівень температури, що досягається у камері допалювання протягом перших кількох хвилин процесу плавлення в EAF, саме в той час, коли можливе найвище навантаження з органічного забруднення у печі
- відстань між камерою допалювання і охолоджуваною вежею у цьому конкретному випадку внаслідок ситуації з реконструкцією була великою, і, отже, була тривала можливість проходження синтезу de novo. Розташування системи гарту поруч із камерою допалювання, ймовірно, повинно привести до набагато кращих результатів.

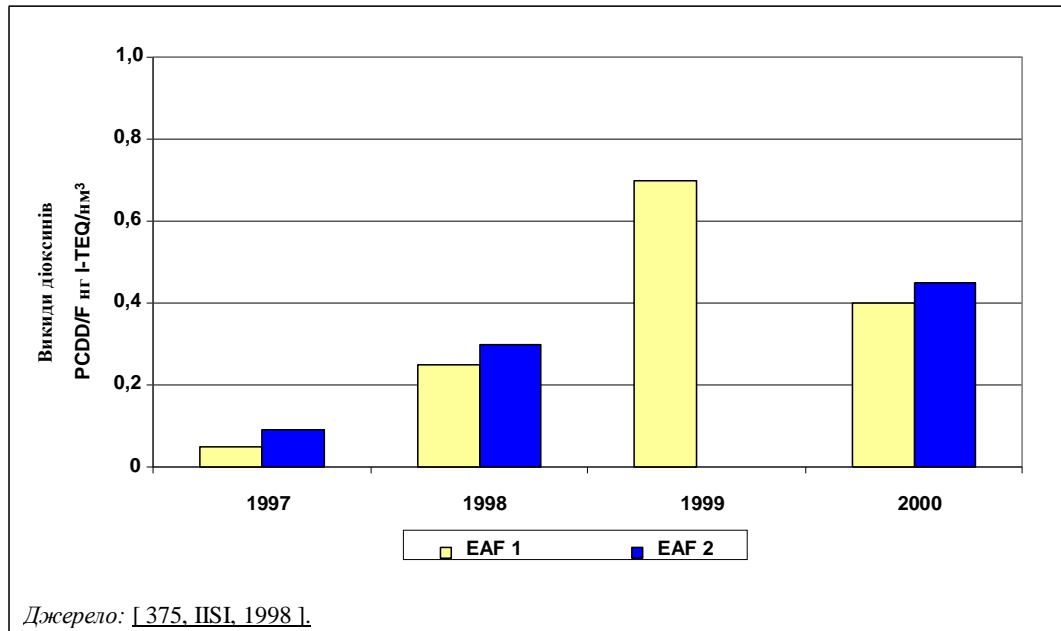


Рис. 8.19. Середньорічні концентрації діоксинів у викидах від двох EAF із доспаленням та швидким охолодженням (1997 – 2000 роки)

У табл. 8.20 наведені результати вимірювань викидів пилу, PAH і PCDD/F у Німеччині та Австрії.

Таблиця 8.20: Концентрація викидів пилу, PAH і PCDD/F після очищення

Параметр	Рукавний фільтр	Одиниці вимірювання
Пил	0,35 – 3,4	мг/м ³
PAH	<0,00001	мг/м ³
PCDD/F	0,0015 – 0,1 ⁽¹⁾	нг I-TEQ/м ³

⁽¹⁾ Верхня межа діапазону стосується вимірювань, проведених у 1997 році.
Примітка: — Представлені середні щорічні значення, і вони стосуються централізованої системи пиловидалення.
— У PAH містяться бензопірен і дібензо-(a,h)-антрацит.
Джерело: [244, Плікерт, 2007] REFERENCE BOOKMARK_8669 [277, Вісенбергер, 2007] [355, Плікерт, 2007].

Загалом, при належному доспаленні з наступним швидким охолодженням (при розведенні повітрям або загартовуванням у воді) можна досягти концентрації викидів PCDD/F менше ніж 0,1 нг I-TEQ/м³. У деяких випадках із вищезазначених причин можуть мати місце вищі концентрації PCDD/F.

У нижченаведеній табл. 8.21 показані результати для вимірювань пилу і PCDD/F від чотирьох EAF в Німеччині з доспаленням і швидким охолодженням.

Таблиця 8.21: Показники після доспалення і швидкого охолодження на чотирьох EAF в Німеччині

ПЕЧІ	EAF 1		EAF 2			EAF 3		EAF 4 ⁽¹⁾					
Показники													
Вага плавки (т)	105		138			85/85		150					
Підведення енергії (МВА)	105		96			57/68		135					
Видалення викидів	4-ий отвір, камін		4-ий отвір, камін			4-ий отвір, камін		4-ий отвір (первинний), шумопозахисний кожух (вторинний 1 та 2)					
Доспалення (РС)	Камера доспалення (повітря)		Камера доспалення в газоході			Камера доспалення (повітря)		Камера доспалення в газоході					
Охолодження відхідних газів	Розпилення води		Очищення води після охолодження			Система охолодження шляхом розпилення (гартування)		Теплообмінник із водним охолодженням					
Система очищення відхідних газів	Рукавний фільтр		Електрофільтр			Рукавний фільтр (1 для обох)		Рукавні фільтри					
Кількість вимірювань у печі	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	4	5	6
Концентрації газу: ⁽²⁾													
Пил у неочищеному газі (первинний)	3 398	14 246	4 200	12 500	3 600	–	–	–	–	–	–	–	–
Пил у неочищеному газі (вторинний)	148	273	Первинний і вторинний разом										
Пил у чистому газі (первинний)	0,76	1,05	15	15	18	1,45	1,1	<1,1					
Пил у чистому газі (вторинний)	Середнє ⁽³⁾		Середнє ⁽³⁾			Середнє ⁽³⁾		0,54 ⁽⁴⁾ 1,8 ⁽⁴⁾					
PCDD/F (первинні)	–	–	–	–	–	–	–	0,09	0,047	0,084	0,022	0,02	0,08
PCDD/F (вторинні)	–	–	–	–	–	–	–	–	0,025 0,015	0,043 0,024	0,009 0,08	0,013 0,04	0,013 0,08
PCDD/F (суміш, первинні та вторинні)	0,016	0,021	0,01	0,02	0,01	0,13	0,1	–	–	–	–	–	–
<p>(1) Виміри проведені у 2008 році.</p> <p>(2) Концентрації неочищеного і очищеного газу в мг/нм³, Концентрації PCDD/F в нг I-TEQ/нм³.</p> <p>(3) Середнє з вимірювань в двох точках.</p> <p>(4) Два значення стосуються вторинного 1 і вторинного 2. Примітка: – = Не стосується або відсутня інформація. (первинні) = Концентрації після пристрою для знепилювання для первинних відхідних газів. (вторинні) = Концентрації після пристрою для знепилювання для вторинних відхідних газів.</p> <p>Джерело: [16, Ренц, 1997] [137, Теобальд, 1995] [177, Eurofer, 2009] [.189, N.N., 2008]</p>													

Міжсередовищні наслідки

При спалюванні з додатковими пальниками споживається значна кількість енергії (близько 30 кВт-год/т). Через те, що газу повинні піддаватися гартуванню для запобігання синтезу de novo PCDD/F, енергія не може утилізуватися.

Експлуатаційні дані

Споживання води для гартування може доходити до 40 т/год.

Термічне спалювання перед загартуванням можна провести з використанням пальників на природному газі в камерах згорання.

Можливість застосування

Установка для доспалення компанії BSW в м. Кель, Німеччина, працює без суттєвих проблем.

В принципі, доспалення може застосовуватись як для нових, так і для наявних цехів, але в наявних цехах слід перевірити місцеві умови та можливості (наприклад, наявні площі, систему видалення відхідних газів тощо) в кожному конкретному випадку.

Економічні дані

Інвестиції на охолоджувальну вежу склали 1,2 млн євро в 1997 році. Додаткові економічні дані відсутні. Це вищі інвестиції порівняно з адсорбційним процесом (див. п. 8.3.5.3).

Стимули для впровадження

Основним стимулом для впровадження доспалення та подальшого швидкого охолодження є проблеми захисту навколишнього середовища і здоров'я населення, пов'язані зі зниженням викидів PCDD/F.

Приклади установок

Компанія BSW, м. Кель, Німеччина, компанія Salzgitter AG, м. Пайне, компанія BES, м. Бранденбург, Німеччина, компанія HSE Henningsdorfer Stahl Engineering GmbH, м. Хеннінгсдорф, Німеччина, компанія DEW, Німеччина, компанія ArcelorMittal, м. Гамбург, Німеччина, компанія Gerlafingen Stahl AG, Швейцарія, компанія ArcelorMittal, мм. Діфферданж та Бельваль, Люксембург.

Довідкова література

[68, Кархер та ін., 1996] [73, Кнапп, 1996] [167, Вернер, 1997] [366, Дорнзайффер та ін., 2007] [367, Прюм та ін., 2005] [373, Eurofer, 2007] [375, IISI, 1998]

8.3.5.3 Зниження викидів PCDD/F за допомогою адсорбуючих матеріалів у поєднанні з рукавним фільтром

Опис

Для зниження вмісту стійких органічних забруднювачів (СОЗ), особливо PCDD/F у газах (первинні та вторинні викиди) можна дозувати введення адсорбентів (наприклад, активованого вугілля, пилоподібного активованого буровугільного коксу або їх сумішей із вапном) в газохід перед системою газоочищення. Необхідна кількість залежить від типу та розміру адсорбенту. Зазвичай ця кількість знаходиться в діапазоні від 20 до 150 мг/нм³ відхідних газів. Розмір частинок пилоподібного активованого буровугільного коксу зазвичай знаходиться в діапазоні від 0 до 0,4 мм, в середньому 0,63 мкм. Після змелювання середній розмір становить 24 мкм, що призводить до зниження рівня дозування. Використовувані вуглецевмісні адсорбенти мають середній розмір частинок близько 25 мкм.

Адсорбція проходить протягом трьох стадій; спочатку, коли потік адсорбенту стикається з потоком неочищеного газу; потім збагачений адсорбентом неочищений газ прямує до пристрою для фільтрації, і, нарешті, (особливо за умови використання рукавних фільтрів) газова фаза вступає у взаємодію з покритим шаром адсорбенту пилом на фільтрувальному середовищі [63, Уірлінг, Дж., 2007].

Вуглець, до якого адсорбуються молекули PCDD/F, відділяється з газової фази разом із пилом від EAF, що міститься в неочищеному газі в наступних рукавних фільтрах.

На рис. 8.20 наведена схема вдування адсорбенту.

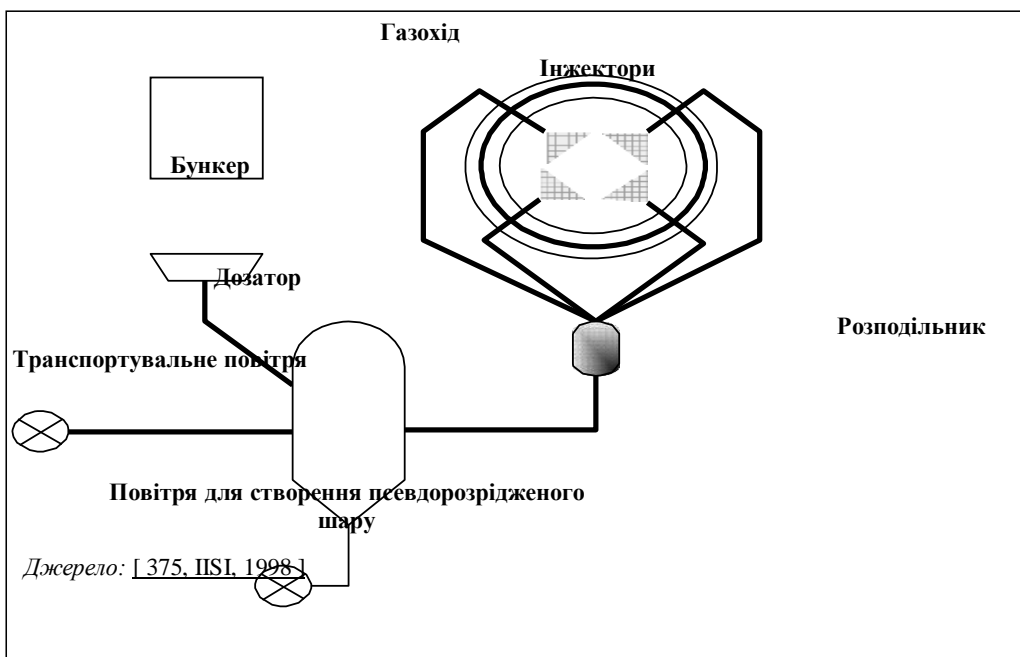


Рис. 8.20. Схема вдування адсорбенту

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Залишкові концентрації PCDD/F у викидах в діапазоні 0,01 – 0,1 нг I-TEQ/нм³ є досяжними на практиці. Деякі розрахунки з використанням коефіцієнтів, наведених у п. 8.2.2.1.3 показують, що ці значення викидів відповідають 0,01 – 0,14 нг BOO3-TEQ PCDD/F (включаючи діоксиноподібні PCB). Ефективність видалення досить стабільна та надійна.

Крім адсорбції PCDD/F активоване вугілля та пилоподібний активований буровугільний кокс показують високу ефективність відділення важких металів і деяку ефективність у видаленні ртуті з газової фази. У табл. 8.22 показано зниження викидів PCDD/F в результаті вдування пилоподібного активованого буровугільного коксу.

Таблиця 8.22: Зниження викидів PCDD/F в результаті вдування пилоподібного буровугільного коксу

Електродугова піч	Витрата газу (1 000 нм ³ / год)	Додавання адсорбенту з буровугільного коксу (кг/год)	PCDD/F: Концентрація викидів без вдування адсорбенту (нг I-TEQ/нм ³)	PCDD/F: Концентрація викидів із вдуванням адсорбенту (нг I-TEQ/нм ³)
A	750	100 ⁽¹⁾	0,178 – 1,44	0,085 – 0,226
		35 ⁽²⁾		0,003 – 0,008
		25 ⁽²⁾		0,023 – 0,092
B	850	40 ⁽²⁾	0,072 – 0,722	0,007 – 0,032
C	770	50 ⁽²⁾	0,040 – 0,714	0,005 – 0,075
D	690	15 ⁽²⁾	<2,0	<0,05
E	840	20 ⁽²⁾		0,002 – 0,007
F	1250			0,015 – 0,04

(1) Буровугільний кокс стандартної якості; розмір часток 63 мкм (300 м²/т).
(2) Подрібнений активований буровугільний кокс; розмір часток 24 мкм (1 200 м²/т); вважається, що має високий пірофорний індекс.
Примітка: Дані представлені за 1999 – 2004 роки.
Джерело: [260, Німеччина, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [367, Прюм та ін., 2005] [368, Прюм та ін., 2004] [375, PSI, 1998].

У табл. 8.23 наведені результати вимірювань концентрації діоксинів відповідно до прогресу в результаті поступової модернізації та оптимізації системи очищення EAF за допомогою установки системи вдування активованого вугілля в газоході перед рукавним фільтром. Обсяг відхідних газів складає близько 1,25 млн нм³/год.

Таблиця 8.23: Прогрес в очищенні від PCDD/F після встановлення другої системи вдування вугілля

	Концентрація викидів PCDD/F
Після пуску першої системи вдування активованого вугілля	
Середня концентрація на основі трьох вимірів у вересні, жовтні і листопаді 2006 року	0,04 нг I-TEQ/нм ³
Після пуску другої системи вдування активованого вугілля	
Вимірювання 06 – 08 березня 2007 року	0,015 нг I-TEQ/нм ³

Джерело: [355, Плікерг, 2007]

Дослідження показують, що стійкі органічні забруднювачі, такі як PCDD/F, які адсорбуються на активованому буровугільному коксі, невідворотно зв'язуються завдяки високій силі хімічного зв'язку та надійно руйнуються або каталітично розкладаються протягом термічної обробки пилу.

Міжсередовищні наслідки

Кількість енергії, необхідної для дозування пилоподібного активованого буровугільного коксу, є незначною. У пилу від фільтра міститься порошок буровугільного коксу і трохи збільшена кількість PCDD/F, але це не заважає обробці пилу для утилізації кольорових металів.

Експлуатаційні дані

Слід приділяти увагу кінцевому вмісту вуглецю в суміші пилу, що видаляється в рукавному фільтрі. Для запобігання ризику займання вміст вуглецю в пилу EAF має залишатися нижче 4 %.

Кількість домішок активованого вуглецю або буровугільного коксу, що вдуваються, залежить від площі їхньої ефективної адсорбуючої поверхні. Активоване вугілля має найвищу питому вільну поверхню і демонструє дуже хороший адсорбуючий ефект. Активованій буровугільний кокс є більш вигідною економічною альтернативою, ніж активоване вугілля, а дрібно подрібнений буровугільний кокс із діаметром частинок 0,024 мм також демонструє дуже хорошу адсорбційну ефективність, і це призводить до зниження в 2 рази необхідного дозування порівняно зі стандартним буровугільним коксом [367, Прюм та ін., 2005]. Іноді для запобігання займання до матеріалів на вуглецевій основі, що вдуваються, слід додати інертні матеріали. У табл. 8.24 представлені характеристики різних адсорбентів та абсорбуючих матеріалів.

Таблиця 8.24: Характеристики різних адсорбуючих та абсорбуючих матеріалів

Адсорбуючі та абсорбуючі матеріали		Розмір зерен, мм	Площа поверхні ВЕТ ⁽¹⁾ , м ² /г	Нормативні забруднюючі речовини
Стандартний порошкоподібний активований буровугільний кокс	Вуглець	0,063	300 – 400	Органічні сполуки, важкі метали
Тонко подрібнений порошкоподібний активований буровугільний кокс	Вуглець	0,024	1 200	
Порошкоподібне активоване вугілля (деревне)	Вуглець		500 – 1 600	
Цеоліт	Z		4 – 90	

⁽¹⁾ ВЕТ: Це питома поверхня, яка визначається за методом Брюнера – Еммета – Теллера (аббревіатура назви за першими літерами прізвищ винахідників).

Всебічні дослідження показали, що потрібен тільки дуже короткий час контакту для адсорбції PCDD/F на активованому буровугільному коксі. Однак ефективність очищення залежить від імовірності контакту між сорбентом і молекулою забруднюючої речовини. Розподіл адсорбенту в потоці відхідних газів відіграє тут основну роль.

Важливою передумовою для досягнення оптимальної ефективності очищення є наявність однорідної та, в той самий час, турбулентної суміші вже в місці вдування, де відбувається

перша стадія сепарації забруднюючих речовини. Суттєвим фактором під час вибору адсорбентів є оптимальний розподіл радіусу пор для адсорбції молекули забруднювача.

Необхідні запобіжні заходи для запобігання потрапляння іскор до рукавного фільтра, для того щоб уникнути можливого займання, так як зростання вмісту вуглецю в пилу, що вловлюється, може підвищити його займистість. Ризик вибуху був оцінений як низький. Захист від займання і вибуху досягається за допомогою поєднання превентивних заходів (наприклад, інертизації адсорбенту, запобігання потрапляння іскор, обмеження кількості адсорбенту в пилу від фільтра). Технологіями, що застосовуються, є використання іскрових детекторів, системи заповнення азоту, контроль температури в рукавному фільтрі та детектування накопичення пилу в накопичувальному бункері рукавного фільтра. Спонтанним реакціям займання пилу від фільтра можна надійно запобігти за допомогою постійного усунення відкладень великих обсягів у секції установки, яку піддають впливу потоків гарячого газу.

Низькі викиди PCDD/F в очищеному газі досягаються при дозах адсорбенту 25 – 35 мг/нм³, що ілюструє високий адсорбуючий ефект буровугільного коксу.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних заводів.

Економічні дані

Інвестиції для загального потоку відхідних газів (первинних і вторинних відхідних газів) від EAF, що виробляє близько 1 млн т сталі/рік, становлять приблизно 500 тис. євро.

Стимули для впровадження

Основними стимулами для впровадження цієї технології для зниження викидів PCDD/F є міркування щодо захисту навколишнього середовища і здоров'я людини, а в разі заводу компанії Feralpi в м. Різа, Німеччина, це ще й підвищення продуктивності.

Приклади установок

Технологія була впроваджена у декількох європейських електросталеплавильних цехах із 1997 року.

Компанія ArcelorMittal на заводах в м. Шиффланж, Діфферданж та Бельваль у Люксембурзі; компанія Swiss Steel на заводі в м. Герлафінген у Швейцарії; компанія Stahlwerk Thüringen в м. Унтервелленборн у Німеччині; компанія Elbe Stahlwerke Feralpi, м. Різа, Німеччина; а також компанія ArcelorMittal у м. Генк у Бельгії впровадили технологію.

Довідкова література

[260, Німеччина, 2007] [277, Вісенбергер, 2007] [355, Плікерт, 2007] [366, Дорнзайффер та ін., 2007] [367, Прюм та ін., 2005] [368, Прюм та ін., 2004] [373, Eurofer, 2007] [375, PSI, 1998]

8.3.6 Очищення стічних вод, що утворюються в процесі безперервного лиття

Опис

Вода використовується у машинах безперервного лиття заготовок для прямого охолодження слябів, блюмсів і заготовок. Тому утворюється потік забрудненої технічної води. У багатьох випадках ці стічні води очищуються разом із потоками стічних вод від станів гарячої прокатки. Після очищення відбувається рециркуляція цих вод.

Кристалізатор і внутрішня частина роликів зазвичай охолоджуються водою у замкненому контурі, і тут це не розглядається.

Основними забруднюючими речовинами є зважені тверді речовини і масла. Основними заходами для зниження скидів у воду є високий рівень рециркуляції разом з осадженням і/або фільтрацією зливу. Для видалення масел можуть використовуватися баки-сепаратори.

Уприскувана вода зазвичай осідає за допомогою фільтрації через пісок після охолодження у випарній градирні. Фільтрація через пісок допомагає у забезпеченні низьких рівнів твердих частинок і нафтового забруднення для досягнення задовільної тривалої роботи сопел вторинного розпилення у машині безперервного лиття заготовок. Злив із відкритої системи для контролю рівня розчинених твердих частинок повинен здійснюватися з розташованої далі по технологічному ланцюгу установки для піщаної фільтрації для мінімізації скидання зважених твердих частинок і будь-яких забруднювачів у вигляді масел/жирів. Для запобігання засмічення установки піщаної фільтрації перед нею необхідно встановити систему збору нафти.

Технології для очищення стічних вод від безперервного лиття можна вважати подібними до тих, які описані в п. 7.3.4.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

В табл. 8.25 можна побачити: Склад потоків стічних вод від безпосереднього охолодження в компанії BSW в м. Кель, Німеччина, після очищення стічних вод (2008 рік), наведено приклад складу стічних вод від безпосереднього охолодження в процесі безперервного розливання і в процесі гарячої прокатки.

Таблиця 8.25: Склад потоків стічних вод від безпосереднього охолодження в компанії BSW в м. Кель, Німеччина, після очищення стічних вод (2008 рік)

	Одиниці вимірювання	Безперервне лиття після піщаного фільтра (1)	Стан гарячої прокатки після піщаного фільтра (1)
Витрата	м ³ /год	421	802
Температура	°C	39	30
Зважені тверді частинки	мг/л	30,8	4,8
Загальний органічний вуглець (ЗОВ)	мг/л	1,33	1,85
АОХ	мг/л	<0,01	<0,01
Fe	мг/л	0,053	<0,1
Цинк	мг/л	<0,05	<0,05
Ni	мг/л	<0,02	<0,02
Мідь	мг/л	<0,02	<0,02
Вуглеводні нафтопродуктів (мг/л)	мг/л	<0,1	<0,1
⁽¹⁾ Випадкова вибірка за 24 год. Джерело: [178, N.N., 2008].			

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Високий рівень рециркуляції та очищення зливу можуть застосовуватись як на нових, так і на наявних заводах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок Компанія BSW, м. Кель, Німеччина, компанія TSW, м. Трір, Німеччина.

Довідкова література

[178, N.N., 2008]

8.3.7 Система водоохолодження із замкненим контуром

Опис

Зазвичай вода використовується в процесах електросталеплавильного виробництва тільки в зв'язку з безконтактним охолодженням і тільки якщо для очищення відхідних газів використовується мокре газоочищення. Через те, що мокре газоочищення застосовується тільки в невеликій кількості випадків, ця тема додатково більше не розглядатиметься в цьому розділі. Найважливішим використанням води, що розглядається тут, є вода, яка використовується для охолодження елементів печі. Окрім того, деяка кількість може використовуватися для охолодження відхідних газів або для стадій позапічної обробки сталі. Вода, необхідна для охолодження елементів, витрачається в кількості 5 – 12 м³/м²/год [16, Ренц, 1997].

Екологічні переваги, яких можна досягнути

За допомогою застосування цієї технології не відбувається скидання стічних вод.

Міжсередовищні наслідки

Система із замкненим контуром вимагає додаткової енергії для перекачування та охолодження води.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Описана технологія може застосовуватися на нових та наявних заводах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Законодавчі вимоги і обмежена доступність охолоджувальної води є стимулом для впровадження цієї технології.

Приклади установок

Компанія Preussag Stahl AG, м. Пайне, Німеччина; компанія BSW, м. Кель, Німеччина та багато інших установок в ЄС. Майже всі електросталеплавильні цехи в ЄС використовують водоохолодження із замкненим контуром.

Довідкова література

[16, Ренц, 1997]

8.3.8 Переробка пилу EAF з вилученням та утилізацією ВМ

Опис

Залежно від типу виробленої сталі близько 10 – 30 кг пилу/т сталі вилучається з відхідних газів (див. табл. 8.1).

Вловлений пил, що отримується за допомогою обладнання для очищення газу, містить значну частину гарячих металів. У разі вуглецевої сталі в цьому пилові переважно знаходиться цинк і в меншій кількості свинець (див. табл. 8.10), а в разі нержавіючої сталі крім цинку знаходяться значні кількості хрому і нікелю.

Процеси для утилізації цинку та утилізації чи видалення інших важких металів є слушними варіантами для використання цінних ресурсів, які вже були здобуті та перероблені, принаймні один раз. В принципі, існують пірометалургійні та гідрометалургійні варіанти для утилізації цинку. Для пилу від виробництва вуглецевої/низьколегованої сталі існують різні технології, і вони управляються в більшості випадків компаніями, які мають тісні зв'язки із сектором кольорової металургії.

Для утилізації пилу з EAF бажано мати високі рівні концентрації важких металів для досягнення хороших економічних показників. З метою підвищення вмісту цинку в їхньому пилові деякі оператори EAF повертають частину пилу, що утворюється, знову в піч.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Ці важкі метали є токсичними, і вони можуть вилуговуватися, і тому необхідно приділяти цим питанням особливу увагу при подальшій переробці та можливому депонуванні пилу на полігонах.

Можна досягти кількісно значущої утилізації пилу та рециклінгу важких металів. При виборі варіантів утилізації та рециклінгу необхідно враховувати мету запобігання і контролю забруднення навколишнього середовища. Використанню заліза і важких металів, що містяться в пилу, віддається перевага порівняно з його депонуванням.

Міжсередовищні наслідки

Рециклінг осадженого пилу від EAF для збагачення цинку за допомогою повернення його до EAF призводить до деяких впливів на процес виготовлення сталі, таких як дедалі більше споживання енергії. Крім того, метод додавання пилу до шихти печі може впливати на характеристики печі.

У разі гранулювання пилу перед транспортуванням/рециклінгом необхідна додаткова енергія, так як може відбутися додаткове утворення пилу.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних заводів.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Основними стимулами для впровадження цієї технології є обмеження місць для полігонного депонування, жорсткіші норми для полігонного депонування і вартісні фактори, типу податків на депонування відходів.

Приклади установок

Є багато установок в ЄС, де проводиться утилізація пилу для зовнішніх споживачів.

Одним прикладом є електродугова піч компанії Marienhütte, в м. Грац, Австрія, на якій утворюється близько 6,9 тонн пилу на рік від очищення газу. Пил із вмістом цинку близько 38 % переробляється за межами заводу для утилізації цинку.

Довідкова література

[16, Ренц, 1997] [69, Кемені, 1994] [116, Ренц та ін., 1996] [373, Eurofer, 2007] [391, Таверньєр та ін., 2004] [394, Колетта та ін., 2002]

8.3.9 Переробка шлаку EAF**Опис**

При виплавці сталі в EAF утворюється близько 60 – 270 кг шлаку на тонну сталі згідно з технічними умовами, з метою виконання металургійних робіт (див. табл. 8.1). Затверділий шлак EAF при виплавці вуглецевої сталі можна розглядати як штучну гірську породу, схожу на природну гірську породу, що складається з оксидів заліза (FeO), вапна (CaO), діоксиду кремнію (SiO₂) та інших оксидів (MgO, Al₂O₃, MnO) (див. табл. 8.7). Шлаки EAF характеризуються високою міцністю, гарною стійкістю до атмосферних впливів, а також високою зносостійкістю. Вони також мають такі властивості, які роблять їх придатними для використання в гідротехнічних спорудах [57, Хайнен, 1997]. Важливим критерієм для використання шлаку EAF є сталість обсягу, яка залежить від наявності вільного вапна.

Велика частина шлаків під час виробництва сортів низьковуглецевої сталі мають порівняно низький вміст вільного вапна (див. табл. 8.7), і вони придатні для різних застосувань на зразок дорожнього будівництва, земляних насипів і гідротехнічних споруд. Шлаки EAF від виплавки вуглецевої сталі зазвичай відповідають технічним умовам для наповнювачів, що використовуються в будівництві. Вирішальними факторами у питанні їх використання є прийнятність для довкілля і структурна стійкість. Якщо виконано необхідні законодавчі умови для використання в будівництві, шлак EAF слід піддати дробленню, просіванню і класифікації за розмірами для використання. Залізовмісні компоненти шлаку відокремлюються за допомогою магнітних сепараторів. Використання переробленого шлаку для різних будівельних цілей залежить також від розмірів зерен. На рис. 8.21 представлена технологічна схема установки для попередньої обробки шлаку для німецького заводу.

У 1994 році було використано близько 90 % шлаків EAF, що утворюються при виробництві нелегованої та середньолегованої сталі в деяких EAF [57, Хайнен, 1997].

Шлаки, що утворюються при виплавці високоякісної сталі, досі використовуються лише обмежено. Можливо також їх використання в дорожньому будівництві, але після попередньої обробки.

Наприклад у випадку компанії Böhler Edelstahl, на її заводі в м. Капфенберг, Австрія, утворюється 270 кг шлаку на тонну сталі. Цей шлак не вважається придатним для будівельної промисловості внаслідок його складу та властивостей (наприклад, розширення шлаку). Велика частина шлаку утворюється в EAF (приблизно 70 %), а інша частина в кисневому конвертері (приблизно 30 %). Ці шлаки депонуються на полігоні для інертних відходів.

Проте, є також приклади, коли частина або навіть увесь шлак від виплавки нержавіючої сталі використовується як будівельний матеріал, особливо в разі знижених технічних вимог (наприклад, шумозахисні огороження).

Можливість проведення рециклінгу шлаків, що утворюються при виплавці високолегованої або нержавіючої сталі, може бути оцінена або за допомогою додаткової оцінки або встановлення деяких спеціальних вимог переробки, залежно від властивостей такого шлаку (наприклад, коефіцієнта об'ємного розширення) (див. також п. 8.3.10).

Варіанти використання широкого спектру шлаків від позапічної обробки сталі обмежені. Розмір зерен і коефіцієнт об'ємного розширення є вирішальними факторами для використання таких шлаків. Вони іноді можуть використовуватись у сфері будівництва. Але значна частина цих шлаків піддається полігонному депонуванню, бо навряд є варіанти їх використання.

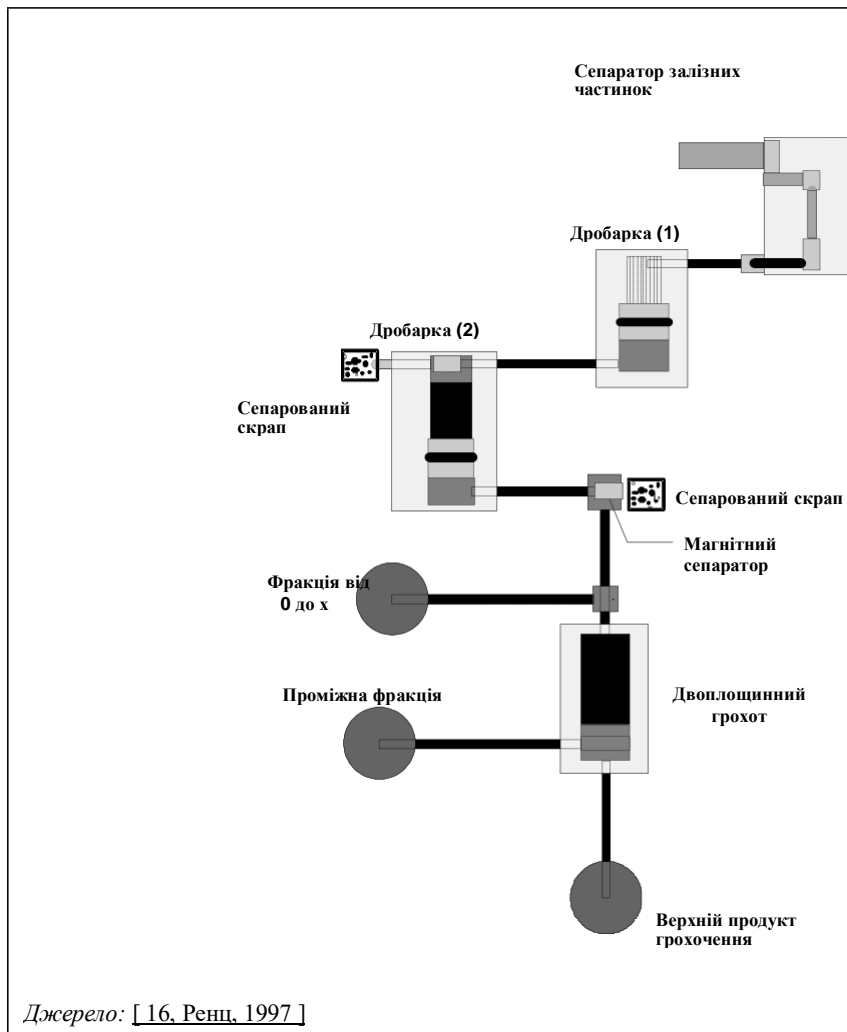


Рис. 8.21. Технологічна схема установки для попередньої обробки шлаку

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Шлаки від ЕАФ, які утворюються при виплавці вуглецевої або низьколегованої сталі, можна піддавати обробці з подальшим рециклінгом для використання в дорожньому будівництві.

Міжсередовищні наслідки

Для переробки шлаків потрібна енергія. Слід приділяти увагу лужним викидам, коли в шлаку міститься вільний CaO (див. п. 8.2.2.1).

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Ця технологія може бути застосована як до нових, так і до наявних заводів для вуглецевої сталі. Додаткова переробка може надати кращої придатності для використання як будівельного матеріалу.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Основними стимулами є обмеженість полігонів та аспекти витрат, пов'язаних із депонуванням.

Приклади установок

Компанія BSW, м. Кель, Німеччина (переробка шлаку з подальшим використанням для будівельних цілей).

Компанія Georgsmarienhütte GmbH, м. Георгсмарінгютте, Німеччина (продає шлак для зовнішньої переробки з подальшим використанням в дорожньому будівництві: шлак від електродугових печей і установок для вторинної переробки сталі змішується); компанія Salzitter Stahl AG, м. Пайне, Німеччина (переробка і використання в будівельному секторі).

Компанія ArcelorMittal на своїх заводах в мм. Шиффланж, Діфферданж та Бельваль у Люксембурзі використовує шлак з дугових печей для дорожнього покриття з високими характеристиками, гідротехнічних споруд та інших застосувань.

Довідкова література

[16, Ренц, 1997] [277, Вісенбергер, 2007] [373, Eurofer, 2007]

8.3.10 Переробка шлаків EAF від виплавки високолегованої та нержавіючої сталі

Опис

Деякі технології для переробки шлаку наведені нижче:

- a) переробка рідкого шлаку протягом випуску із залишками, в яких міститься Al_2O_3 .
- b) відновлення шлаку, що містить оксид алюмінію
- c) оптимізація кисневого продування (кисневої продувки) і використання деяких відновлювальних агентів
- d) запобігання утворенню пилу при видаленні шлаку з ковшів. Шлаки з високою основністю від виплавки нержавіючої сталі містять Ca_2S , який піддається фазовому перетворенню протягом охолодження. Трансформація включає певне підвищення обсягу. Під час загартування шлаку можна придушити фазове перетворення, і утворення пилу не відбуватиметься. Компанія Sandvik Materials Technology, Швеція, проблему утворення пилу при видаленні шлаку з ковша вирішила, адже завдяки швидкому зниженню температури вдалося запобігти утворенню пилу на більшій території

Потім над шлаком заливається 12 м³ води. Швидке зниження температури разом із зв'язуванням дрібних частинок із водою унеможливило розповсюдження пилу на великих площах. Сама вода рециркулює через басейн.

- е) технології для шлаку, що утворюється при виплавці нержавіючої сталі, зокрема:
- стабілізація шлаку за допомогою використання стабілізуючого агента для запобігання розпилення
 - контроль складу шлаку
 - мінімізація вилуговування хрому з матеріалу шлаку, майже без появи його в промивній воді (вміст хрому нижче межі визначення у 0,01 мг/л)
 - контроль охолодження шлаку
 - сепарація металу за допомогою дроблення, просівання, поділу за вагою та магнітної сепарації.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Такі технології можуть підвищити властивості шлаків EAF за допомогою фіксації хрому в стійкій матриці шлаку і можуть знизити вміст хрому в шлакові.

Відповідно до оцінок, для технології (d) при ранньому впровадженні технології утворення пилу було знижено більш ніж на 90 %. У зв'язку з тим, що тільки шлак з розливного ковша не переробляється оптимальним способом, зниження утворення пилу, ймовірно, близько до 100 %.

Через те, що визначення показника пилоутворення є проблемою, використовували певну кількість шлаковиків або човників для зонного плавлення близько цеху, які потрібно було очистити. У 2002 році загальна кількість шлаковиків і човників, що очищуються, складала 80. При новій технології у 2004 році в цій операції не виникала потреба, і не утворювався пил. Результати, отримані до теперішнього часу, виявилися дуже вражаючими з екологічного погляду.

Для технології (e) вдається знизити утворення пилу, і може бути значно знижено кількість відходів та збережено природні ресурси.

Міжсередовищні наслідки

Для технології (d) зросла кількість води, що рециркулює.

Для технології (e) в процесі необхідні додаткові стабілізуючі агенти.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Для технології (d) використання можливо, коли шлак ще був недостатньо підданий фазовому перетворенню (тобто в разі використання для всіх шлаковиків, EAF і AOD, за винятком шлаку в сталерозливному ковші, який залишився від машини безперервного лиття). За допомогою описаної технології загалом було перероблено 90 % шлаку, що утворився.

Ковші зі шлаком від сталерозливних ковшів заливаються водою, а потім остуджуються допоки вони не охолонуть і шлак не буде повністю просоченим водою.

Технологію (e) можна застосовувати на нових і старих заводах.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Для технології (e) можна знизити споживання енергії та повністю усунути вплив на навколишнє середовище. Внаслідок ефективного потоку матеріалів має місце зростання продуктивності.

Приклади установок

Технологія (d): компанія Sandvik Materials Technology, м. Сандвікен, Швеція; технологія (e): компанія Outokumpu Stainless Tornio Works, м. Торніо, Фінляндія.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006] [245, Кун та ін., 2004]

8.3.11 Безперервне лиття смуги із формою, близькою до заданої

Технологія безперервного лиття смуги із формою, близькою до заданої, щодо виплавки сталі в електродугових печах подібна до тієї, що описана в п. 7.3.11 для киснево-конвертерного виробництва сталі.

8.3.12 Технології для запобігання шумових викидів

Опис

Деякі конструктивні та експлуатаційні способи, що застосовуються для запобігання шумового забруднення, включають:

- обмеження діяльності, пов'язаної із шумом, у нічний час (наприклад, склад металобрухту, транспортування брухту);
- інформаційну підтримку для заходів зі зниження рівня шуму і навчання кранівників;
- безперервний моніторинг рівня шуму на складі металобрухту;
- будівництво споруди з EAF так, щоб відбувалося поглинання шуму від механічних ударів під час роботи печі;
- виготовлення кранів, призначених для транспортування завантажувальних кошиків, із запобіганням механічним ударам;
- створення спеціальної акустичної ізоляції внутрішніх стін і даху для запобігання повітряного шуму в будівлі з EAF;
- поділ печі та зовнішніх стін для зниження структурного шуму від будівлі EAF;
- будівництво фізичних бар'єрів;
- зниження висоти вільного падіння брухту для зниження шуму та викидів пилу при завантаженні брухту;
- закриття складів із брухтом;
- безперервну подачу брухту і плавлення.

Заходи щодо зниження шуму від системи знепилювання

Нові системи знепилювання повинні відповідати високим вимогам зі зниження рівня шуму. Приклади включають таке:

- установку вентиляторів із шумовою ізоляцією;
- додаткову фіксацію вентиляторів у камерах за допомогою залізобетону;
- установку шумопоглинаючих елементів типу сандвіч для нових рукавних фільтрів;
- заміну профільного настилу на наявних рукавних фільтрах елементами типу «сандвіч»;
- визначення максимального рівня шуму для індивідуальних установок;
- заходи щодо зниження рівня шуму для наявних пилових фільтрів.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

За допомогою описаних заходів можна досягти значень від 37 до 50 дБ (А) $L_{eq(1h)}$ (еквівалентний рівень шуму). Вимірювання на відстані 150 м від будівлі з EAF були нижче 34 дБ (А) $L_{eq(1h)}$.

За умов використання систем безперервної подачі брухту і плавлення, таких як CONSTEEL, можна знизити рівень шуму.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Деякі приклади параметрів ізоляції, що використовується в будівлях з EAF, це матеріали з R'_w 56 дБ для стін і 55 дБ для дахів (значення відповідно до DIN 55210 Частина 3) (Німецький промисловий стандарт для шуму).

Можливість застосування

Ці технології можна застосовувати для всіх печей EAF.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Стимулом для впровадження є запобігання шумовим викидам по сусідству із заводом. Цехи, розташовані поблизу зон житлової забудови, повинні застосовувати заходи для запобігання шуму.

Приклади установок

Компанія Arbed, м. Бельваль, Люксембург. Компанія Feralpi, м. Різа, Німеччина.

Довідкова література

[83, Ерліх, К. та ін., 2007] [260, Німеччина, 2007] [280, Агуадо-Монсоне, 2007] [355, Плікерт, 2007] [364, Фухс, Г., 2008] [366, Дорнзайффер та ін., 2007]

9 ВИСНОВКИ ЩОДО НДТМ (ВАТ) ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУНУ ТА СТАЛІ

СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Цей довідковий документ по застосуванню найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва чавуну та сталі охоплює теми, наведені в Додатку I до Директиви 2010/75/EU, а саме:

- економічна діяльність 1.3: виробництво коксу;
- економічна діяльність 2.1: випалювання або агломерація металевих руд (у тому числі сульфідної руди);
- економічна діяльність 2.2: виробництво чавуну або сталі (первинне або переплав), у тому числі безперервний розлив, продуктивністю понад 2,5 тонни на годину.

Зокрема, цей довідковий документ охоплює такі процеси:

- завантаження, розвантаження та переміщення великотонажної сировини;
- складання сумішей і змішування сировини;
- спікання і окомкування залізної руди;
- виробництво коксу з коксівного вугілля;
- виробництво гарячого металу в доменних печах, включаючи переробку шлаку;
- виробництво і рафінування сталі з використанням конвертерного процесу, включаючи попередню десульфуріацію в ковші, подальшу ковшову металургію та переробку шлаку;
- виробництво сталі в електродугових печах, включаючи подальшу ковшову металургію та переробку шлаку;
- безперервне лиття тонких слябів, тонкої стрічки та листа (близького за формою).

У цьому довіднику BREF не розглядалися такі види економічної діяльності:

- виробництво вапна у випалювальних печах, яке входить до BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію (CLM);
- переробка пилу для повторного використання кольорових металів (наприклад, пил електродугових печей) і виробництво феросплавів, які входять до BREF для підприємств кольорової металургії (NFM);
- експлуатація установок для видалення сірчаної кислоти в коксових печах, яка розглядається в BREF для великотоннажного виробництва неорганічних хімічних сполук – аміаку, кислот і добрив (LVIC-AAF).

Нижче наведені інші довідкові документи BREF, що мають важливе значення для суміжних видів економічної діяльності, зокрема:

Довідкові документи	Діяльність
BREF для великих спалювальних установок (LCP)	Установки для спалювання з номінальною тепловою потужністю 50 і більше МВт
BREF для підприємств кольорової металургії (FMP)	Технологічні процеси типу прокатки, травлення, нанесення покриттів тощо Безперервне лиття на тонкий сляб / тонку стрічку і безперервне лиття листа (близького за формою)
BREF для викидів від зберігання та обігу (EFS)	Зберігання та поводження з матеріалами
BREF для систем промислового охолодження (ICS)	Системи охолодження
Загальні принципи моніторингу (MON)	Моніторинг викидів і споживання
BREF для енергоефективності (ENF)	Загальні питання енергоефективності
Економіка та міжсередовищні наслідки (ECM)	Економіка та міжсередовищні наслідки технологій

Технології, перераховані та описані в цих висновках щодо НДТМ, не є ані директивними, ані вичерпними. Можуть використовуватися також інші технології, які забезпечують, принаймні, еквівалентний рівень захисту навколишнього середовища.

ЗАГАЛЬНІ МІРКУВАННЯ

Рівні екологічних характеристик, пов'язаних із НДТМ, виражаються як діапазони, а не як окремі значення. Діапазон може відображати відмінності в цьому типі установок (наприклад, відмінності в сорті/чистоті та якості кінцевого продукту, відмінності в конструкції, виконанні, розмірі та продуктивності установки), які призводять до відмінностей в екологічних характеристиках, що досягаються при застосуванні НДТМ.

ВИРАЖЕННЯ РІВНІВ ВИКИДІВ, ЩО СТОСУЮТЬСЯ НАЙКРАЩИХ ДОСТУПНИХ ТЕХНОЛОГІЙ (BAT-AELs)

У цих висновках по НДТМ (BAT-AELs) для викидів у повітря значення виражаються одним із таких способів:

- маса речовини, що викидається, на обсяг відхідних газів за нормальних умов (273,15 К, 101,3 кПа), після вирахування вмісту водяної пари, що виражається в таких одиницях як г/нм³, мг/нм³, мкг/нм³ або нг/нм³ або
- маса речовини, що викидається, на одиницю маси продуктів, що виробляються або переробляються (коефіцієнт споживання або коефіцієнт викидів), що виражається в таких одиницях як кг/т, г/т, мг/т або мкг/т, тоді як НДТМ (BAT-AELs) для скидів у водні об'єкти виражається як:
- маса речовин, що скидаються, на обсяг стічних вод, що виражається в таких одиницях як г/л, мг/л або мкг/л.

ВИЗНАЧЕННЯ

В контексті цих висновків щодо НДТМ:

- «Нова установка» означає установку, впроваджену на підприємстві після публікації цих висновків щодо НДТМ або повну заміну установки на наявному фундаменті підприємства після публікації цих висновків щодо НДТМ;
- «Наявна установка» означає установку, яка не є новою установкою;
- «NO_x» означає: суму оксиду азоту (NO) та діоксиду азоту (NO₂), виражену як NO₂
- «SO_x» означає: суму діоксиду сірки (SO₂) та триоксиду сірки (SO₃), виражену як SO₂
- «HCl» означає: всі газоподібні хлориди, виражені як HCl;
- «HF» означає: всі газоподібні фториди, виражені як HF.

•

9.1 Загальні висновки щодо НДТМ

Якщо не сформульовано інше, усі висновки щодо НДТМ, представлені в цьому розділі, мають загальне застосування.

Спеціалізовані НДТМ, включені в пункти 9.2 – 9.7, застосовуються як доповнення до загальних НДТМ, згаданих у цьому розділі.

9.1.1 Системи управління охороною навколишнього середовища

1. НДТМ для впровадження і дотримання вимог системи екологічного менеджменту (EMS), яка включає такі елементи:

- I. зобов'язання з управління, включаючи зобов'язання вищого керівництва;
- II. визначення природоохоронної політики, яка включає безперервне вдосконалення виробничої установки за допомогою управління;
- III. планування та встановлення необхідних процедур, цілей і показників, в поєднанні із фінансовим плануванням та інвестиціями;
- IV. виконання процедур, що вимагають особливої уваги:
 - i. структура відповідальності;
 - ii. навчання, інформованість і компетенції;
 - iii. надання інформації;
 - iv. участь співробітників;
 - v. ведення документації;
 - vi. ефективний контроль процесу;
 - vii. програми обслуговування;
 - viii. готовність до аварійних ситуацій та реагування;
 - ix. забезпечення відповідності природоохоронному законодавству;
- V. контроль роботи і прийняття коригувальних дій, приділяючи особливу увагу таким аспектам:
 - i. моніторинг і вимірювання (див. також Довідковий документ щодо загальних принципів моніторингу)
 - ii. коригувальні та запобіжні дії;
 - iii. ведення обліку;
 - iv. незалежний (коли це практично можливо) внутрішній і зовнішній аудит, для того щоб визначити, чи буде EMS відповідати запланованим заходам, і чи буде вона належно реалізовуватися й обслуговуватися;
- VI. перевірка EMS та її безперервної придатності, адекватності та ефективності вищого керівництва;
- VII. подальше розроблення чистих технологій;
- VIII. міркування щодо впливів на навколишнє середовище після завершення експлуатації виробничої установки, на стадії планування нового підприємства та його строку експлуатації;
- IX. застосування порівняльного аналізу на регулярній основі.

Можливість застосування

Область дії (наприклад, рівень подробиць) і характер EMS (наприклад, стандартизована або не стандартизована) повинні стосуватися природи, масштабу та складності виробничої установки, і це повинно бути пов'язане із впливом на навколишнє середовище.

9.1.2 Регулювання споживання енергії

2. НДТМ для зниження споживання теплової енергії за допомогою використання поєднання таких технологій:

I. удосконалення та оптимізація систем для досягнення безперешкодної та стабільної роботи, якомога ближче до заданого технологічного режиму, за допомогою використання:

- i. оптимізації контролю технологічного режиму, включаючи системи автоматичного управління на базі ЕОМ
- ii. сучасних вагових систем подачі твердого палива
- iii. попереднього нагрівання, наскільки це можливо, враховуючи існуючу конфігурацію процесу.

II. утилізації надлишкового тепла технологічних процесів, передусім із зон охолодження

III. оптимізованого управління парою та тепловою енергією

IV. застосування інтегрованого до технологічного процесу максимально можливого повторного використання фізичного тепла.

У контексті управління енергією, див. BREF для енергоефективності (ENE).

Опис НДТМ I.i.

Для металургійних заводів із повним циклом, з погляду підвищення загальної енергоефективності важливими є такі позиції:

- оптимізація споживання енергії
- моніторинг найважливіших потоків енергії та процесів спалювання на підприємстві в режимі реального часу, включаючи моніторинг всіх видів спалювання газів на свічці для запобігання втрат енергії, що дасть можливість невідкладного обслуговування і проведення технологічного процесу без порушень
- інструменти звітності та аналізу для перевірки середнього споживання енергії у кожному процесі
- визначення рівнів питомого споживання енергії для важливих процесів і порівняння їх на довготривалій основі
- проведення енергетичного аудиту як визначено в BREF для енергоефективності, наприклад для ідентифікації економічних можливостей для економії енергії.

Опис НДТМ II – IV

Інтегровані до технологічного процесу технології для підвищення енергоефективності у виробництві чавуну і сталі за допомогою підвищення утилізації тепла включають:

- комбіноване виробництво теплової та електричної енергії з утилізацією тепла відхідних газів за допомогою теплообмінників і розподілу або в інші цехи металургійного підприємства, або в систему районного теплопостачання
- встановлення парових котлів або адекватних систем після великих нагрівальних систем (печі можуть покривати частину потреб в парі)
- підігрів повітря для спалювання в печах та інших системах спалювання для економії палива, з урахуванням негативних впливів, тобто зростанням вмісту оксидів азоту в газах
- ізоляцію паропроводів і труб гарячого водопостачання
- рекуперацію тепла з продуктів, наприклад, агломерату
- використання теплових насосів і сонячних панелей під час охолодження сталі

- використання котлів-утилізаторів за печами з високою температурою
- випаровування кисню і охолодження компресора для обміну енергією з використанням стандартних теплообмінників
- використання утилізаційних безкомпресорних турбін для перетворення кінетичної енергії колошникового газу доменної печі в електричну енергію.

Можливість застосування НДТМ II – IV

Комбіноване виробництво теплової та електричної енергії можна застосовувати для всіх металургійних заводів, що знаходяться поблизу міських територій з відповідною тепловою потребою. Питоме споживання енергії залежить від масштабу виробництва, виду товарної продукції, типу виробничої установки і технологічних параметрів процесу (вакуумна обробка в кисневому конверторі, температура випалу, розміри та вага заготовок і виробів тощо).

3. НДТМ для зниження споживання первинної енергії за допомогою оптимізації потоків енергії та оптимізованого використання технологічних газів, що відводяться, таких як коксовий, доменний і конвертерний газ.

Опис

Технології, інтегровані до процесу, для підвищення енергоефективності на металургійних заводах із повним циклом, за допомогою оптимізації технологічного процесу включають:

- використання газгольдерів для всіх побічних газів або інших адекватних систем короткочасного зберігання і зберігання під тиском;
- підвищення тиску в газорозподільній мережі, якщо є втрати енергії при спалюванні на свічках, з метою використання великих обсягів технологічних газів, результатом чого буде зростання рівня утилізації;
- збагачення газу технологічними газами з отриманням різної теплотворної здатності для різних споживачів
- опалення печей для спікання технологічним газом;
- використання системи з комп'ютерним управлінням для регулювання теплотворної здатності;
- реєстрацію витрати коксу і температури відхідних газів;
- адекватний розподіл потужностей установок для утилізації енергії технологічних газів.

Можливість застосування

Питоме споживання енергії залежить від масштабу виробництва, виду товарної продукції, типу виробничої установки і технологічних параметрів процесу (вакуумна обробка в кисневому конверторі, температура випалу, розміри та вага заготовок і виробів тощо).

-
4. **НДТМ для використання надлишкового коксового газу, підданого десульфурації та очищенню від пилу, і очищених від пилу доменного та конвертерного газу (змішаного або окремого) в котлах або в установках для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії, для виробництва пари, електроенергії та/або теплової енергії з використанням надлишкового тепла відхідних газів для внутрішніх або зовнішніх теплових мереж, якщо є потреба в теплі третьої сторони.**

Можливість застосування

Співпраця та домовленість із третьою стороною може не перебувати під контролем оператора, і тому не може перебувати в області дії дозволу.

5. **НДТМ для мінімізації споживання електроенергії за допомогою використання однієї або декількох із таких технологій:**

I. системи управління енергоспоживанням

II. устаткування для подрібнення, перекачування, вентиляції та переміщення, а також інше обладнання з електроживленням із високою енергоефективністю.

Можливість застосування

Насоси із частотним регулюванням не можуть використовуватися, коли надійність насосів є найважливішим елементом для безпеки процесу.

9.1.3 Управління матеріалами

6. **НДТМ для оптимізації керування і контролю внутрішнього потоку матеріалів для запобігання забруднення, пошкоджень, забезпечення адекватної якості сировини, що надходить, можливості повторного використання і рециклінгу та підвищення ефективності процесу й оптимізації виходу придатного металу.**

Опис

Відповідне зберігання і переміщення матеріалів і залишків виробництва може допомогти у мінімізації викидів повітряного пилу від шихтового двору і конвеєрної стрічки, включаючи пункти перевалки, і в запобіганні забруднення ґрунту, ґрунтових вод і зливостоків (див. НДТМ 11).

Застосування адекватного керування на металургійному заводі із повним циклом і керування залишками, включаючи відходи, від інших установок і секторів, допомагає домогтися максимального внутрішнього та/або зовнішнього їх використання як сировинних матеріалів (див. НДТМ 8, 9 і 10).

Керування матеріалами включає контрольоване розміщення невеликої частини загальної кількості залишків від металургійних заводів із повним циклом, які не мають економічного використання.

7. Для досягнення низьких рівнів викидів для важливих забруднюючих речовин НДТМ полягають у виборі відповідної якості скрапу та інших сировинних матеріалів. Щодо брухту, то НДТМ складаються у відповідному контролі видимого забруднення, яке може включати важкі метали, зокрема ртуті або призвести до утворення поліхлорованих дібензодіоксинів/фуранів (PCDD/F) і поліхлорованих біфенілів (PCB).

Для підвищення використання брухту можна застосовувати такі технології індивідуально або у поєднанні:

- технічні умови для критеріїв відповідності, які придатні для виробничої спеціалізації під час замовлення на закупівлі брухту
- наявність належних знань щодо складу брухту за допомогою ретельного контролю походження брухту; у виняткових випадках пробна плавка може допомогти у визначенні характеристик складу брухту
- наявність адекватних приймальних потужностей і перевірки поставок
- наявність процедур для виключення брухту, який не підходить для використання в установці
- зберігання брухту відповідно до різних критеріїв (наприклад, розмір, легуючі елементи, ступінь чистоти); зберігання брухту з потенційними викидами забруднюючих речовин у ґрунт на непроникній поверхні із системою дренажу та збору; застосування покриття, яке може знизити необхідність в такій системі;
- розміщення разом партій брухту для різних плавок з урахуванням інформації про склад, для того щоб використовувати найбільш придатний брухт для сорту сталі, яка буде виплавлятися (це важливо в деяких випадках для запобігання появи небажаних елементів, а в інших випадках завдяки цьому можна скористатися перевагами легуючих елементів, які знаходяться у брухті та необхідних для виплавлення сталі необхідного сорту);
- негайне повернення всього брухту, що утворюється усередині підприємства, на склад для рециклінгу;
- наявність оперативного плану управління;
- сортування брухту для мінімізації ризику потрапляння небезпечних або неметалевих забруднюючих речовин, особливо поліхлорованих біфенілів (PCB), масел і жирів. Це зазвичай робить постачальник брухту, але оператор повинен перевіряти всі партії брухту. Тому, наскільки це досяжно, матеріал слід перевіряти на предмет забруднюючих речовин. Може знадобитися оцінка невеликих кількостей пластмас (наприклад, у компонентах із пластиковим покриттям)
- контроль радіоактивності відповідно до рамкових рекомендацій Економічної комісії ООН для Європи (UNECE)
- здійснення обов'язкового видалення компонентів, у яких міститься ртуть від транспортних засобів і відходів електротехнічного та електронного обладнання (WEEE), яке вийшло з експлуатації, може бути покращено переробником брухту за допомогою:
 - констатації відсутності ртуті у контрактах на покупку брухту
 - відмови від брухту, в якому містяться видимі компоненти та вузли електронного обладнання.

Можливість застосування

Вибір і сортування брухту не можуть повністю перебувати під контролем оператора.

9.1.4 Управління побічними продуктами і відходами виробництва

8. **НДТМ для твердих відходів стосуються використання комплексних та оперативних технологій для мінімізації відходів за допомогою внутрішнього використання або за допомогою застосування спеціалізованих процесів рециклінгу (всередині підприємства або поза ним).**

Опис

Технології для рециклінгу залишків із високим вмістом заліза включають спеціалізовані технології рециклінгу, такі як шахтну піч OxuCarp®, процес ДК, відновлювальну плавку або холодне гранулювання/брикетування з використанням зв'язуючого, а також технології для переробки залишків, згадані у розділах 9.2 – 9.7.

Можливість застосування

Оскільки згадані процеси можуть проводитися третьою стороною, сам рециклінг не може проходити під контролем оператора металургійного заводу, і тому не може перебувати в області дії дозволу.

9. **НДТМ для максимального зовнішнього використання або рециклінгу твердих залишків, які не можуть використовуватися або піддаватися рециклінгу відповідно до НДТМ 8, завжди, коли це можливо і з узгодженням із регламентами щодо поводження з відходами. НДТМ для контрольованого управління залишками, яких не можна уникнути і які не піддаються рециклінгу.**
10. **НДТМ для використання найкращої практики експлуатації та обслуговування щодо збору, поводження і транспортування всіх твердих залишків, і для покриття пунктів перевалки з метою запобігання викидів у повітря і скидів у воду.**

9.1.5 Розсіяні викиди пилу від зберігання, обігу і транспортування сировини та проміжних продуктів

11. **НДТМ для запобігання або зниження розсіяних викидів пилу від зберігання, обігу та транспортування за допомогою використання однієї або поєднання технологій, згаданих нижче.**

Якщо використовуються технології очищення, НДТМ для оптимізації ефективності видалення і подальшого очищення за допомогою відповідних технологій, наведених нижче, то перевага віддається відведенню викидів пилу якомога ближче до джерела.

I. Звичайні технології включають:

- підготовки в рамках EMS металургійного заводу плану дій, пов'язаного з розсіяними викидами пилу;

- розгляд тимчасового припинення деяких операцій, коли вони ідентифіковані як джерело викидів PM_{10} , які дуже небезпечні для навколишнього середовища і здоров'я людини; для цього необхідно мати засоби для задовільного моніторингу PM_{10} , з урахуванням напрямку вітру, які дають змогу провести тригонометричну зйомку та ідентифікувати ключові джерела тонкодисперсного пилу.

II. Технології для запобігання викидів пилу протягом обробки і транспортування великогабаритних сировинних матеріалів включають:

- орієнтацію протяжних відвалів у напрямку переважного вітру
- установку вітрозахисних бар'єрів або використання природного рельєфу для забезпечення укриття
- контроль вмісту вологості матеріалів, що постачаються;
- зосередження особливої уваги на процедурах для запобігання небажаному поведженню з матеріалами і довгим відкритим спускам;
- адекватну герметизацію конвеєрів і бункерів тощо;
- використання розпилення води для зменшення пилу, з такими добавками як латекс (за необхідності);
- жорсткі стандарти обслуговування обладнання;
- високі стандарти підтримання порядку, зокрема очищення та режим гальмування на дорогах;
- використання мобільного та стаціонарного обладнання для вакуумного очищення;
- зменшення або видалення пилу і використання для очищення рукавних фільтрів для придушення значних джерел утворення пилу;
- застосування машин для прибирання вулиць зі зниженими викидами для проведення звичайного очищення доріг із твердим покриттям.

III. Технології для діяльності, пов'язаної з постачанням, зберіганням і утилізацією матеріалів, передбачають:

- загальне огороження розвантажувальних бункерів в будівлях, оснащених витяжкою повітря із фільтрами для пильних матеріалів, крім того бункери повинні бути оснащені пилозатримуючими перегородками і розвантажувальними решітками в поєднанні із системою видалення і очищення від пилу;
- обмеження висоти спусків, якщо можливо, максимум до 0,5 м;
- використання розпилення води (переважно із застосуванням рециркульованої води) для зменшення (придушення) пилу;
- за необхідності, оснащення проміжних бункерів фільтрувальними установками для контролю вмісту пилу;
- використання повністю закритих пристроїв для утилізації матеріалів із бункерів
- за необхідності, зберігання брухту в місцях із твердим покриттям для зниження ризику забруднення ґрунту (з використанням своєчасного постачання для мінімізації розміру складу а, отже, й викидів);
- мінімізацію порушень на рудних складах;
- обмеження висоти і контроль загальної форми рудних складів;
- використання зберігання всередині будівлі або всередині корпусу, а не на зовнішніх складах, якщо це можливо;
- створення захисту від вітру за допомогою природного рельєфу, земляних валів або висаджування високої трави і вічнозелених дерев у відкритій місцевості для вловлювання і поглинання пилу без заповідання довготривалої шкоди;
- гідропосів трави на відвалах шлаку та відвальних купах;
- озеленення ділянок на невикористаних територіях із верхнім шаром ґрунту і посадкою трави, чагарнику та іншої ґрунтової рослинності, яка повинна мінімізувати підняття пилу із землі із цих територій;
- зволоження поверхні з використанням міцних пилов'язуючих речовин;

- покриття поверхонь брезентом або покриття (наприклад, латексом) складів для мінімізації підняття пилу;
- використання майданчика з підпірними стінками для зменшення площі відкритої поверхні;
- за необхідності, заходи можуть включати використання непроникних поверхонь із бетоном і дренажем.

IV. За умов постачання палива і сировини морем, коли викиди пилу можуть бути значними, деякі технології передбачають:

- використання операторами суден автоматичного розвантаження або закритих розвантажувачів безперервної дії. В іншому випадку пил, що утворюється при роботі розвантажувача грейферного типу, має бути мінімізований за допомогою поєднання заходів щодо забезпечення адекватного вмісту вологи матеріалу, що постачається. Ці заходи включають:
- мінімізацію висоти падіння і використання розпилення води або водного туману у горловині розвантажувальної воронки
- запобігання використанню морської води під час розпилювання руд або флюсів, так як це призводить до засмічення електрофільтру агломераційної установки хлоридом натрію. Додаткове надходження хлору в сировинні матеріали може також призвести до підвищення викидів (наприклад, поліхлорованих дибензодіоксинів/фуранів (PCDD/F)) і буде заважати рециркуляції пилу від фільтрів
- зберігання порошкоподібного вугілля, вапна і карбїду кальцію в герметичних контейнерах. Їх пневмотранспортування або передача повинні здійснюватися в заварених мішках, також їх необхідно тримати сухими.

V. Методи розвантаження потягів та вантажівок включають:

- за необхідності, у разі викидів пилу, використання спеціалізованого розвантажувального обладнання, зазвичай герметичної конструкції.

VI. Для матеріалів, чутливих до віднесення вітром, які можуть стати причиною значних викидів пилу, деякі методи включають:

- використання перевантажувальних пунктів, вібраційних сит, дробарок, воронко тощо, які можуть бути повністю закриті. Викиди повинні відводитися на установку з рукавним фільтром;
- використання централізованих або місцевих систем вакуумного очищення замість змивання пролитих матеріалів, оскільки дія відбувається в тому самому середовищі та спрощується рециклінг пролитих матеріалів.

VII. Технології для поводження зі шлаком і його переробки передбачають:

- утримання відвалів гранульованого шлаку вологими, адже сухий шлак доменної печі та шлаки сталеплавильних агрегатів можуть стати причиною зростання утворення пилу;
- використання закритого обладнання для дроблення шлаку, оснащеного ефективними засобами видалення пилу та рукавними фільтрами.

VIII. Технології для поводження із брухтом передбачають:

- забезпечення умов для зберігання брухту на ділянці покритим і/або на бетонній підлозі для мінімізації підйому пилу, що викликається рухом транспортних засобів.

IX. Технології, що враховуються при транспортуванні матеріалів, передбачають:

- мінімізацію точок доступу від шосе загального користування;
- використання обладнання для очищення коліс для запобігання перенесення бруду і пилу на дороги загального користування;

- застосування твердих поверхонь для автомобільних доріг із використанням бетону або асфальту для мінімізації утворення пилових хмар під час транспортування матеріалів та очищення доріг;
- обмеження руху транспортних засобів для певних маршрутів за допомогою огорож, каналів або валів із повторно переробленого шлаку;
- зволоження заповнених маршрутів водними струменями, наприклад при операціях із поводження зі шлаком;
- забезпечення того, щоб транспортні засоби не були переповнені з метою запобігання будь-яким витокам;
- забезпечення того, щоб транспортні засоби були покриті чохлами для укріплення матеріалу, що перевозиться;
- мінімізацію кількості перевезень;
- використання закритих або накритих конвеєрів;
- використання трубчастих конвеєрів, коли це можливо, для мінімізації втрат матеріалу при розвантаженні його з однієї стрічки на іншу;
- технології належної практики для транспортування рідкого чавуну і маніпулювання ковшами;
- знепилювання пунктів перевалки конвеєрів.

9.1.6 Управління водокористуванням та водовідведенням

12. НДТМ для керування стічними водами призначені для запобігання, збору і розподілу стічних вод за типом, максимальним рівнем внутрішнього рециклінгу та використанням адекватного очищення для кожного кінцевого потоку. Сюди входять методи, під час яких використовуються, наприклад, перехоплювачі олії/масла, фільтрація або осадження. У цьому контексті можна використовувати такі технології, коли наявні згадані попередні умови:

- запобігання використанню питної води для технологічної лінії;
- зростання кількості та/або продуктивності систем циркуляції води при будівництві нових цехів або модернізації/переобладнанні наявних цехів;
- централізація розподілу вихідної прісної води;
- використання в установках каскадного типу доки окремі параметри не відповідатимуть встановленим законам нормам або технічним регламентам;
- використання води в інших цехах за умови подальшого використання без порушення одиничних параметрів;
- роздільне утримання очищених та не очищених стічних вод; за допомогою цього заходу є можливість скидання стічних вод різними способами і за розумною ціною
- використання дощової води завжди, коли це можливо.

Можливість застосування

Управління водою на металургійних заводах із повним циклом буде обмежуватися перш за все доступністю і якістю прісної води і місцевими законодавчими вимогами. На наявних заводах наявна конфігурація водяного контуру може обмежити доступність.

9.1.7 Моніторинг

13. НДТМ для вимірювання або оцінки всіх важливих параметрів необхідні для управління процесами з пультів керування за допомогою сучасних автоматизованих систем для безперервного коригування і для оптимізації процесу в реальному масштабі часу, для забезпечення стабільної та безперебійної роботи; тим самим, для підвищення енергоефективності та максимального виходу і поліпшення практики обслуговування.
14. НДТМ для вимірювання викидів із димової труби забруднюючих речовин із основних джерел викидів з усіх процесів, включених у розділи 1.2 – 1.7, коли наведені НДТМ (BAT-AELs) і на металургійних заводах наявні електростанції, що працюють на технологічних газах.

НДТМ для використання безперервних вимірювань, принаймні:

- первинних викидів пилу, оксидів азоту (NO_x) і діоксиду сірки (SO_2) від агломераційної стрічки
- викидів оксидів азоту (NO_x) і діоксиду сірки (SO_2) від лінії затвердіння на установках для отримання окатишів
- викидів пилу від ливарних дворів доменних печей
- вторинних викидів пилу від кисневих конвертерів
- викидів оксидів азоту (NO_x) від електростанції
- викидів пилу від великих електродугових печей.

Щодо інших викидів, НДТМ має розглянути можливість використання постійного моніторингу викидів залежно від масового потоку та характеристик викидів.

15. Для важливих джерел викидів, які не згадано у НДТМ 14, НДТМ для вимірювання викидів забруднюючих речовин від всіх процесів, включених у розділи 1.2 – 1.7 і від електростанцій, що працюють на газі на металургійних заводах, а також періодично і дискретно важливих технологічних компонентів/забруднюючих речовин. Сюди включається дискретний моніторинг технологічних газів, викидів із димових труб, поліхлорованих дибензодіоксинів/фуранів (PCDD/F) і моніторинг скидів стічних вод, але виключаючи розсіяні викиди (див. НДТМ 16).

Опис (стосується НДТМ 14 та 15)

Моніторинг технологічних газів дає інформацію про склад технологічних газів та про непрямі викиди від спалювання цих газів, таких як викиди пилу, важких металів і SO_x .

Викиди з димової труби можна вимірювати регулярно, періодично, дискретно для важливих джерел викидів протягом досить тривалого періоду часу, для отримання репрезентативних значень викидів.

Для моніторингу скидання стічних вод існує велика кількість стандартизованих процедур для відбору проб і аналізу води та стічних вод, включаючи:

- разову пробу, яка стосується одиночної проби, що відбирається безперервно протягом цього періоду,
- композитну пробу, яка стосується одиночної проби, що відбирається безперервно протягом цього періоду, або пробу, що складається з декількох проб, що відбираються або безперервно, або дискретно протягом цього періоду, і змішаних

- підготовлену разову пробу, яка повинна стосуватися складової проби принаймні з п'яти разових проб, відібраних протягом максимального періоду в дві години з інтервалами не менше ніж дві хвилини, і змішаних.

Моніторинг має проводитися відповідно до належних стандартів EN та ISO. Якщо стандартів EN та ISO немає, повинні використовуватися національні або інші міжнародні стандарти, які забезпечать отримання даних з еквівалентною науковою якістю.

16. НДТМ для визначення порядку величини розсіяних викидів від важливих джерел за допомогою методів, зазначених нижче. Коли є можливість, перевага надається методам безпосереднього вимірювання порівняно з непрямими методами або оцінками, що ґрунтуються на розрахунках із коефіцієнтами викидів:

- Методи безпосередніх вимірювань, коли викиди вимірюються біля самого джерела. У цьому випадку можна виміряти або визначити концентрації та масову витрату.
- Методи опосередкованих вимірювань, коли має місце визначення викидів на деякій відстані від джерела; безпосередні вимірювання концентрації та масової витрати неможливі
- Розрахунки з коефіцієнтами викидів.

Опис

Безпосередні (прямі) або квазібезперервні вимірювання

Безпосередні вимірювання проводяться в аеродинамічній трубці, з парасолями або іншими методами типу квазібезперервних вимірювань на зводу промислової установки. В цьому останньому випадку вимірюють швидкість вітру та площу отвору в контурі зводу і розраховують витрату газу. Поперечний зріз площі отвору в контурі зводу ділиться на сектори з однаковою площею поверхні (система профілів).

Непрямі вимірювання

Приклади непрямих вимірювань включають використання слідових газів, методи моделювання зворотного розсіювання (RDM) і метод масового балансу із застосуванням лазерного формування зображень (LIDAR).

Розрахунок викидів за допомогою коефіцієнтів викидів

Посібники з використання коефіцієнтів викидів для оцінки розсіяних викидів пилу від зберігання та повордження із великогабаритними матеріалами і для пилової суспензії над дорожнім полотном внаслідок руху транспорту:

- VDI 3790 Частина 3
- US EPA AP 42.

9.1.8 Виведення з експлуатації

17. НДТМ для запобігання забруднення від виведення з експлуатації за допомогою використання необхідних технологій, перерахованих нижче.

Конструктивні міркування щодо виведення з експлуатації установки:

I. З урахуванням впливів на навколишнє середовище від остаточного виведення з експлуатації установки на стадії конструювання нової установки, слід передбачити, щоб виведення з експлуатації було легше, чистіше і дешевше.

П. Виведення з експлуатації викликає екологічні ризики у зв'язку із забрудненням землі (і ґрунтових вод) і утворенням великих кількостей твердих відходів; превентивні технології є спеціалізованими, але загальні міркування можуть включати:

- i. Відсутність впливів на підземні конструкції
- ii. Використання прийомів для полегшення демонтажу
- iii. Вибір обробки поверхні, яка полегшує очищення від забруднень
- iv. Використання конфігурації обладнання, яка мінімізує кількість уловлених хімічних речовин і полегшує водовідведення або очищення
- v. Вибір гнучких, комплектних елементів, які дають можливість здійснювати поступове закриття
- vi. Використання матеріалів, які біологічно розкладаються і піддаються рециклінгу коли це можливо.

9.1.9 Шум

18. НДТМ для зниження шуму від основних джерел у процесах виробництва в чорній металургії з використанням однієї або більше з таких технологій в залежності і відповідно до місцевих умов:

- реалізація стратегії зниження рівня шуму
- огорожа гучних процесів/установок
- захист від вібрації процесів/установок
- внутрішнє і зовнішнє облицювання, виконане із шумопоглинального матеріалу
- шумозахисні будівлі для укриття від будь-яких гучних процесів, пов'язаних із обладнанням для перетворення матеріалів
- захисні стіни від шуму у будівлях, наприклад будівництво споруд або природних перешкод, таких як дерева і кущі, які ростуть між територією, що охороняється і діяльністю, що викликає шум
- вихідні шумоглушники на наявних димових трубах
- димові труби та вентилятори з ізоляцією, які розташовані у звуконепроникних будівлях
- зачинення дверей і вікон у закритій зоні.

9.2 Висновки щодо НДТМ для агломераційних установок

Якщо тільки не буде встановлено інше, висновки щодо НДТМ, представлені у цьому розділі, можна застосовувати для всіх агломераційних установок.

Викиди у повітря

19. НДТМ для складання сумішей/змішання з метою запобігання або зниження розсіяних викидів шляхом брикетування матеріалів із дрібними фракціями за допомогою коригування вмісту вологи (див. також НДТМ 11).
20. НДТМ для первинних викидів від агломераційних установок, які спрямовані на зниження викидів пилу від відхідних газів з агломераційної стрічки за допомогою використання сучасних електрофільтрів, коли неспроможні рукавні фільтри.

НДТМ для первинних викидів для наявних установок полягає у зменшенні викидів пилу з відпрацьованих газів агломераційної стрічки за допомогою вдосконалених електрофільтрів, коли рукавні фільтри не застосовуються.

Рівні викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу $<1 - 15 \text{ мг/нм}^3$ для рукавних фільтрів і $<40 \text{ мг/нм}^3$ для сучасних електрофільтрів (які повинні проектуватися й експлуатуватися для досягнення цих значень); і те, й інше визначено на основі середньодобових значень.

Рукавні фільтри

Опис

Рукавні фільтри, які використовуються на агломераційних установках, зазвичай застосовуються після наявних електрофільтрів або циклонів, але вони можуть також працювати як автономний пристрій.

Можливість застосування

Для наявних установок важливими можуть бути такі вимоги як місце для розміщення установки після електрофільтра. Особливу увагу слід приділяти строку служби і параметрам використання наявного електрофільтра.

Сучасний електрофільтр

Опис

Сучасні електрофільтри характеризуються одним або поєднанням таких властивостей:

- належний контроль технологічного процесу
- додаткові електричні поля
- узгоджена напруга електричного поля
- узгоджена вологомісткість
- поліпшення властивостей із домішками
- підвищена або регульована імпульсна напруга
- напруга швидкого реагування
- накладення імпульсу високої енергії
- рухомі електроди
- збільшення відстані між пластинчастими електродами або зміна інших властивостей, які підвищують ефективність очищення.

- 21. НДТМ для первинних викидів з агломераційних стрічок полягає у запобіганні або зменшенні викидів ртуті шляхом відбору сировини з низьким вмістом ртуті (див. НДТМ 7) або для обробки відпрацьованих газів у поєднанні з активованим вугіллям або активованим уведенням буровугільного коксу.**

Рівні викидів, пов'язаних із НДТМ, для ртуті $<0,03 - 0,05 \text{ мг/нм}^3$, як середнє за період відбору проби (дискретний вимір, разові проби принаймні раз на півгодини).

- 22. НДТМ для первинних викидів від агломераційних стрічок із метою зниження викидів оксидів сірки (SOx) за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:**

- І. зниження надходження сірки за допомогою використання коксового дріб'язку із низьким вмістом сірки
- II. зниження надходження сірки за допомогою мінімізації споживання коксового дріб'язку
- III. зниження надходження сірки за допомогою використання залізної руди з низьким вмістом сірки
- IV. вдування адекватних адсорбційних агентів у газохід відхідних газів після агломераційної стрічки перед знепилюванням на рукавному фільтрі (див. НДТМ 20)

V. мокра десульфурація або процес із регенеративним активованим вугіллям (RAC) (із частковим урахуванням попередніх умов для застосування).

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для оксидів сірки (SO_x) з використанням НДТМ I-IV, становить $<350 - 500 \text{ мг/нм}^3$, який виражається як діоксид сірки (SO_2), і визначається як середньодобове значення, менше значення стосується НДТМ IV.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для оксидів сірки (SO_x) з використанням НДТМ V, становить $<100 \text{ мг/нм}^3$, який виражається як діоксид сірки (SO_2), і визначається як середньодобове значення.

Опис процесу RAC, згаданого в НДТМ V

Технології десульфурації, що ґрунтуються на адсорбції SO_2 за допомогою активованого вугілля. Коли регенерується активоване вугілля, яке містить SO_2 , процес називається регенеративним за допомогою активованого вугілля (RAC). У цьому випадку можна використовувати дороге активоване вугілля, і сірчана кислота (H_2SO_4) виходить як побічний продукт. Шар регенерується або за допомогою води або термічно. У деяких випадках для «точного налаштування» після наявної установки десульфурації використовується активований вуглець на основі лігніту. У цьому випадку активоване вугілля, що містить SO_2 , зазвичай спалюється у контрольованих умовах.

Система RAC може бути розроблена як одностадійний або двостадійний процес.

В одностадійному процесі газу проходять через шар активованого вугілля, і забруднюючі речовини адсорбуються активованим вугіллям. Окрім того, видалення NO_x відбувається, коли аміак (NH_3) вдувається у потік газу перед шаром каталізатора.

У двостадійному процесі газу проходять через два шари активованого вугілля. Аміак може вдуватися перед шаром для зниження викидів NO_x .

Застосування технологій, згаданих у рамках НДТМ V

Мокра десульфурація: Вимоги до площі можуть мати серйозне значення, і вони можуть обмежити застосовність. Високі капітальні та експлуатаційні витрати і суттєві взаємодії між середовищами, такі як утворення шламу і заходи з його розміщення і додаткового очищення стічних вод, повинні враховуватися. Ця технологія не використовувалася в Європі під час написання, але вона може бути варіантом, коли стандарти якості навколишнього середовища навряд чи можуть бути виконані за допомогою застосування інших технологій.

RAC: Очищення від пилу повинно бути встановлене перед процесом RAC для зниження концентрації пилу на вході. Взагалі, планування установки і вимоги до місця є важливими факторами під час розгляду цієї технології, але особливо для ситуацій, коли є більше однієї агломераційної стрічки.

Високі інвестиційні та експлуатаційні витрати, зокрема, коли може використовуватися високоякісне, дороге активоване вугілля, і необхідна установка для виробництва сірчаної кислоти, що потрібно враховувати. Ця технологія не використовувалася в Європі під час написання цього довідкового документа, але вона може виявитися варіантом для цільового очищення від SO_x , NO_x , пилу і PCDD/F одночасно і за обставин, коли стандарти якості навколишнього середовища навряд чи будуть виконуватися за допомогою застосування інших технологій.

23. НДТМ для первинних викидів від агломераційних стрічок із метою зниження загальних викидів оксидів азоту (NO_x) за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

I. процес комплексних заходів, які можуть включати:

- i. рециркуляцію відхідних газів
- ii. інші первинні заходи, такі як використання антрациту або пальників із низькими викидами NO_x для запалювання аглошихти

II. технології наприкінці технологічного процесу, які можуть включати:

- i. процес регенеративного активованого вугілля (RAC)
- ii. селективне каталітичне відновлення (SCR).

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для оксидів азоту (NO_x) з використанням заходів, інтегрованих у процес, становить <500 мг/нм³, виражених як діоксид азоту (NO₂), що стосуються вмісту кисню 15 % і визначених як середньодобові значення.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для оксидів азоту (NO_x) з використанням процесу RAC становить <250 мг/нм³, а з використанням SCR – <120 мг/нм³, виражених як діоксид азоту (NO₂), що стосуються вмісту кисню 15 % і визначених як середньодобові значення.

Опис рециркуляції відхідних газів згідно з НДТМ I.i

При частковому рециклінгу відхідних газів деяка частина відхідних газів після агломераційної стрічки рециркулює, повертаючись у процес спікання. Частковий рециклінг відхідних газів від усієї стрічки був розроблений, перш за все, для зниження витрати відхідних газів, і, отже, масових викидів основних забруднюючих речовин. Окрім того, це може привести до зниження споживання енергії. Застосування рециркуляції відхідних газів вимагає особливих зусиль для забезпечення того, щоб не було негативного впливу на якість агломерату і продуктивність. Особливу увагу слід приділяти вмісту оксиду вуглецю (CO) у відхідних газах, що рециркулюють, для запобігання можливості отруєння робітників чадним газом. Були розроблені різні процеси, такі як:

- частковий рециклінг відхідних газів від усієї стрічки
- рециклінг відхідних газів від торця агломераційної стрічки у поєднанні з теплообміном
- рециклінг відхідних газів від частини торця агломераційної стрічки та використання відхідних газів від охолоджувача агломерату
- рециклінг частини відхідних газів для різних частин агломераційної стрічки.

Застосування НДТМ I.i.

Застосування технології залежить від конкретних умов. Повинні бути розглянуті супроводжувальні заходи для забезпечення того, щоб якість агломерату (механічна міцність у холодному стані) і продуктивність стрічки не піддавалися негативному впливу. Залежно від місцевих умов, вони можуть бути порівняно незначними і легко здійсненними, або, навпаки, вони можуть мати більш фундаментальну природу та бути важкими для виконання. У будь-якому випадку робочі умови на стрічці повинні перевірятися, коли ця технологія впроваджується.

На наявних заводах може не бути можливості для реалізації часткового рециклінгу відхідних газів внаслідок обмежень із місцем.

Важливі міркування щодо визначення застосовності цієї технології включають такі:

- початкова конфігурація стрічки (наприклад, подвійна або одинарна вакуумна камера, наявність місця для нового обладнання, і, за необхідності, подовження стрічки
- початкова конструкція наявного обладнання (наприклад, вентилятори, обладнання для очищення газу, просіювання агломерату та охолодження
- початкові умови експлуатації (наприклад, сировинні матеріали, висота шару, тиск усмоктування, відсоток негашеного вапна в суміші, питома витрата, відсоток повернення з установки, що повертається до шихти
- наявні показники з погляду продуктивності та споживання твердого палива
- показник основності агломерату та склад шихти в доменній печі (наприклад, відсоток агломерату порівняно з окатишами в шихті, вміст заліза в цих компонентах).

Застосування інших первинних заходів у рамках НДТМ I.ii

Використання антрациту залежить від наявності антрациту зі зниженим вмісту азоту порівняно з коксовим дріб'язком.

Опис і застосовність процесу RAC у рамках НДТМ II.i (див. НДТМ 22)

Застосування процесу SCR у рамках НДТМ II.ii

SCR можна застосовувати у системі з високим вмістом пилу, у системі з низьким вмістом пилу і як систему очищення газу. До теперішнього часу тільки системи очищення газу (після знепилювання і десульфурації) застосовувалися на агломераційних установках. Важливо, щоб у газі був низький вміст пилу (<40 мг пилу/нм³) і важких металів, оскільки вони можуть зробити поверхню каталізатора неефективною. Окрім того, може знадобитися десульфурація перед каталізатором. Ще однією попередньою умовою є мінімальна температура відхідних газів близько 300 °С. Для цього потрібно споживання енергії.

Високі капітальні та експлуатаційні витрати необхідні для регенерації. Споживання NH₃ і суспензії, накопичення вибухонебезпечного нітрату амонію (NH₄NO₃), утворення корозійного SO₃ і додаткове споживання енергії для нагріву, яке може знизити можливості утилізації фізичного тепла від процесу спікання, – все це може обмежити застосування. Ця технологія може бути варіантом, коли стандарти якості навколишнього середовища навряд чи можуть бути виконані за допомогою застосування інших технологій.

24. НДТМ для первинних викидів від агломераційних стрічок із метою запобігання та/або зниження викидів поліхлорованих дибензодіоксинів/фуранів (PCDD/F) і поліхлорованих біфенілів (PCB) за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

I. максимально можливе запобігання використанню сировинних матеріалів, які містять поліхлоровані дибензодіоксини/фурани (PCDD/F) і поліхлоровані біфеніли (PCB) або їх прекурсори (див. НДТМ 7)

II. придушення утворення поліхлорованих дибензодіоксинів/фуранів (PCDD/F) за допомогою додавання сполук азоту

III. рециркуляція відхідних газів (див. НДТМ 23 з описом і застосуванням).

25. НДТМ для первинних викидів від агломераційних стрічок з метою зниження викидів поліхлорованих дибензодіоксинів/фуранів (PCDD/F) і поліхлорованих біфенілів (PCB) за допомогою вдування адекватних адсорбційних агентів у газохід відхідних газів після агломераційної стрічки перед знепилюванням рукавним фільтром або сучасним електрофільтром, коли незастосовні рукавні фільтри (див. НДТМ 20).

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для поліхлорованих дибензодіоксинів/фуранів (PCDD/F), становить $<0,05 - 0,2$ нг I-TEQ/нм³ для рукавного фільтра і $<0,2 - 0,4$ нг I-TEQ/нм³ для сучасного електрофільтра, як визначено для 6 – 8 годинної разової проби для сталого режиму.

26. НДТМ для вторинних викидів від вивантаження з агломераційної стрічки, дроблення агломерату, охолодження, грохочення і позицій перевантаження конвеєра з метою запобігання викидів пилу та/або для досягнення ефективного відведення і відповідно зниження викидів за допомогою однієї або поєднання таких технологій:

- I. парасоль та/або кожух
- II. електрофільтр або рукавний фільтр

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу становить <10 мг/нм³ для рукавного фільтра і <30 мг/нм³ для електрофільтра, в обох випадках як середньодобове значення.

Вода і стічні води

27. НДТМ для мінімізації споживання води на агломераційних установках за допомогою максимально можливого рециклінгу охолоджуваної води, якщо тільки не будуть використовуватися прямоточні системи охолодження.

28. НДТМ для очищення стічної води від агломераційних установок, коли використовується промивна вода або коли застосовується мокра система очищення відхідних газів перед скиданням, з використанням поєднання таких технологій:

- I. осадження важких металів
- II. нейтралізація
- III. фільтрація через піщаний фільтр.

Рівень скидів, пов'язаних із НДТМ, на основі кваліфікованої разової проби або 24-годинної усередненої проби, складе:

- зважені тверді речовини <30 мг/л
- хімічне споживання кисню (ХСК⁽¹⁾) <100 мг/л
- важкі метали $<0,1$ мг/л
(сума арсену (As), кадмію (Cd), хрому (Cr), міді (Cu), ртуті (Hg), нікелю (Ni), свинцю (Pb) та цинку (Zn)).

У деяких випадках замість ХСК вимірюється ЗОВ (загальний органічний вуглець) (для того щоб уникнути HgCl₂, що використовується в аналізі на ХСК). Кореляція між ХСК і ЗОВ повинна бути з'ясована для кожної конкретної агломераційної стрічки. Відношення ХСК/ЗОВ може змінюватися від 2 до 4.

Залишки виробництва

29. НДТМ для запобігання утворення відходів на агломераційній установці за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій (див. НДТМ 8):

- I. селективний рециклінг за місцем із поверненням залишків у процес спікання з виключенням важких металів, лужних металів або фракцій дрібного пилу, збагачених хлоридами (наприклад, у пилу від останнього поля електрофільтра)
- II. зовнішній рециклінг, коли ускладнений рециклінг за місцем.

НДТМ для контрольованого управління залишками від процесу спікання агломерату, яких не можна ані уникнути, ані піддати рециклінгу.

30. НДТМ для максимально можливого рециклінгу залишків, в яких можуть міститися масла, таких як пил, шлам і вальцівна циндра, в яких містяться залізо і вуглець з агломераційної стрічки, і від інших процесів на металургійному заводі з повним циклом, з поверненням на агломераційну стрічку, з урахуванням відповідного вмісту масла.

31. НДТМ для зниження вмісту вуглеводнів у шихті для агломерату за допомогою належного вибору і попередньої обробки залишків процесу.

У всіх випадках вміст масла у виробничих залишках рециклінгу має бути <0,5 %, а вміст у шихті <0,1 %.

Опис

Надходження вуглеводнів може бути мінімізовано, особливо за допомогою зниження нафтопродуктів у сировині, що поступає. Ці нафтопродукти надходять в агломераційну шихту переважно у вигляді домішок вальцівної циндри (прокатної окалини). Вміст нафтопродуктів у вальцівній циндрі (прокатній окалині) може значно варіюватися, залежно від її походження.

Методи мінімізації нафтопродуктів через пил і вальцівну циндру (прокатну окалину) включають такі:

- обмеження надходження нафтопродуктів за допомогою поділу та наступного відбору забрудненого пилу і вальцівної циндри з низьким вмістом нафтопродуктів.
- використання способів «раціонального ведення технологічного процесу» на прокатних станах, що може привести до суттєвого
- зниження вмісту нафтопродуктів у вальцівній циндрі за допомогою:
 - нагрівання вальцівної циндри приблизно до 800 °С, за якої нафтові вуглеводні повторно випаровуються, і залишається чиста вальцівна циндра; вуглеводні, що випарувалися, можна спалити.
 - відокремлення нафтопродуктів від вальцівної циндри із використанням розчинника.

32. НДТМ для зниження споживання теплової енергії на агломераційних установках за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. утилізація фізичного тепла відхідних газів від охолоджувача агломерату
- II. за можливості утилізація фізичного тепла відхідних газів від агломераційної колосникової решітки
- III. максимальний ступінь рециркуляції відхідних газів для використання фізичного тепла (див. НДТМ 23 з описом і застосовністю).

Опис

Два види вторинних енергоресурсів, що потенційно можна повторно використовувати, скидаються з агломераційних установок:

- фізичне тепло основних відхідних газів від агломераційних машин;
- фізичне тепло повітря, що відходить від охолоджувача агломерату.

Часткова рециркуляція відхідних газів є окремим випадком утилізації тепла відхідних газів від агломераційних машин, і цей випадок стосується НДТМ 23. Фізичне тепло передається безпосередньо шару агломерату за допомогою гарячих газів, що рециркулюють. Під час написання цього довідкового документа (2010 рік) це був єдиний практичний метод утилізації тепла відхідних газів.

Фізичне тепло гарячого повітря від охолоджувача агломерату може бути утилізовано за допомогою одного або більше таких способів:

- генерація пари в котлі-утилізаторі для використання на підприємствах металургійної промисловості;
- отримання гарячої води для районного тепlopостачання;
- попередній підігрів повітря для горіння в пальнику машини для спікання;
- попередній підігрів шихти для агломерату;
- використання газів охолоджувача агломерату в системі рециркуляції відхідних газів.

Можливість застосування

На деяких установках наявна конфігурація може зробити витрати на утилізацію тепла від відхідних газів процесу агломерації або відхідних газів охолоджувача агломерату дуже високими. Утилізація тепла відхідних газів за допомогою теплообмінника може призвести до неприємної конденсації і проблем корозії.

9.3 Висновки щодо НДТМ для установок для отримання окатишів

Якщо не сформульовано інше, усі висновки щодо НДТМ, представлені у цьому розділі, можна застосовувати для всіх установок для отримання окатишів.

Викиди у повітря

33. НДТМ для зниження викидів пилу в газах від:

- попередньої переробки, сушіння, подрібнення, зволоження, змішування і грудкування сировинних матеріалів;
- стрічки затвердіння; а також
- транспортування і просіювання окатишів

за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. електрофільтра
- II. рукавного фільтра
- III. мокрого скрубера

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу становить <20 мг/нм³ для дроблення, подрібнення і сушки і $<10 - 15$ мг/нм³ для всіх інших стадій процесу або у випадках, коли всі гази очищуються разом, і всі викиди визначаються як середньодобові значення.

34. НДТМ для зниження викидів оксидів сірки (SO_x), хлориду водню (HCl) і фториду водню (HF) від відхідних газів на стрічці затвердіння окатишів за допомогою використання однієї з таких технологій:

- I. мокрого скрубера
- II. напівсухої абсорбції із подальшою системою знепилювання.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, визначається як середньодобові значення для наведених нижче речовин:

- оксиди сірки (SO_x), що виражаються як діоксид сірки (SO₂) $<30 - 50$ мг/нм³
- хлорид водню (HF) $<1 - 3$ мг/нм³
- фторид водню (HCl) $<1 - 3$ мг/нм³.

35. НДТМ для зниження викидів NO_x у відхідних газах від секцій сушки та подрібнення і ділянки затвердіння за допомогою застосування технологій, інтегрованих у технологічний процес.

Опис

Під час проектування установки за допомогою простих рішень слід оптимізувати процес із метою досягнення низьких рівнів оксидів азоту (NO_x) з усіх секцій, де відбувається випал. Зниження утворення термічних NO_x можна досягти за допомогою зниження (пікової) температури у пальниках і зниження вмісту надлишкового кисню у повітрі для спалювання. Окрім того, менших викидів NO_x можна досягти за допомогою поєднання низького споживання енергії та низького вмісту азоту в паливі (вугіллі або рідкому паливі).

36. НДТМ для наявних установок із метою зниження викидів NO_x у газах від секцій сушки та подрібнення і ділянки затвердіння за допомогою застосування

таких технологій:

- I. селективного каталітичного відновлення (SCR) як технології наприкінці технологічного процесу
- II. будь-якої іншої технології з ефективністю зниження викидів оксидів азоту, принаймні, 80 %.

Можливість застосування

Для наявних установок, як із прямолінійним рухом решіток, так і з випалюванням в трубчастій печі, важко отримати робочі умови, необхідні для належної роботи реактора SCR. Внаслідок високих витрат ці технології наприкінці технологічного процесу повинні розглядатися тільки за тих обставин, коли стандарти якості навколишнього середовища в інший спосіб не будуть дотримуватися.

- 37. НДТМ для нових установок із метою зниження викидів NO_x у відхідних газах від секцій сушки та подрібнення і ділянки затвердіння за допомогою застосування селективного каталітичного відновлення (SCR) як технології наприкінці технологічного процесу.**

Вода і стічні води

- 38. НДТМ для установок для отримання окатишів із метою мінімізації споживання води і скидання скруберної, промивної та охолоджуваної води і якомога більшого її повторного використання.**

- 39. НДТМ для установок для отримання окатишів мають на меті очищення стічної води перед її скиданням із використанням таких технологій:**

- I. нейтралізації
- II. флокуляції
- III. осадження
- IV. фільтрації через піщаний фільтр
- V. осадження важких металів.

Рівні скидання, пов'язані з НДТМ, на основі кваліфікованої разової проби або 24-годинної усередненої проби, такі:

- зважені тверді речовини <50 мг/л
- хімічне споживання кисню (ХСК⁽¹⁾) <160 мг/л
- азоту за К'ельдалем <45 мг/л
- важкі метали <0,55 мг/л

(сума арсену (As), кадмію (Cd), хрому (Cr), міді (Cu), ртуті (Hg), нікелю (Ni), свинцю (Pb), цинку (Zn)).

У деяких випадках замість ХСК вимірюється ЗОВ (загальний органічний вуглець) (для того щоб уникнути HgCl₂, що використовується в аналізі на ХСК). Кореляція між ХСК і ЗОВ повинна бути з'ясована для кожної конкретної установки для отримання окатишів. Відношення ХСК/ЗОВ може змінюватися від 2 до 4.

Залишки виробництва

- 40. НДТМ для запобігання утворення відходів на установках для отримання окатишів за допомогою ефективного рециклінгу за місцем або повторного використання залишків (тобто таких, сирих і термооброблених окатишів, що проходять через сито).**

НДТМ для контрольованого керування залишками від технологічного процесу на установці для отримання окатишів, тобто шламів від очищення стічних вод, яких не можна уникнути або піддати рециклінгу.

Енергія

- 41. НДТМ для зниження/мінімізації споживання теплової енергії на установках для отримання окатишів за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:**

I. комплексний процес максимально можливої утилізації фізичного тепла від різних секцій установки для затвердіння

II. використання надлишкового тепла відхідних газів для внутрішніх або зовнішніх теплових мереж, якщо є попит від третьої сторони.

Опис

Гаряче повітря із секції первинного охолодження можна використовувати як вторинне повітря для спалювання у секції випалу. Зі свого боку, тепло від секції випалу можна використовувати у секції сушіння на ділянці затвердіння окатишів. Тепло від секції вторинного охолодження можна також використовувати у секції сушіння.

Надмірне тепло від секції охолодження можна використовувати у камерах сушіння і в установці подрібнення. Гаряче повітря транспортується через теплоізолюваний трубопровід, який називається «газоходом чи каналом рециркуляції гарячого повітря».

Можливість застосування

Утилізація фізичного тепла є частиною установок для отримання окатишів, інтегрованих до технологічного процесу. «Канал для рециркуляції гарячого повітря» можна застосовувати на наявних установках порівнянної конструкції та з достатнім постачанням фізичного тепла.

Співпраця та домовленість із третьою стороною може не перебувати під контролем оператора, і, тому, не може перебувати в області дії дозволу.

9.4 Висновки щодо НДТМ для коксогазових заводів

Якщо не сформульовано інше, усі висновки щодо НДТМ, представлені у цьому розділі, можна застосовувати для всіх коксогазових заводів.

Викиди у повітря

42. НДТМ для установок для помелу вугілля (підготовки вугілля включає дроблення, подрібнення, пилоприготування і просіювання) з метою запобігання або зниження викидів пилу за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. герметизація будівель та/або пристроїв (дробарка, вугільний млин, грохоти) та
- II. ефективне відведення і використання наступних систем пиловидалення.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу становить $<10 - 20 \text{ мг/нм}^3$, як середнє за період відбору проби (періодичні вимірювання, одиничні проби принаймні за півгодини).

43. НДТМ для зберігання і транспортування вугільного пилу з метою запобігання або зниження розсіяних викидів пилу за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. зберігання порошкоподібних матеріалів у бункерах і на складах
- II. використання закритих або герметичних конвеєрів
- III. мінімізація висоти падіння залежно від розмірів установки та її конструкції
- IV. зниження викидів від завантаження у видаткову вежу і завантажувальний візок
- V. використання ефективного відведення і подальшого пиловидалення.

Під час використання НДТМ **V рівень викидів, пов'язаних із НДТМ**, для пилу становить $<10 - 20 \text{ мг/нм}^3$, як середнє за період відбору проби (періодичні вимірювання, одиничні проби принаймні за півгодини).

44. НДТМ для завантаження коксової печі із системами завантаження із придушенням викидів.

Опис

З узагальненого погляду, «бездимне завантаження» або послідовне завантаження із подвійними підйомними трубами або з U-подібними трубами є типом, якому надається перевага, оскільки всі гази і пил очищуються як частина очищення коксового газу.

Якщо, проте, гази відводяться і очищуються поза коксовою піччю, завантаження з базовою системою очищення газів, що відводяться, є найбільш прийнятним методом. Очищення має складатися з ефективною системою відведення викидів із наступним спалюванням для зниження кількості органічних сполук і використанням рукавного фільтра для зниження викидів твердих частинок.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу в разі систем завантаження з базовою системою очищення газів, що відводяться, становить $<5 \text{ г/т коксового еквівалента до } 50 \text{ мг/нм}^3$, як середнє значення за період між відборами проби (періодичні вимірювання, поодинокі проби принаймні за півгодини).

Тривалість видимих викидів, пов'язаних із НДТМ, при завантаженні становить $<30 \text{ с}$ на завантаження як середньомісячне значення, із використанням методу моніторингу, описаного в НДТМ 46.

- 45. НДТМ для відведення максимально можливої кількості коксового газу протягом коксування.**
- 46. НДТМ для коксового заводу з метою зниження викидів по досягненню безперервного виробництва коксу за допомогою використання таких технологій:**

I. всебічне обслуговування камер коксування коксових печей, дверцят печей і рамних ущільнень, підйомних труб, завантажувальних вікон та іншого обладнання (наприклад, має виконуватися систематична програма спеціально навченим персоналом у визначенні несправностей та обслуговуванні)

II. запобігання сильних коливань температури

III. комплексне спостереження і моніторинг коксової печі

IV. очищення дверей, рамних ущільнень, завантажувальних вікон, кришок і підйомних труб після завантажувально-навантажувальних робіт, які застосовуються на нових, і, в деяких випадках, на наявних коксових заводах

V. регулювання потоку коксового газу

VI. регулювання адекватного тиску протягом коксування і застосування дверей з підпружиненим гнучким ущільненням або із клиноподібним засувом (у разі печей із висотою ≥ 5 м, які знаходяться в гарному робочому стані)

VII. використання затоплених підйомних труб для зниження видимих викидів від усього обладнання, яке забезпечує прохід від батареї коксових печей до загального газоходу, зігнутої S-подібної труби і стаціонарних U-подібних труб

VIII. закладення кришок завантажувальних вікон глинистою суспензією (або іншим прийнятним матеріалом) для зниження видимих викидів з усіх отворів

IX. забезпечення повного коксування (запобігання виходу неготового коксу) за допомогою застосування адекватних способів

X. встановлення більших камер коксових печей (застосовується до нових заводів або у деяких випадках до повної заміни коксових печей на старих фундаментах)

XI. за можливості використання системи регулювання зі змінним тиском для камер коксових печей протягом коксування (застосовується до нових цехів і може стати варіантом для наявних цехів; є можливість застосування такої системи в наявних цехах, що необхідно ретельно оцінити, з урахуванням конкретної ситуації у кожному коксовому цеху).

Відсоткова частка видимих викидів від усіх дверцят і вікон, пов'язана з НДТМ, становить $< 5 - 10$ %. Відсоткова частка видимих викидів для всіх типів джерел, пов'язана з НДТМ VII і НДТМ VIII, становить < 1 %.

Відсоткові значення, що стосуються частоти будь-яких витоків, порівняно із загальною кількістю дверцят, підйомних труб або кришок завантажувальних вікон, як середньомісячні значення із використанням методу моніторингу, описані нижче.

Для оцінки розсіяних викидів із коксових печей використовуються такі методи:

- метод EPA 203
- методологія DMT (Deutsche Montan Technologie GmbH)
- методологія, розроблена BCRA (Британська коксохімічна асоціація)
- методологія, що застосовується у Нідерландах і заснована на підрахунку видимих витоків від підйомних труб і завантажувальних вікон, і водночас виключає видимі викиди під час звичайної роботи (завантаження вугілля, видача коксу).

47. НДТМ для установки очищення газу з метою мінімізації розсіяних газоподібних викидів із використанням таких технологій:

- I. мінімізація кількості фланців за допомогою зварювання трубних з'єднань, коли це можливо
- II. використання відповідних ущільнень для фланців і клапанів
- III. використання герметичних насосів (наприклад, магнітних насосів)
- IV. запобігання викидів від запірних клапанів у баках-сховищах за допомогою:

- з'єднання випуску клапану із газопроводом коксового газу
- збору газів і подальшого спалювання.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватись як для нових, так і для наявних коксових цехів. У нових цехах можна легше домогтися газонепроникної конструкції, ніж у наявних цехах.

48. НДТМ для зниження вмісту сірки у коксовому газі із використанням однієї з таких технологій:

- I. десульфурація за допомогою абсорбційних систем
- II. мокра окислювальна десульфурація

Залишкові концентрації сульфиду водню (H_2S), пов'язані з НДТМ, визначаються як середньодобові значення, і складають $<300 - 1\ 000\ \text{мг/нм}^3$ у випадку використання НДТМ I (більші значення пов'язані з підвищеною температурою, а менші значення – з нижчою температурою навколишнього повітря) і $<10\ \text{мг/нм}^3$ у разі використання НДТМ II.

49. НДТМ для коксових печей із нижнім підведенням газу з метою зниження викидів за допомогою використання таких технологій:

- I. запобігання витоків між камерою печі та камерою нагріву за допомогою регулярної роботи коксової печі
- II. запобігання витоків між камерою печі та нагрівальною камерою (застосовується лише для наявних цехів)
- III. впровадження технологій із низькими викидами оксидів азоту під час будівництва нових коксових батарей, таких як етапне спалювання, і використання тоншої цегли і вогнетривів із кращою теплопровідністю (застосовується тільки на нових печах)
- IV. використання коксового газу, підданого десульфурації.

Рівні викидів, пов'язаних із НДТМ, визначаються як середньодобові значення із вмістом кисню 5 %, і стосуються:

- оксидів сірки (SO_x), що виражаються як діоксид сірки (SO_2) $<200 - 500\ \text{мг/нм}^3$ пилю $<1 - 20\ \text{мг/нм}^3$ ⁽¹⁾
- оксидів азоту (NO_x), виражених як діоксид азоту (NO_2) $<350 - 500\ \text{мг/нм}^3$ для нових або суттєво модернізованих установок (зі строком служби менше 10 років) і $500 - 650\ \text{мг/нм}^3$ для старих установок із коксовими батареями, які добре обслуговуються і впровадженими технологіями з низькими викидами оксидів азоту.

⁽¹⁾ Нижні значення діапазону були визначені на основі показників однієї конкретної установки, досягнуті в умовах експлуатації з використанням НДТМ.

50. НДТМ для видачі коксу з метою зниження викидів пилу за допомогою використання таких технологій:

- I. видача за допомогою інтегрованої дверезійомної машини, оснащеної парасолем
- II. використання базової системи відведення та очищення газу з рукавним фільтром або іншими системами очищення
- III. використання мобільного коксогасильного вагону.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу після видачі коксу складає $<10 \text{ мг/нм}^3$ у разі рукавних фільтрів і $<20 \text{ мг/нм}^3$ в інших випадках, визначений як середній протягом періоду між відборами проби (періодичні вимірювання, одиничні проби принаймні за півгодини).

Можливість застосування

На наявних заводах неолік місця може обмежити застосовність.

51. НДТМ для гасіння коксу з метою зниження викидів пилу за допомогою використання однієї з таких технологій:

- I. використання сухого гасіння коксу (CDQ) за допомогою рукавного фільтра з утилізацією фізичного тепла і видаленням пилу під час операції завантаження, транспортування і грохочення
- II. використання звичайного мокрого гасіння з мінімізацією викидів
- III. використання стабілізаційного гасіння коксу (CSQ).

Рівні викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу, визначені як середні протягом періоду між відборами проб, такі:

- $<20 \text{ мг/нм}^3$ у разі сухого гасіння коксу
- $<25 \text{ г/т}$ коксу у разі викидів, які мінімізуються за допомогою звичайного мокрого гасіння ⁽¹⁾
- $<10 \text{ г/т}$ коксу у разі стабілізаційного гасіння коксу ⁽²⁾.

(1)Цей рівень ґрунтується на використанні не ізокінетичного методу Морхауера (колишній метод VDI 2303)

(2)Цей рівень базується на використанні ізокінетичного методу відбору проб відповідно до VDI 2066.

Опис НДТМ I

Для безперервної роботи установок сухого гасіння коксу є два варіанти. В одному випадку установка сухого гасіння коксу містить від двох до чотирьох камер. Одна з них завжди знаходиться у резерві. Отже, немає необхідності у мокрому гасінні, але необхідна надлишкова потужність для сухого гасіння, що пов'язано із високими витратами. В іншому випадку необхідна додаткова система мокрого гасіння.

У випадку модифікації установки для мокрого гасіння в установку сухого гасіння, наявна система мокрого гасіння може залишатися для цієї мети. Така установка сухого гасіння коксу не повинна перевищувати потужності переробки для коксового цеху.

Можливість застосування НДТМ II

Наявні вежі гасіння коксу можуть бути оснащені екранами для зниження викидів. Необхідна мінімальна висота вежі принаймні у 30 м для забезпечення достатніх умов тяги.

Можливість застосування НДТМ III

Оскільки система більше ніж необхідно для звичайного гасіння, нестача місця може стати обмеженням.

52. НДТМ для регулювання гранулометричного складу коксу з метою запобігання або зниження викидів пилу із використанням таких технологій у поєднанні:

- I. використання закритої будівлі або пристрою
- II. ефективне відведення і подальше знепилювання.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу становить $<10 \text{ мг/нм}^3$, визначений як середнє значення протягом періоду між відбором проб (періодичні вимірювання, разові проби принаймні за півгодини).

Вода і стічні води

53. НДТМ для максимально можливої мінімізації та повторного використання води, що охолоджує.

54. НДТМ для запобігання повторного використання технологічної води зі значним органічним навантаженням (типу неочищених стічних вод від коксової печі, стічних вод із високим вмістом вуглеводнів тощо) як охолоджуваної води.

55. НДТМ для попереднього очищення стічних вод від процесу коксування і очищення коксового газу перед скиданням до установки для очищення стічних вод за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. ефективне видалення смоли і поліциклічних ароматичних вуглеводнів (РАН) за допомогою використання флокуляції та подальшої флотації, осадження та фільтрації індивідуально або у поєднанні
- II. ефективний відгін аміаку з використанням луку і пари.

56. НДТМ для попередньої обробки стічних вод від процесу коксування й очищення коксового газу з метою використання біологічного очищення стічних вод разом зі стадіями денітрифікації/нітрифікації.

Рівні викидів, пов'язаних із НДТМ, засновані на кваліфікованій разовій пробі або 24-годинній усередненій пробі та стосуються тільки поодиноких установок для очищення стічних вод коксового цеху, що охоплюють:

- хімічне споживання кисню ($\text{ХСК}^{(1)}$) $<220 \text{ мг/л}$
- біохімічне споживання кисню за 5 днів (БСК_5 або BOD_5) $<20 \text{ мг/л}$
- сульфідиди, що легко виділяються $^{(2)}$ $<0,1 \text{ мг/л}$
- тіоціанати (SCN^-) $<4 \text{ мг/л}$
- ціанідиди (CN^-), що легко виділяються $^{(3)}$ $<0,1 \text{ мг/л}$

- поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАН) <0,05 мг/л (сума флуорантена, бенз-б-флуорантена, бенз-к-флуорантена, бензопірену, індено (1,2,3-сd) пірену та бенз (g, h, i) перилену)
- феноли <0,5 мг/л
- +
 - суму амонійного азоту ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), нітратного азоту ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) і нітритного азоту ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) <15 – 50 мг/л

Щодо суми амонійного азоту($\text{NH}_4\text{-N}$), нітратного азоту ($\text{NO}_3\text{-N}$) і нітритного азоту ($\text{NO}_2\text{-N}$), то значення <35 мг/л зазвичай пов'язані із застосуванням новітніх установок для біологічного очищення стічних вод із попередньою нітрифікацією / нітрифікацією і подальшою нітрифікацією.

(1) У деяких випадках замість ХСК вимірюється ЗОВ (загальний органічний вуглець) (для того щоб уникнути HgCl_2 , що використовується в аналізі на ХСК). Кореляція між ХСК і ЗОВ повинна бути з'ясована для кожної конкретної коксової печі. Відношення ХСК/ЗОВ може змінюватися від 2 до 4.

(2) Цей рівень базується на використанні DIN 38045 D 27 або будь-якого іншого національного або міжнародного стандарту, який забезпечує отримання даних з еквівалентною науковою якістю.

(3) Цей рівень базується на використанні DIN 38045 D 13-2 або будь-якого іншого національного або міжнародного стандарту, який забезпечує отримання даних із еквівалентною науковою якістю.

Залишки виробництва

57. НДТМ для рециклінгу залишків виробництва, таких як смола від водо-вугільної суспензії, і надлишкового активного шламу від установки для очищення стічних вод, з поверненням до подачі вугілля на коксохімічному заводі.

Енергія

58. НДТМ для використання відведеного коксового газу як палива, або відновлюваного агента, або для виробництва хімікатів.

9.5 Висновки щодо НДТМ для доменних печей

Якщо не сформульовано інше, усі висновки щодо НДТМ, представлені у цьому розділі, можна застосовувати для всіх доменних печей.

Викиди у повітря

59. НДТМ для витісненого повітря під час завантаження шихтових бункерів, призначених для установок для вдування вугілля з метою уловлювання викидів пилу і проведення подальшого сухого знепилювання.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу становить <20 мг/нм³, визначений як середній протягом періоду між відбором проб (періодичні вимірювання, разові проби принаймні за півгодини).

60. НДТМ для підготовки шити (змішування, складання сумішей) та її

транспортування з метою мінімізації викидів пилу, і у відповідних випадках, відведення газів із наступним знепилюванням за допомогою електрофільтра або рукавного фільтра.

61. НДТМ для ливарного двору (льотки, випускні жолоби, ковші-чавуновози, скімерні пристрої) з метою запобігання або зниження викидів пилу за допомогою використання таких технологій:

- I. покриття випускних жолобів
- II. оптимізація ефективності очищення для розсіяних викидів пилу і диму з наступним очищенням відхідних газів за допомогою електрофільтра або рукавного фільтра
- III. придушення диму з використанням азоту під час випуску плавки, за необхідності, та коли не встановлені системи для відведення і знепилювання викидів під час випуску плавки.

За умови використання НДТМ II, рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу становить $<1 - 15 \text{ мг/нм}^3$ та був визначений як середньодобове значення.

62. НДТМ для використання футерування без смоли.

63. НДТМ для мінімізації викидів доменного газу протягом завантаження за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. безконусний завантажувальний пристрій з первинним і вторинним вирівнюванням тиску
- II. система утилізації газу або вентиляції
- III. використання доменного газу для підвищення тиску у верхніх бункерах системи завантаження.

Можливість застосування НДТМ II

Застосовується для нових доменних печей. Застосовується для наявних доменних печей тільки тоді, коли піч має безконусну систему завантаження. Не застосовується для печей, в яких інші гази ніж доменний газ (наприклад, азот) використовуються для підвищення тиску у верхніх бункерах доменної печі.

64. НДТМ для зниження викидів пилу від доменного газу за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. використання пристроїв для попереднього сухого знепилювання, таких як:
 - i. відбиваючі пристрої (дефлектори)
 - ii. пиловловлювачі
 - iii. циклони
 - iv. електрофільтри.
- II. подальше очищення від пилу, таке як:
 - i. промивні решітки
 - ii. скрубери Вентурі
 - iii. скрубери з кільцевим зазором
 - iv. мокрі електрофільтри
 - v. подрібнювачі.

Для очищеного доменного газу залишкова концентрація пилу, пов'язана з НДТМ, становить $<10 \text{ г/нм}^3$, визначена як середня протягом періоду між відбором проб (безперервні вимірювання, разові проби принаймні за півгодини).

65. НДТМ для повітрянагрівачів з метою зниження викидів за допомогою використання надлишкового коксового газу, підданого десульфурації та знепилюванню, знепилювання доменного газу, знепилювання конвертерного газу і природного газу, індивідуально або у поєднанні.

Рівні викидів, пов'язаних із НДТМ, визначені як середньодобові значення із вмістом кисню 3 %, становлять:

- оксиди сірки (SO_x), що виражаються як діоксид сірки (SO_2) $<200 \text{ мг/нм}^3$
- пил $<10 \text{ мг/нм}^3$
- оксиди азоту (NO_x), що виражаються як діоксид азоту (NO_2) $<100 \text{ мг/нм}^3$.

Вода і стічні води

66. НДТМ для споживання і скидання води від очищення доменного газу з метою максимально можливої мінімізації та повторного використання скруберної води, наприклад для гранулювання шлаку, якщо необхідно після очищення з використанням гравійного фільтра.

67. НДТМ для очищення стічних вод від очищення доменного газу з метою використання флокуляції (коагуляції) та осадження і зниження викидів ціанідів, у разі необхідності.

Рівні викидів, пов'язаних із НДТМ, на основі кваліфікованої разової проби або 24-годинної усередненої проби, становлять:

- зважені тверді речовини $<30 \text{ мг/л}$
- залізо $<5 \text{ мг/л}$
- свинець $<0,5 \text{ мг/л}$
- цинк $<2 \text{ мг/л}$
- ціаніди (CN-), що легко виділяються ⁽¹⁾ $<0,4 \text{ мг/л}$.

⁽¹⁾ Цей рівень ґрунтується на використанні DIN 38405 D 13-2 або будь-якого іншого національного або міжнародного стандарту, який забезпечує отримання даних з еквівалентною науковою якістю.

Залишки виробництва

68. НДТМ для запобігання утворення відходів у процесі доменного виробництва за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. належний збір і зберігання для полегшення конкретної переробки
- II. рециклінг за місцем утворення крупнодисперсного пилу від очищення доменного газу і пилу від знепилювання на ливарному дворі, з урахуванням впливу викидів від установки, на якій проводиться рециклінг
- III. обробка шламу за допомогою гідроциклону з подальшим рециклінгом за місцем грубої фракції (застосовується, коли використовується мокре знепилювання, і коли вміст цинку з розподілом часток за розміром зерен дає змогу провести економічний поділ)

IV.переробка шлаку, переважно за допомогою грануляції (коли ринкові умови роблять це можливим), для зовнішнього використання (наприклад, у цементній промисловості або для дорожнього будівництва).

НДТМ для контрольованого керування залишками технологічного процесу доменної плавки, яких не можна уникнути і піддати рециклінгу.

69. НДТМ для мінімізації викидів від переробки шлаку з метою конденсації диму, якщо потрібно придушення запахів.

Управління ресурсами

70. НДТМ для управління ресурсами для доменної печі з метою зниження споживання коксу за допомогою прямого вдування відновлювальних агентів, таких як пилоподібне вугілля, мазут, нафтопродукти, смола, залишки масел, коксовий газ, природний газ і відходи, такі як металеві залишки, відпрацьовані масла та емульсії, залишки масел, жирів і відходи пластмас, індивідуально або у поєднанні.

Можливість застосування

Вдування вугільного пилу: Метод може бути застосований на всіх доменних печах, оснащених системою вдування вугільного пилу і збагаченого кисню.

Вдування газу через доменні фурми: Вдування у фурми коксового газу значною мірою залежить від наявності цього газу, який можна ефективно використовувати в інших місцях на металургійному заводі з повним циклом.

Вдування відходів пластмас: Слід зазначити, що цей спосіб значною мірою залежить від місцевих умов і ринкової ситуації. У пластмасах можуть міститися хлор і важкі метали типу ртуті, кадмію, свинцю і цинку. Залежно від складу використаних відходів (наприклад, легка фракція після подрібнення) кількість Hg, Cr, Cu, Ni і Mo у доменному газі може зрости.

Пряме вдування відпрацьованих масел, жирів та емульсій як відновлювальних агентів і залишків твердого заліза: Безперервна робота цієї системи заснована на логістичній концепції постачання і зберігання залишків. Окрім того, особливе значення для успішної роботи має застосовувана технологія транспортування.

Енергія

71. НДТМ для підтримки безперебійної, безперервної роботи доменної печі у стійкому режимі з метою мінімізації викидів і зниження ймовірності осідання шихти.
72. НДТМ для використання відведеного доменного газу як палива.
73. НДТМ для утилізації підвищеного тиску колошникового газу, коли цей тиск досить високий і низька концентрація лужних металів.

Можливість застосування

Утилізація тиску колошникового газу може застосовуватися на нових печах і, за деяких обставин, на наявних печах, хоча і з великими труднощами і додатковими витратами. Фундаментальне значення для застосування цієї технології має адекватний надлишковий тиск колошникового газу (вище 1,5 бар).

На нових печах утилізаційна безкомпресорна турбіна і система для очищення доменного газу можуть бути адаптовані одна до одної для досягнення високої ефективності очищення газу та утилізації енергії.

74. НДТМ для підігріву паливних газів для повітрянагрівача або повітря для спалювання у повітрянагрівачі та для оптимізації процесу спалювання у повітрянагрівачі.

Опис

Для оптимізації енергоефективності повітрянагрівача можна застосовувати одну або поєднання таких технологій:

- використання автоматизованого режиму для керування роботою повітрянагрівача
- підігрів палива або повітря для спалювання у поєднанні з теплоізоляцією трубопроводу холодного дуття і газоходу відхідних газів
- використання більш придатних пальників для поліпшення спалювання
- швидкий вимір кисню і подальша адаптація умов спалювання.

Можливість застосування

Застосування підігріву палива залежить від ефективності повітрянагрівачів, оскільки вона визначає температуру відхідних газів (наприклад, за температури відхідних газів нижче 250 °С утилізація тепла не може бути технічно або економічно практичним здійсненням результатом).

Впровадження системи автоматичного керування може вимагати будівництва четвертого повітрянагрівача у випадку доменних печей з трьома повітрянагрівачами (якщо це можливо) для отримання максимальної вигоди.

9.6 Висновки щодо НДТМ для виробництва та лиття в кисневих конвертерах

Якщо не сформульовано інше, усі висновки щодо НДТМ, представлені у цьому розділі, можна застосовувати для всього процесу виплавки сталі в кисневих конвертерах та лиття (розливання).

75. НДТМ для утилізації конвертерного газу за допомогою неповного спалювання з метою відведення якомога більшої кількості конвертерного газу під час продувки та очищення за допомогою використання таких технологій, зокрема у поєднанні одна з одною:

- I. використання процесу неповного спалювання
- II. попереднє видалення грубого пилу за допомогою способів розділення (наприклад, відбивач, циклон) або мокрих сепараторів
- III. очищення від пилу за допомогою:
 - i. сухого пиловидалення (наприклад, електрофільтр) для нових та наявних конвертерів
 - ii. мокрого видалення пилу (наприклад, мокрий електрофільтр або скруббер) для наявних конвертерів.

Концентрації залишкового пилу, пов'язані з НДТМ, після накопичення конвертерного газу, такі:

- 10 – 30 мг/нм³ для НДТМ III.i
- <50 мг/нм³ для НДТМ III.ii.

76. НДТМ для утилізації конвертерного газу протягом кисневого продування в разі повного спалювання, з метою зниження викидів пилу за допомогою використання таких технологій:

- I. сухе видалення пилу (наприклад, електрофільтр або рукавний фільтр) для нових та наявних конвертерів
- II. мокре видалення пилу (наприклад, мокрий електрофільтр або скруббер) для наявних конвертерів.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу, визначені як середні за період між відборами проб (періодичні вимірювання, разові проби принаймні за півгодини), такі:

- 10 – 30 мг/нм³ для НДТМ I
- <50 мг/нм³ для НДТМ II.

77. НДТМ для мінімізації викидів пилу від отвору в кисневій фурмі за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. ущільнення отвору фурми (фурмене вікно кесону) протягом продування кисню
- II. вдування інертного газу або пари в отвір фурми (фурмене вікно кесону) для розсіювання пилу
- III. використання інших альтернативних ущільнювачів систем в поєднанні з пристроями для чищення фурми.

78. НДТМ для вторинного пиловидалення, включаючи викиди від таких процесів:

- переливання рідкого чавуну з ковша сигароподібної форми (або міксеру гарячого металу) в завантажувальний ківш
- попередня обробка рідкого чавуну (тобто попередня обробка посудин, десульфуратія, дефосфоризація, скачування шлаку, процеси транспортування рідкого чавуну і зважування)

- процеси, пов'язані з виробництвом сталі в кисневих конвертерах, на зразок підігріву (розігріву) конвертерів, виплесків та викидів протягом кисневого продування (кисневої продувки), завантаження розплавленого чавуну і брухту, випуск рідкої сталі та шлаку з кисневого конвертера
- позапічна обробка сталі та безперервне лиття.

НДТМ призначена для мінімізації викидів пилу за допомогою технологій, інтегрованих у процес, таких як звичайні технології для запобігання або контролю розсіяних або неорганізованих викидів, і за допомогою використання відповідних огорож і парасолів із ефективним відведенням і наступним очищенням відхідних газів за допомогою рукавного фільтра або електрофільтра.

Загальна середня ефективність видалення пилу, пов'язана з **НДТМ**, становить > 90 %.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу, як середньодобове значення для видалення пилу всіх відхідних газів становить <1 – 15 мг/нм³ в разі рукавного фільтра і <20 мг/нм³ в разі електрофільтра.

Якщо очищення викидів від попередньої обробки гарячого металу і позапічної обробки сталі проводиться окремо, **рівень викидів, пов'язаних із НДТМ**, для пилу, як середньодобове значення, складе <1 – 10 мг/нм³ для рукавних фільтрів і <20 мг/нм³ для електрофільтрів.

Опис

Основні технології для запобігання розсіяним та неорганізованим викидам від важливих вторинних джерел процесу виплавки сталі у кисневих конвертерах включають у себе:

- незалежні пристрої для вловлювання вторинних викидів для кожного допоміжного процесу в конвертерному цеху
- правильне керування установкою десульфурації для попередження викидів у повітря
- загальну герметизацію установки десульфурації
- закриття кришки, коли ківш для заливки чавуну не використовується, а також очищення ковшів для заливки чавуну і регулярне видалення настилів або ж застосування системи відведення під дахом
- збереження ковша для заливки чавуну перед конвертером протягом приблизно двох хвилин після заливки розплавленого чавуну в конвертер, якщо не застосовується система відведення під дахом
- автоматичне регулювання й оптимізацію процесу виплавки сталі в конвертері, наприклад так, щоб можна було запобігти або знизити проливання (наприклад, коли шлак спінюється так, що він виливається з конвертера)
- зниження проливань протягом випуску за допомогою обмеження елементів, які викликають проливання, і використання коштів для локалізації розливань
- закриття дверей у приміщенні з конвертером протягом кисневої продувки
- безперервне спостереження за допомогою відеокамери за дахом будівлі для визначення видимих викидів
- використання системи відведення газів під дахом.

Можливість застосування

Для наявних конвертерів конструктивні параметри цеху можуть обмежити можливості для належного видалення.

79. НДТМ для переробки шлаку на місці з метою зниження викидів шляхом використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. ефективне розділення методом дроблення, грохочення дробарки шлаку і грохотів із подальшим очищенням відхідних газів
- II. транспортування не переробленого шлаку одноковшевіми навантажувачами
- III. видалення або зволоження відходів із місць перевантаження конвеєра
- IV. зволоження відвалів шлаку під час зберігання
- V. використання водяного туману при розвантаженні дробленого шлаку.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу, в разі використання НДТМ I, становить $<10 - 20 \text{ мг/м}^3$, як середнє значення за період між відборами проб (періодичні вимірювання, одиничні проби принаймні за півгодини).

Вода і стічні води

80. НДТМ для запобігання або зниження споживання води і скидів стічних вод від первинного знепилювання конвертерного газу за допомогою використання однієї з таких технологій, як встановлено у НДТМ 75 і НДТМ 76:

- сухого знепилювання конвертерного газу;
- мінімізації скрубєрної води і максимально можливого повторного її використання (наприклад, для грануляції шлаку) в разі застосування мокрого знепилювання.

81. НДТМ для мінімізації скидання стічних вод від безперервного розливання за допомогою використання поєднання таких технологій:

- I. видалення твердих речовин за допомогою флокуляції, осадження та/або флотації
- II. видалення масел у баках-сепараторах або в будь-якому іншому ефективному пристрої
- III. максимально можлива рециркуляція охолоджувальної води та води від створення вакууму.

Для стічних вод **рівні викидів** від машини безперервного лиття, пов'язані із НДТМ, що ґрунтуються на кваліфікованій разовій пробі або 24-годинній усередненій пробі, становлять:

- зважені тверді речовини $<20 \text{ мг/л}$
- залізо $<5 \text{ мг/л}$
- цинк $<2 \text{ мг/л}$
- нікель $<0,5 \text{ мг/л}$
- загальний хром $<0,5 \text{ мг/л}$
- загальні вуглеводні $<5 \text{ мг/л}$.

Залишки виробництва**82. НДТМ для запобігання утворенню відходів за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій (див. НДТМ 8):**

- I. належний збір та зберігання для полегшення спеціалізованої переробки
- II. рециклінг за місцем утворення пилю від очищення конвертерного газу, пилю від вторинного знепилювання і вальцівної циндри (прокатної окалини) від безперервного лиття з поверненням до металургійних процесів з урахуванням впливу викидів від установки для рециклінгу
- III. рециклінг за місцем утворення конвертерного шлаку і шлакового дріб'язку для різних застосувань
- IV. переробка шлаку, коли ринкові умови дають можливість зовнішнього використання шлаку (наприклад, як наповнювач у матеріалах або для будівництва)
- V. використання пилю від фільтрів і шламу для зовнішньої утилізації заліза та кольорових металів, таких як цинк у кольоровій металургії
- VI. використання відстійника для шламу з подальшим рециклінгом грубої фракції в агломераті/доменній печі або в цементній промисловості, коли розподіл часток за розмірами дає можливість провести поділ.

Можливість застосування НДТМ V

Пил гарячого брикетування і рециклінг з утилізацією гранул із високим вмістом цинку для зовнішнього повторного використання можна застосовувати, коли використовується сухий електрофільтр для очищення конвертерного газу. Утилізація цинку за допомогою брикетування не може застосовуватися в системах мокрого знепилювання внаслідок нестабільного осадження у відстійниках, яке викликає утворення водню (через реакцію металевого цинку з водою). Внаслідок цих причин безпеки вміст цинку в шламі має бути обмежений 8 – 10 %.

НДТМ для контрольованого управління залишками киснево-конвертерного процесу, яких не можна уникнути або піддати рециклінгу.*Енергія***83. НДТМ для відведення, очищення і зберігання конвертерного газу для наступного використання як палива****Можливість застосування**

У деяких випадках це може виявитись економічно недоцільно або щодо належного управління енергією неможливо утилізувати конвертерний газ за допомогою неповного спалювання. У цих випадках конвертерний газ можна спалювати разом із виробництвом пари. Вид спалювання (повне або неповне) буде залежати від місцевого управління енергією.

84. НДТМ для зниження споживання енергії за допомогою використання систем кришок для сталерозливних ковшів.**Можливість застосування**

Кришки можуть бути дуже важкими, тому що вони виготовлені з вогнетривкої цегли, і тому вантажопідйомність кранів і конструктивні особливості будівлі цеху можуть

обмежити застосовність таких кришок. Є різні технічні конструктивні рішення для реалізації цієї системи в практичних умовах сталеплавильного цеху.

85. НДТМ для оптимізації процесу і зниження споживання енергії за допомогою використання процесу прямого випуску плавки після продувки.

Опис

Для прямого випуску плавки зазвичай потрібні дорогі пристрої типу допоміжної фурми або системи випуску без очікування результатів хімічного аналізу відібраної проби. Натомість, крім цього, була розроблена нова технологія для реалізації прямого випуску без таких пристроїв. Для цієї технології потрібна масштабна дослідно-конструкторська робота. На практиці під час продування вміст вуглецю знижується до 0,04 % і одночасно знижується температура ванни рідкої сталі до встановленого значення. Перед випуском вимірюють як температуру, так і кисневу активність для визначення подальших дій.

Можливість застосування

Потрібні відповідний аналізатор гарячого металу і стопорні пристрої для шлаку при випуску сталі, а також доповнення у вигляді печі-ковша для остаточного доведення сталі.

86. НДТМ для зниження споживання енергії за допомогою застосування безперервного лиття смуги за формою, близькою до заданої, якщо якість та номенклатура вироблених сортів сталі є придатними.

Опис

Безперервне лиття смуги за формою, близькою до заданої, означає безперервне розливання сталі в смугу з товщиною менше 15 мм. Процес лиття об'єднується з прямим гарячим вальцюванням (гарячою прокаткою), охолодженням і намотуванням смуги без проміжної нагрівальної печі, що використовується під час звичайних технологій лиття, наприклад безперервного лиття слябів або тонких слябів. Тому лиття смуги представляє собою технологію для виробництва смугової сталі різної ширини і товщини менше 2 мм.

Можливість застосування

Можливість застосування залежить від вироблених марок сталі (наприклад, товстий лист не може проводитися за допомогою цього процесу) і від портфеля замовлень індивідуального сталеплавильного цеху. На наявних заводах можливість застосування може бути обмежена розміщенням обладнання та наявним місцем для розміщення машини для безперервного лиття смуги, для якої необхідно приблизно 100 м довжини.

9.7 Висновки щодо НДТМ для виробництва та лиття в електродугових печах

Якщо тільки не буде встановлено інше, висновки щодо НДТМ, представлені в цьому розділі, можна застосовувати для всього процесу виплавки сталі в електродугових печах і лиття (розливання).

87. НДТМ для процесу в електродуговій печі (EAF) з метою запобігання викидів ртуті за допомогою максимально можливого запобігання надходженню сировинних і додаткових матеріалів, що містять ртуть (див. НДТМ 6 і 7).

88. НДТМ для первинного і вторинного знепилювання для електродугової печі (включаючи підігрів брухту, завантаження, плавлення, випуск сталі, піч-ківш і позапічну обробку сталі) з метою досягнення ефективного вловлювання від всіх джерел викидів за допомогою використання однієї з технологій, перерахованих нижче, і проведення подальшого знепилювання за допомогою рукавного фільтра:

- I. поєднання безпосереднього відведення (4-ий або 2-ий отвір) і системи парасоллю
- II. системи безпосереднього відведення газу і шумопилозахисного кожуха
- III. безпосереднє відведення газу і загальне відведення з будівлі (з дуговими печами низької продуктивності) може не вимагати безпосереднього відведення газу для досягнення тієї самої ефективності видалення.

Загальна середня ефективність очищення, пов'язана із НДТМ, становить > 98 %.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для пилу становить <5 мг/нм³, та був визначений як середньодобове значення.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для ртуті становить <0,05 мг/нм³, він був визначений як середнє значення за період між відборами проб (періодичні вимірювання, разові проби, принаймні, за півгодини).

89. НДТМ для первинного і вторинного пиловидалення з електродугової печі (включаючи підігрів брухту, завантаження, плавлення, випуск сталі, ківш-піч та позапічну обробку сталі) з метою запобігання і зниження викидів поліхлорованих дібензодіоксинів/фуранів (PCDD/F) та поліхлорованих біфенілів (PCB) шляхом максимально можливого запобігання надходженню сировинних матеріалів, що містять PCDD/F і PCB або їх прекурсори (див. НДТМ 6 і 7), і використання однієї або поєднання таких технологій, спільно з відповідною системою очищення від пилу:

- I. відповідного доспалення
- II. відповідного швидкого гартування
- III. вдування належних адсорбційних агентів до пилу перед знепилюванням.

Рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, для поліхлорованих дібензодіоксинів/фуранів (PCDD/F) становить <0,1 нг I-TEQ/нм³ та був визначений на основі 6-8 годинної разової проби, протягом стабільної роботи. У деяких випадках рівень викидів, пов'язаних із НДТМ, можна досягти тільки за допомогою первинних заходів.

Можливість застосування НДТМ I

На наявних печах під час оцінки можливості застосування повинні враховуватись обставини на зразок наявності місця, наявної системи газоходу відхідних газів тощо.

90. НДТМ для переробки шлаку на місці з метою зниження викидів пилу за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. ефективне розділення методом дроблення, грохочення дробарки шлаку і грохотів із подальшим очищенням відхідних газів
- II. транспортування необробленого шлаку ковшовим навантажувачем
- III. видалення або зволоження відходів із місць перевантаження конвеєра

IV. зволоження відвалів шлаку під час зберігання

V. використання водяного туману при розвантаженні дробленого шлаку.

У разі використання НДТМ I, **рівень викидів, пов'язаних із НДТМ**, для пилу становить <10 – 20 мг/м³, та він був визначений як середнє значення між відборами проб (періодичні вимірювання, одиничні проби принаймні за півгодини).

Вода і стічні води

91. НДТМ для мінімізації споживання води від процесу виплавки сталі в електродуговій печі за допомогою використання систем водоохолодження закритого контуру для максимально можливого охолодження елементів печі, якщо тільки не використовується прямоточна система охолодження.

92. НДТМ для мінімізації скидання стічних вод від технології безперервного розливання сталі за допомогою використання поєднання таких технологій:

- I. видалення твердих речовин за допомогою флокуляції, осадження та/або флотації
- II. видалення масел у баках-сепараторах або в будь-якому іншому ефективному пристрої
- III. максимально можлива рециркуляція охолоджувальної води та води від створення вакууму.

Рівень скидів, пов'язаних із НДТМ, для стічних вод від машини безперервного лиття на основі кваліфікованої разової проби або 24-годинної усередненої проби, складає:

- зважені тверді речовини <20 мг/л
- залізо <5 мг/л
- цинк <2 мг/л
- нікель <0,5 мг/л
- загальний хром <0,5 мг/л
- загальні вуглеводні <5 мг/л

Залишки виробництва

93. НДТМ для запобігання утворенню відходів за допомогою використання однієї або поєднання таких технологій:

- I. належний збір та зберігання для полегшення спеціалізованої переробки
- II. утилізація і рециклінг на місці вогнетривких матеріалів від різних процесів і використання для внутрішніх цілей, тобто для заміни доломіту, магнезиту та вапна
- III. використання пилу із фільтрів для зовнішньої утилізації кольорових металів, таких як цинк у кольоровій металургії, якщо необхідно, після збагачення пилу із фільтрів за допомогою рециркуляції в електродуговій печі
- IV. відділення циндри (окаліни) від безперервної виливки в процесі очищення води та утилізація із подальшим рециклінгом, наприклад в агломераті/доменній печі або в цементній промисловості
- V. зовнішнє використання вогнетривких матеріалів і шлаку від електродугової печі як вторинної сировини, коли цьому сприяють ринкові умови.

НДТМ призначена для контрольованого управління залишками технологічного процесу в EAF, яких не можна уникнути або піддати рециклінгу.

Можливість застосування

Зовнішнє використання або рециклінг залишків виробництва, як пояснено в рамках НДТМ III – V, залежить від співпраці та угоди з третьою стороною, які не можуть перебувати під контролем оператора, і тому не можуть входити в область дії дозволу.

Енергія

- 94. НДТМ для зниження споживання енергії за допомогою застосування безперервного лиття смуги за формою, близькою до заданої, якщо якість та номенклатура сортаменту сталі є придатними.**

Опис

Безперервне лиття смуги за формою, близькою до заданої, означає безперервне розливання сталі в смугу з товщиною менше 15 мм. Процес лиття об'єднується з прямим гарячим вальцюванням (прокаткою), охолодженням і намотуванням смуги без проміжної нагрівальної печі, що використовується під час звичайних технологій лиття, наприклад безперервного лиття слябів або тонких слябів. Тому лиття смуги є технологією для виробництва смугової сталі різної ширини і товщини менше 2 мм.

Можливість застосування

Можливість застосування залежить від вироблених марок сталі (наприклад, товстий лист не може проводитися за допомогою цього процесу) і від портфеля замовлень індивідуального сталеплавильного цеху. На наявних заводах можливість застосування може бути обмежена розміщенням обладнання та наявним місцем для розміщення машини для безперервного лиття смуги, для якої необхідно приблизно 100 м довжини.

Шум

- 95. НДТМ для зниження шумових викидів від електродугової печі та процесів, які є причиною високої звукової енергії за допомогою використання поєднання таких конструктивних та експлуатаційних технологій, залежно від і відповідно до місцевих умов (додатково до використання технологій, перерахованих в НДТМ 18):**

- I. спорудження будівлі з електродуговою піччю (EAF) так, щоб відбувалося поглинання шуму від механічних ударів під час роботи печі
- II. виготовлення та встановлення кранів, призначених для транспортування завантажувальних кошиків, з метою запобігання механічним ударам
- III. спеціальне використання акустичної ізоляції всередині внутрішніх стін і даху для запобігання повітряного шуму в будівлі з електродуговою піччю
- IV. поділ печі та зовнішніх стін для зниження структурного шуму від будівлі з електродуговою піччю
- V. розміщення технологічних процесів, які є причиною високої звукової енергії (тобто електродугової печі та установок для зневуглицювання) в основній будівлі.

10 АЛЬТЕРНАТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУНУ

[383, EIPPCB, 2006]

Цей розділ не є таким самим докладним як попередні розділи, оскільки він стосується тільки альтернативного процесу виробництва чавуну в ЄС, котрим є установка DRI (прямого відновлення заліза) у Німеччині.

Хоча технологія доменної плавки є основним процесом для виробництва чавуну, було розроблено кілька інших методів виробництва, і вони застосовуються у промисловому масштабі. Ці технології «рідкофазного відновлення» постійно використовують вугілля замість коксу як основний відновлювальний агент. У деяких нових технологіях також замінюються окатиші та агломерат пилоподібним дріб'язком із залізної руди. Ці альтернативні технології більш докладно описані нижче.

Чавун виробляється у доменних печах більше 500 років. Протягом цього часу доменні печі перетворилися на високоефективні реактори. Однак зараз доступні інші технології, які стали викликом для технології доменного процесу для виробництва чавуну.

Для доменних печей потрібен кокс, а коксові заводи є дорогими, і для них є багато екологічних проблем, пов'язаних із їх експлуатацією. Так, було б корисно з економічного та екологічного погляду, виробляти рідкий чавун без використання коксу. Під час написання цього довідкового документа (2010 рік) майже на всіх доменних печах споживання коксу було помітно зменшено за допомогою вдування відновлювача у фурми. Однак ніколи не можна повністю замінити кокс у доменній печі, оскільки кокс як складова шихти несе й опорну функцію. Мінімальний рівень коксу в доменній печі складає приблизно 260 кг/т рідкого чавуну.

Відбувається зростання виробництва сталі з брухту в електродугових печах. Під час виробництві сталі з брухту споживається значно менше енергії, порівняно з виробництвом сталі із залізних руд. Проблеми з якістю сталі, виплавленої на основі брухту, вводять відповідні обмеження для конвертерного і електросталеплавильного виробництва, а використання заліза прямого відновлення (DRI) як шихти підвищує можливості виробництва сталі в електродугових печах.

Слід зазначити такі аспекти, які чинять тиск на технологію виробництва сталі із використанням рідкого чавуну:

- Екологічні аспекти агломераційних установок
- Екологічні та економічні аспекти коксогазового заводу
- Порівняна негнучкість і масштаб виробництва рідкого чавуну
- Дедалі більша конкуренція способу виробництва сталі на основі брухту і технології електродугової переплавки з DRI.

Але слід визнати переваги технології доменного виробництва щодо можливостей рециклінгу та інвестицій.

Вищезазначене ініціювало поліпшення економічних та екологічних показників роботи доменної печі, а також розроблення альтернативних способів виробництва чавуну (або заліза).

Два основних типи альтернативного виробництва заліза, які можна вважати апробованими типами альтернативного виробництва, такі: пряме відновлення (DR) і рідкофазне відновлення (SR).

На рис. 10.1 наведено огляд минулих, теперішніх і майбутніх маршрутів виробництва чавуну і сталі.

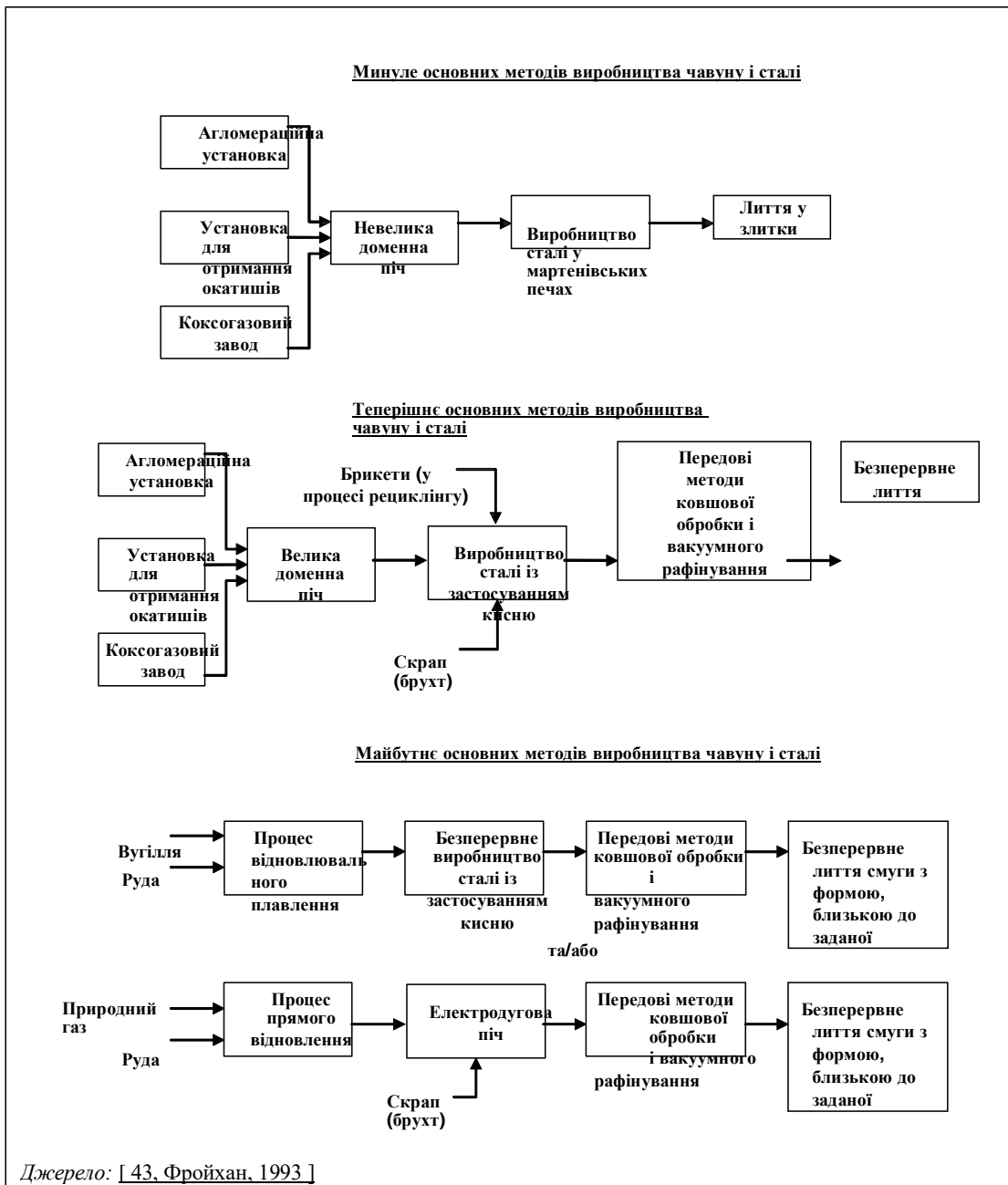


Рис. 10.1. Минулі, теперішні та майбутні напрями альтернативних процесів виробництва чавуну та сталі

10.1 Пряме відновлення (DR)

Пряме відновлення пов'язане із виробництвом твердого первинного залізвмісного матеріалу із залізних руд і відновлювального агента (наприклад, природного газу). Твердий продукт, що називається залізом прямого відновлення (DRI), здебільшого застосовується як сировина в електродугових печах (EAF). Процес прямого відновлення був запущений у серійне виробництво з 1970-х років, і були розроблені різні процеси.

Оскільки немає відокремлення заліза від порожньої породи у відновлювальному агрегаті, повинні використовуватися руди високої якості або концентрати (вміст заліза 68 % і порожньої породи – 27 %) для відновлення до металевого заліза у твердому стані. Температура процесу менше ніж 1000 °С. DRI має рівень металізації > 92 %, а вміст вуглецю <2 %. Залізо прямого відновлення зазвичай використовується як сировина для EAF.

DRI може мати високий вміст порожньої породи, і це знижує його цінність в електросталеплавильному виробництві, особливо там, де високі ціни на електроенергію. Недоліком DRI є те, що воно пожежонебезпечне. Тому DRI можна переплавляти в брикети, оскільки залізо гарячого брикетування (HBI), і такий продукт можна зберігати і транспортувати на певну відстань.

Перша промислова установка була побудована наприкінці 1960-х років. Оскільки для провідних процесів прямого відновлення потрібно дешеве джерело природного газу, більша частина установок розміщена у регіоні високих родовищ нафти і природного газу, поблизу екватора.

У табл. 10.1 наведено процентну частку виробництва DRI, що стосується світового виробництва рідкого чавуну у 1996 і 2006 роках.

Таблиця 10.1: Світове виробництво DRI

Рік	Щорічне світове виробництво (млн т)	Відсоткова частка від світового виробництва рідкого чавуну
1996/97	36,5	4,4 %
2006	59,8	6,8 %
<i>Джерело: [200, Єврокомісія, 2001] . [260, Німеччина, 2007]</i>		

Дві третини світового виробництва DRI у 2006 році були сконцентровані у п'яти країнах: Індії (15 млн т – на 4 млн т більше, ніж у 2005 році), Венесуелі (8,6 млн т), Ірані (6,9 млн т), Мексиці (6,2 млн т) і Саудівській Аравії (3,6 млн т). Нові установки були здані в експлуатацію в Індії, Нігерії, Тринідаді, Саудівській Аравії, Катарі та Росії [260, Німеччина, 2007]. Метод прямого відновлення виявився успішним, особливо у виробництві порошків.

Наявні процеси

Процеси DRI можна розділити за типом реактора, що використовується, а саме:

- шахтні печі (Midrex®, HyL)
- обертові печі (процес SL/RN)
- печі з обертовим подом (Fastmet®/Fastmelt®, Inmetco®/RedIron® і ITmk3®)
- реактори з киплячим шаром (Circofer®).

Багато із цих твердофазних процесів використовують природний газ і як паливо, і як відновлювальний агент (монооксид вуглецю і водень). Приблизно 92 % DRI виробляється за допомогою використання (реформованого) природного газу як палива. У невеликій кількості випадків як паливо використовується вугілля.

Як сировина окатиші із залізної руди і крупнокускова руда використовуються у процесах із шахтними печами (Midrex, HyL), а пилоподібна руда і концентрати використовуються у реакторах із киплячим подом (Circored, Finmet, Iron carbide) або печач із обертовим подом (Fastmet®, Inmetco®).

Альтернативою DRI є карбід заліза (Fe_3C). Карбід заліза також виробляється за допомогою прямого відновлення, але продукт містить приблизно 90 ваг.% Fe_3C . Вміст карбиду є порівняно високим: 6 ваг.%, який дає достатню кількість енергії для зниження споживання електроенергії в EAF. Карбід заліза можна використовувати в тих самих цілях, що і DRI. Перша промислова установка для виробництва карбиду заліза, із продуктивністю 300 тис. т на рік була здана в експлуатацію у 1995 році у Тринідаді (реальне виробництво у 1998 році склало 150 тис. т/рік).

У табл. 10.2, представлені характеристики типів установок для виробництва DRI, що випускаються серійно.

Таблиця 10.2: Характеристики установок серійного випуску з процесами прямого відновлення

Параметр	Процес			
	Midrex	HyL III	Fastmet/ Inmetco	Finmet
Статус	Промисловий	Промисловий	Промисловий	Промисловий
Тип реактора	Шахтний	Шахтний	Под, що обертається	Киплячий шар
Джерело заліза	Окатиші/шматкова руда	Окатиші/шматкова руда	Дріб'язок/концентрати	Дріб'язок 0,1 – 12 мм
Тип палива	Природний газ	Природний газ	Вугілля/природний газ	Природний газ
Системи забезпечення	–	Пара	–	Пара
Зовнішнє обладнання	Реформер	Реформер/видалення CO_2	–	Реформер/видалення CO_2
Типова продуктивність установки (тис. т/рік)	1 000	1 000	450	500
Надходження енергії (ГДж/т продукту)	10,5	11,3	12,6	12,5
Продукт	DRI/HBI	DRI	DRI/HBI	HBI
Металізація продукту (%)	>92	>92	>92	>92
Вміст вуглецю у продукті (%)	1 – 2	1 – 2	<0,2	0,5 – 1,5
<i>Джерело: [98, Нараї, 1995] [177, Eurofer, 2009].</i>				

Протягом процесу виробництва сталі DRI перевершує брухт чистою і сталістю складу, але ці переваги дістаються за вищу ціну.

Установки DRI є прийнятними у таких ситуаціях:

- Коли не вистачає брукту належної якості, в такий спосіб викликається погіршення якості виробленої сталі, і виникає необхідність у додаванні відновленого заліза для підвищення якості сировини

- На мінізаводах, побудованих у регіонах, у яких поставки джерел заліза, таких як брукт, ускладнені, або в яких будівництво металургійних заводів із повним циклом, із доменною піччю, не є необхідним з погляду масштабу попиту, і у цьому випадку відновлене залізо можна використовувати як основний сировинний матеріал [98, Нагаї, 1995]
- У доменних печах, в яких потрібна підвищена продуктивність за виходом рідкого чавуну.

Екологічні аспекти DRI

Основною перевагою установки прямого відновлення порівняно з доменною піччю є те, що в цих установках використовується природний газ або вугілля як паливо. Тому коксогазовий завод більше не потрібен, і значно знижуються викиди. Впливи установки прямого відновлення на навколишнє середовище дуже обмежені. Є мало викидів пилу, які легко відводяться. Потреба у воді низька, і воду значною мірою можна повертати у цикл. Окрім того, на установках прямого відновлення на основі метану утворюється набагато менше CO₂, ніж в установках на основі вугілля.

Однак у DRI міститься певна кількість порожньої породи (3 – 6 %), і це призводить до зростання споживання енергії EAF з ростом споживання DRI. Це можна частково компенсувати за допомогою гарячого посаду DRI. Технологія ITmk3 передбачає, що оскільки частина фізичного тепла відхідних газів утилізується із подачею тепла для підігріву повітря, оцінені викиди CO₂ для цієї технології будуть на 20 – 25 % нижче, ніж для технології доменна піч + кисневий конвертер [208, Ліндфорс та ін. 2006].

10.2 Рідкофазне відновлення (SR)

Рідкофазне відновлення (SR) пов'язане із виробництвом рідкого металу з руди без коксу. У процесі SR використовується дві установки: у першій установці руда нагрівається і відновлюється газами, утвореними у другій установці, яка є плавильною піччю – газифікатором, в яку постачаються вугілля і кисень. Потім частково відновлена руда топиться у другій установці, а рідкий розтоплений чавун або (в деяких випадках) рідка сталь утворюється у другій установці. Технологія плавлення – відновлення дає можливість використовувати широкий діапазон вугілля для виробництва чавуну.

Приклади цієї технології включають процеси Corex® і Finex®, які працюють у промисловому масштабі.

10.2.1 Процеси Corex і Finex

Опис

Процес Corex є двостадійним процесом: на першій стадії залізна руда відновлюється до губчастого заліза у шахтній печі за допомогою відновлювального газу; на другій стадії відновлене залізо топиться у плавильній печі – газифікаторі. Відновлювальний газ (CO і H₂), який використовується у відновлювальній шахті надходить у результаті газифікації вугілля за допомогою кисню, утворює нерухомий/киплячий шар у плавильній печі – газифікаторі.

Часткове спалювання вугілля у плавильній печі – газифікаторі призводить до утворення тепла для розтоплення відновлювального заліза. Розтоплені чавун і шлак зливаються на горну за допомогою звичайної процедури випуску, подібної до тієї процедури, яка використовується під час роботи доменної печі.

Внаслідок поділу відновленого заліза і плавлення заліза/газифікації вугілля у дві стадії досягається високий ступінь гнучкості, і може використовуватися широкий набір вугілля. Процес проєктується для виконання при підвищеному тиску до 5 бар. Завантаження вугілля і залізної руди здійснюється за допомогою системи шлюзового бункера.

Відновлювальний газ містить близько 65 – 70 % CO, 20 – 25 % H₂ і 2 – 4 % CO₂. Після того як гарячі гази залишають плавильну піч – газифікатор, він змішується із охолоджуваним газом для регулювання температури приблизно на рівні 850 °C. Потім газ очищується у гарячому циклоні та направляється до шахтної печі як відновлювальний газ. Коли газ лишає шахтну піч, він все ще має високу теплотворну здатність і може використовуватися для зовнішнього споживача, коли існують такі можливості. Теплотворна здатність цього газу оцінюється у 7,5 МДж/нм³ у разі використання звичайного енергетичного вугілля (28,5 % летючих речовин), але вугілля іншого типу може дати іншу теплотворну здатність такого газу.

Подальшим розвитком процесу Corex став процес Finex, розроблений спільно німецькою компанією Siemens VAI та корейською металургійною компанією Posco. Основна відмінність між технологіями Corex і Finex полягає у тому, що у другій технології можна безпосередньо використовувати пилоподібну руду [260, Німеччина, 2007]. У процесі Finex чотириступенева система із киплячим шаром розташована в напрямку плавильної печі – газифікатора. Після відновлення пилоподібної руди у киплячому шарі вона ущільнюється у гарячому стані перед вивантаженням до плавильної печі – газифікатора.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У процесі Corex як джерело енергії використовується вугілля. Тому відбувається запобігання викидів із коксової печі. Усі вищі вуглеводні, які виділяються із вугілля, піддаються крекінгу з утворенням CO і H₂ у плавильній печі – газифікаторі. Тому не утворюються побічні продукти типу смоли, фенолу, ВТХ, РАН тощо.

Сірка, яка надходить із вугіллям у процес, значною мірою абсорбується у шахтній печі DRI і кальцинованими домішками, а згодом спрямовується до плавильної печі – газифікатора. Тут велика частина сірки переходить у рідкий шлак як у випадку доменного процесу і стає нешкідливою для навколишнього середовища. Кількість сірки, що вловлюється у процесі Corex газом і водою (2 – 3 % від загального надходження сірки) набагато нижче, ніж у випадку традиційної технології коксова піч/агломераційна установка/доменна піч (20 – 30 %). Газ, що постачається сторонньому споживачеві, містить 10 – 70 ppm H₂S, залежно від типу вугілля, яке використовується, і робочих умов. Оскільки кисень використовується замість повітря для газифікації коксового залишку, не відбувається значного утворення NO_x і ціанідів (CN). Потреба у використанні кисню призводить до значної загальної потреби в енергії.

Викиди пилу від процесу Corex значно нижче ніж під час традиційного доменного процесу. Відбувається запобігання всіх викидів пилу у коксовій печі. Вміст пилу у газі для сторонніх споживачів менше 5 мг/нм³. Велика частина пилу, яка вловлюється у системі газоочищення, піддається рециклінгу із поверненням до процесу.

Деякі експлуатаційні параметри установки компанії Iscor (нині Mittal Steel South Africa) наведені у табл. 10.3.

Таблиця 10.3: Важливі експлуатаційні дані установки з процесом Cogex компанії Iscor's Pretoria Works, Південна Африка (виведена з експлуатації та демонтована у 1998 році)

Параметр		Одиниці вимірювання	Використання шматкової руди	Використання окатишів	
Плавильна потужність		т рідкого металу/год	45	53	
Питома плавильна потужність		т рідкого металу/м ³ на добу	3,0	3,4	
Споживання вугілля		кг/т рідкого металу	1 080	1 000	
Споживання зв'язаного вуглецю (C _{fix})		кг/т рідкого металу	615	570	
Споживання кисню		нм ³ /т рідкого металу	540	500	
Кількість шлаку		кг/т рідкого металу	450	300	
Споживання рідкого металу	Вуглець	%	4,5	4,5	
	Силіцій	%	0,3	0,3	
	Сірка	%	0,05	0,05	
	Фосфор	%	0,15	0,15	
Газ для зовнішнього споживача	Кількість		нм ³ /т рідкого металу	1 750	1 710
	Нижча теплотворність		МДж/т рідкого металу	7,5	7,5
	Склад	CO	%	45	45
		CO ₂	%	32	32
		H ₂	%	16	16
Пил		мг/нм ³	<5	<5	
Викиди	Пил		г/т рідкого металу	39 – 139	39 – 139
	SO ₂		г/т рідкого металу	26 – 333	26 – 333
	NO _x		г/т рідкого металу	21 – 33	21 – 33
Споживання енергії		ГДж/т рідкого металу	17	17	
Примітка: НМ= рідкий метал (чавун). Джерело: [78. Кройліч та ін., 1994] [.82. Лемперле та ін., 1993]					

Міжсередовищні наслідки

Відновлювальний газ із плавильної печі – газифікатора очищується у циклонах. Пил із цих циклонів можна повертати до плавильної печі – газифікатора. Колошниковий газ із шахтної печі та охолоджуваний газ (для охолодження відновлювального газу) очищуються у скруберах, і тому утворюється шлам. Шлам у більшості випадків можна піддати рециклінгу у плавильній печі – газифікаторі після грануляції або постачати до хімічної промисловості. Невелика частина (не визначена кількісно) може депонуватися.

Процес Cogex відрізняється високим питомим споживанням вугілля і порівняно великою витратою відхідних газів, з теплотворною здатністю від середньої до високої. Використання таких відхідних газів як джерела енергії значною мірою визначає енергетичну ефективність процесу. Охолоджувана вода постачається до замкнутого циклу.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Жодних даних не надано.

Економічні дані

Повідомляються дані щодо капітальних витрат: 195 євро за тону рідкого металу. Для цього прикладу валюта була конвертована в єку у 1996 році та переглянута на євро.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Після того як установка Corex була успішно введена в експлуатацію у 1995 році компанією Posco на заводі Pohang Works у Південній Кореї, була проведена її реконструкція з переходом на конфігурацію процесу Finex, з продуктивністю 600 тис. т/рік у 2003 році. На цій установці чотириступенева система з киплячим шаром була розташована в напрямку плавильної печі – газифікатора. Після відновлення пилоподібної руди у киплячому шарі цей дріб'язок ущільнюється у гарячому стані перед завантаженням до плавильної печі – газифікатора. Друга установка з річною продуктивністю 1.5 1,5 млн т була уведена в експлуатацію на тому ж заводі у квітні 2007 року.

До кінця 2007 року в експлуатації знаходилося 6 установок типу Corex і 2 – типу Finex, із загальною продуктивністю 7,45 млн т рідкого металу.

Таблиця 10.4: Огляд щодо установок Corex та Finex

Установка Corex/Finex	Кількість	Введення в експлуатацію	Завантаження / шихта	Продуктивність, млн т/рік
Компанія Posco, завод Pohang Works, м. Пхохан, Південна Корея	1 1	1995/2003 (Corex/Finex) 2007 (Finex)	Шматкова руда/дріб'язок Дріб'язок	0,60 1,5
Компанія Jindal South West Steel, м. Торанагаллу, Індія	2	1997/2001	Шматкова руда, окатиші	1,60 (2 × 0.8)
Компанія Mittal Steel, м. Салданха, Південна Африка	1	1999	Шматкова руда, окатиші	0,65
Компанія Baosteel, м. Шанхай, Китай	1 1	2007 Запуск у 2010 році	Шматкова руда, окатиші	1,50 1,5
Компанія Essar Steel, м. Хазіра, Індія	2	2007	Окатиші	1,60 (2 × 0.8)

Джерело: [260, Німеччина, 2007] [.312, д-р. Мікаель Дегнер та ін., 2008]

Ще одним прикладом рідкофазного відновлення є технологія Primus®, в якій використовується двостадійний процес. Ця технологія являє собою поєднання багатоподової печі (МНФ), призначеної для сушіння, нагрівання і початку відновлення, за якою встановлена електродугова піч (ЕАФ), в якій відбувається повне відновлення заліза, і виходить рідкий метал, утворюється шлак, а завершенням процесу є відновлення цинку. Ця технологія надає можливість переробляти типові залишки від виплавки чавуну і сталі, які зазвичай не піддаються рециклінгу на наявних установках, такого типу як пил з ЕАФ, шлак доменних печей, шлак сталеплавильного виробництва і промаслена вальцівна циндра (прокатна окалина) (див. п. 2.5.4.4).

Довідкова література

[44, Фройхан, 1994] [78, Кройліч та ін., 1994] [82, Лемперле та ін., 1993] [312, д-р. Мікаель Дегнер та ін., 2008]

10.2.2 Процеси в стадії розроблення

Такі процеси рідкофазного відновлення знаходяться у завершальній стадії розроблення, і коротко описані у цьому пункті:

- HSmelt
- Пряме відновлення залізної руди (DIOS)
- AISI-DOE/CCF
- ROMELT

У табл. 10.5 підсумовано характеристики цих процесів. Короткий опис цих процесів буде наведено далі.

Таблиця 10.5: Характеристики процесів рідкофазного відновлення, які перебувають у стадії розроблення

Процес				
	Hismelt (Австралія)	DIOS (Японія)	AISI-DOE/CCF (США/Нідерланди)	ROMELT (Росія)
Основні компоненти	<ul style="list-style-type: none"> Рідкофазне віднолювання у вертикальній печі 	<ul style="list-style-type: none"> Попереднє відновлення у псевдорозрідженому шарі Піч для реформінгу газу Піч рідкофазного відновлення Кисневий блок 	<ul style="list-style-type: none"> Піч із конвертером циклонного типу Плавильний агрегат із ванною Кисневий блок 	<ul style="list-style-type: none"> Плавильний пристрій подового типу
Сировина (шихта)	Пилоподібна руда	Пилоподібна руда	Пилоподібна руда	Пилоподібна руда/відходи
Паливо	Пилоподібне вугілля	Вугільний дріб'язок /зернисте вугілля	Вугільний дріб'язок	Вугільний дріб'язок
Металевий продукт	Рідкий чавун	Рідкий чавун	Рідкий чавун	Рідкий чавун
Споживання кисню (нм ³ /т гарячого металу)	Використовується гаряче дуття	500	430 – 680	750 – 850
Споживання вугілля (кг/т гарячого металу)	630 – 700	950	700 – 750	900 – 1 200
Кількість відхідних газів (нм ³ /т гарячого металу)	1 850	2 080	NA	NA
Теплотворна здатність (МДж/нм ³)	1,44	3,74	NA	NA
Нетто споживання енергії (ГДж/т гарячого металу)	NA	NA	NA	NA
Вихід енергії (ГДж/т гарячого металу)	2,7	7,8	4,0	NA
Статус	Пілотний	Пілотний	Пілотний	Пілотний
Примітка: — НМ= рідкий чавун. — NA = Немає даних. Джерело: [44, Фройхан, 1994] [98, Нагаї, 1995].				

Hismelt

Опис

У цьому процесі руда, вугілля і флюси вдуваються у ванну з розтопом чавуну за допомогою восьми фурм, з яких чотири використовуються для вдування холодного вугілля і вапна, а чотири слугують для вдування руди і доломіту (5 %) в умовах температури 600 – 700 °С. Руда швидко відновлюється і топиться безпосередньо у розтопленій ванні. Гаряче дуття (1 200 – 1 250 °С) із вмістом кисню 35 % вдувається через центральну фурму через шлак, викликаючи утворення CO і H₂ у відхідних газах після спалювання. Зазвичай для початку процесу необхідна ванна з рідкого металу. Випуск гарячого чавуну відбувається безперервно за допомогою накопичувача, у той час як випуск шлаку проводиться партіями через кожні 2-3 години за допомогою шлакової льотки [312, д-р Мікаель Дегнер та ін., 2008].

Експлуатаційні дані

SR в процесі HSmelt дає в результаті менший вміст силіцію, який становить менше 0,01 %, а також менший вміст фосфору, менше 0,02 % у розтопленому металі [312, д-р Мікаель Дегнер та ін., 2008].

Статус

Установа HSmelt була введена в експлуатацію у м. Квінана, Західна Австралія, корпорацією HSmelt. Ця установка спроектована на річну продуктивність 800 тис. т рідкого чавуну [312, д-р Мікаель Дегнер та ін., 2008].

Екологічні наслідки

Порівняно з процесом у доменній печі передбачається економія палива у 10 %. Окрім того, немає більше необхідності в установці для попереднього підготовки залізної руди (установка для отримання окатишів, агломераційна установка) і коксової печі. На відміну від інших процесів рідкофазного відновлення необхідним є гаряче дуття. Це, ймовірно, буде впливати на викиди NO_x, що негативно позначається на процесі.

DIOS

Опис

Процес безпосередньої плавки залізної руди (DIOS) складається з трьох допоміжних процесів: печі попереднього відновлення із псевдорозрідженим шаром (PRF) для попереднього відновлення залізної руди, печі для риформінгу газу (GRF) для змішування вугільного порошку із газом і печі відновлювального топлення (SRF) для подальшого відновлення і топлення залізної руди.

Кисень для спалювання вдувається у верхню частину SRF. Утворений монооксид вуглецю (CO) використовується для попереднього відновлення залізної руди у PRF. Азот вдувається через дно SRF для перемішування шлаку у печі.

Статус

Пілотна установка компанії NKK на заводі Keihin Works, Японія, працює з 1994 року, виробляючи приблизно 500 т чавуну на день.

Екологічні наслідки

Очікується, що споживання енергії у процесі DIOS має бути на 5 – 10 % нижче, порівняно із маршрутом доменної печі. Окрім того, більше не потрібна установка для попередньої переробки заліза (установка для отримання окатишів, агломераційна установка) і коксової печі.

Довідкова література

[78, Кройліч та ін., 1994]

AISI-DOE/CCF**Опис**

Проект AISI-DOE (Американський інститут чорної металургії та Міністерство енергетики США) і проект печі циклон – конвертер (CCF) почалися як два окремі проекти.

Проект AISI-DOE був спільним науково-дослідним проектом прямого відновлення з отриманням чавуну рядом американських університетів та американських і канадських компаній у секторі виробництва сталі. Координатором проекту був Американський інститут чорної металургії, а спонсором – Міністерство енергетики США. Мета проекту полягала у виробництві сталі з попередньо відновленої залізної руди і вугілля у вертикальному топильному пристрої подового типу. Розроблення цього топильного пристрою стало найважливішою частиною проекту.

Проект CCF був спільною ініціативою компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди, і сталеливарного заводу Ilva, Італія. Найважливішою частиною проекту стало розроблення циклонного реактору. У циклоні залізна руда попередньо відновлюється і топиться. Розтоплена суміш падає у нижню частину реактору, де завершується відновлення. Паливо являє собою зернисте вугілля, яке вдувається разом із киснем у нижню частину реактору.

Висока робоча температура у циклонному реакторі, а також той факт, що він може працювати з високим рівнем домішок із розтопленої ванни, робить можливим прямий зв'язок попереднього відновлення і стадій кінцевого відновлення. Поєднання двох стадій означає, що ефективна передача тепла не має вирішального значення, оскільки немає охолодження між стадіями. Той факт, що як попереднє відновлення, так і кінцеве відновлення мають місце в одному реакторі, являє суттєву різницю між CCF та іншими наявними установками для відновлювального топлення.

Проект CCF сконцентрований, перш за все, на розробленні циклонного реактору.

У 1995 році обидві сторони зрозуміли можливість поєднання своїх технологій. За такого об'єднання можна реалізувати пілотну установку відновлювального топлення.

Статус

Проект AISI-DOE був перевірений у ряді випробувань, але пілотна установка не була введена в експлуатацію. Проект CCF був випробуваний у масштабі пілотної установки, з продуктивністю 20 т/год.

Екологічні аспекти

Оскільки не потрібні коксова піч, агломераційна установка або установка для отримання окатишів, можна очікувати помітного зниження викидів. Споживання енергії на тонну сталі повинно бути нижче. Окрім того, можна отримати енергію з відхідних газів, які виходять з циклону за 1 800 °С.

Довідкова література

[43, Фройхан, 1993] [65, InfoMil, 1997] [78, Кройліч та ін., 1994]

ROMELT

Опис

Процес ROMELT (РОМЕЛТ) – процес, розроблений у в Росії 10 років назад. Він схожий на інші топильні процеси у печах подового типу, але у ньому не використовується попереднє відновлення. У процесі використовується руда і відходи оксидів. Повідомляється, що споживання вугілля становить 900 – 1 200 кг/т.

Статус

На пілотній установці на Новолипецькому металургійному заводі із продуктивністю 500 – 1 000 т/добу вироблено 300 000 т чавуну на рік. Було оголошено про плани на отримання 350 000 метричних т на рік.

Екологічні аспекти

Оскільки не потрібні коксова піч, аглофабрика або установка для отримання окатишів, можна очікувати значного зниження викидів порівняно зі звичайною технологією виплавки чавуну. Споживання енергії на тонну рідкого металу також має бути нижче.

Довідкова література

[44, Фройхан, 1994] [65, InfoMil, 1997]

Два інших процеси рідкофазного відновлення, які слід коротко описати включають:

- процес PLASMAMELT
- процес AUSMELT.

Процес PLASMASMELT

У процесах рідкофазного відновлення на основі плазми реакції мають місце у заповненій коксом шахтній печі з фурмами, розташованими симетрично навколо нижньої частини печі. Шахта повністю заповнюється коксом. Плазмові генератори та обладнання для вдування оксидів металів, змішаних зі шлакоутворюючим матеріалом і, можливо, відновлювачами, прикріплені до фурм. Перед кожною фурмою всередині стовпу коксу утворюється порожнина, в якій відбувається відновлення і топлення. Через регулярні інтервали шлак і метал, що утворюються, випускаються з горну шахтної печі. У разі топлення залізної руди можна використовувати гази з печі, що здебільшого складаються з монооксиду вуглецю і водню, для попереднього відновлення руди. В інших застосуваннях процесу, таких як утилізація легованих металів із пилу рукавних фільтрів, газ, що утворюється, утилізується як паливний газ.

Якщо у сировинному матеріалі містяться метали з високим тиском парів, наприклад цинк і свинець, ці метали залишають піч із відхідними газами, які потім проходять через конденсатор, в якому метали утилізуються з газу [383, EIPPCB, 2006].

Процес AUSMELT

Процес Ausmelt був розроблений компанією Ausmelt Ltd. Австралія. Шматкова руда або рудний дріб'язок безперервно подається до конвертеру разом із кусковим вугіллям і флюсом. Вугільний дріб'язок, кисень і повітря вдуваються, що дає змогу проводити занурювальне спалювання. Ступінь окислення і відновлення контролюються за допомогою коригування співвідношення повітря до палива, а також частки вугільного дріб'язку, що вдувається через фурму. Всі реакції завершуються в одному реакторі.

10.3 Порівняння звичайного режиму плавлення в доменній печі з прямим відновленням та рідкофазним відновленням

Основні екологічні переваги, що повідомляються, для прямого відновлення (DR) і рідкофазного відновлення (SR) пов'язані з тим, що ці процеси можна здійснювати без коксу або агломерату. Ці процеси можуть допомогти запобігти використанню необов'язкових коксувальних печей і агломераційних машин, які потенційно мають значний вплив на навколишнє середовище.

Викиди від відновлювальних установок зазвичай бувають низькими, а концентрація твердих частинок у викидах у навколишнє повітря після очищення складає близько 10 мг/м³. Очищення зазвичай проводиться із використанням мокрої технології, яка призводить до потоку стічних вод, хоча можна спробувати провести рециклінг цієї води або перейти до сухого очищення. Якщо процеси DR або SR пов'язані із використанням окатишів на основі заліза або агломерату, тоді викиди, пов'язані із переробленням цих матеріалів, також слід розглянути під час порівняння екологічних показників різних процесів виплавки чавуну.

У табл. 10.6 наведено порівнювання звичайної технології доменного процесу із технологіями DR і SR.

Таблиця 10.6: Порівняння звичайного режиму плавлення в доменній печі з прямим відновленням та рідкофазним відновленням

Особливості	Традиційне доменне плавлення ⁽¹⁾	Пряме відновлення (DR)	Рідкофазне відновлення (SR)
Масштаб виробництва	Давно усталені, такі, що володіють високою і ресурсною ефективністю технологічні агрегати з продуктивністю гарячого чавуну від 2 до 4,77 млн т/рік і більше. До цього часу це основна технологія для виробництва чавуну, на яку припадає 95 % світового виробництва чавуну	На процеси на основі газу із встановлених DR припадає велика частина потужностей у всьому світі, і 63 % цих потужностей використовують технологію MIDREX. Такі процеси зараз мають максимальну продуктивність одного агрегату 1,76 млн т/рік. DRI зазвичай використовується як заміна брухту для EAF. Процеси DRI відрізняються доволі низькою продуктивністю порівняно із доменними печами, і зазвичай вони встановлюються, використовуючи переваги місцевих факторів, таких як дуже низькі витрати на енергію та/або залізну руду.	SR менш розповсюджене. Тільки процес Corex/Finex комерціалізований. Зараз встановлена виробнича потужність становить близько 7,45 млн т/рік (8 об'єктів)
Вихідна сировина	Вугілля <ul style="list-style-type: none"> Для виробництва коксу потрібне коксівне вугілля Потрібні коксовий дріб'язок і антрацит (коли використовується) Вугілля для вдування у доменну піч (може бути некоксівне вугілля) Паливо, що вдувається у доменну піч Окрім вугілля, нафтопродукти (наприклад, відпрацьовані масла), природний газ і пластмаси вдуваються у доменну піч Металева частина Широкий діапазон сировини різної якості й технічних умов може використовуватися	Вугілля (коли використовується для меншості процесів) <ul style="list-style-type: none"> Широкий діапазон твердих палив від антрациту до бурого вугілля, включаючи деревне вугілля (обертвові/трубчасті печі) Газ <ul style="list-style-type: none"> Вміст сірки у газі має бути низьким задля запобігання отруєнню каталізатора реформеру і досягнення високої якості продукту Металева частина <ul style="list-style-type: none"> Оскільки у процесі не відбувається зміна фізичного складу, потрібні окатиші і шматкова руда високої якості 	Вугілля <ul style="list-style-type: none"> Не коксівне вугілля, вимоги до технічних умов більш гнучкі, ніж для доменного процесу Металева частина <ul style="list-style-type: none"> Шматкова руда і рудний дріб'язок, агломерат або окатиші Кисень <ul style="list-style-type: none"> Потрібні великі кількості кисню для процесу Corex (з відповідними енергетичними наслідками)
Потреба в енергії	Зазвичай 17 – 18 ГДж/т рідкого чавуну (менше газу, пари та вуглецеві кредити на викид діоксиду вуглецю)	Зазвичай 10,5 – 14,5 ГДж/т твердого DRI (на основі газу) з припущення 100 % використання великої руди (потрібно додаткова енергія для плавлення і окатишів, якщо вони використовуються)	Важко кількісно визначити ефективність процесу, і вона залежить від кредиту, який надається для енергії, що експортується або виробництва більшої кількості DRI за допомогою процесів DRI на основі газу
Якість продукту	Стабільна і надійна якість	У продукту є схильність до повторного окислення, якщо тільки не проводиться пасивування або брикетування. Якість значною мірою залежить від якості шихти	Ідентичне із чавуном з доменної печі

Особливості	Традиційне доменне плавлення ⁽¹⁾	Пряме відновлення (DR)	Рідкофазне відновлення (SR)
Екологічні показники	<p>Викиди у навколишнє середовище включають пил, ЛОС, ПАН і різноманітні органічні хімікати з коксових печей. На агломераційних установках виділяються SO₂, NO_x, пил, ЛОС, PCB, PCDD/F і ПАН (див. табл. 4.1), у той час як у випадку доменних печей відбуваються викиди пилу і SO₂ від ливарного двору (див. табл. 6.4 – 6.6). У процесі використовується також велика кількість води. Однак у процесі передбачаються можливості для рециклінгу різних твердих відходів/побічних продуктів, які не повинні бути у багатьох процесах DRI. Здатність до десульфурації доменної печі також дає можливість використати палива і відновники із підвищеним вмістом сірки екологічно нешкідливими способами. Доменний шлак можна використовувати для дорожнього будівництва або гранулювати для виробництва цементу. Побічні продукти повинні мати екологічні переваги, оскільки при цьому знижується потреба у первинних наповнювачах.</p> <p>Важливо нагадати, що традиційний доменний процес передбачає можливості для рециклінгу та розміщення залізвмісних матеріалів, відфільтрованих осадів і масел від наступного виробництва сталі за технологічним ланцюжком, які можуть не з'являтися у багатьох відновлювальних процесах. Традиційна технологія також дає можливість використання широкого набору сировини і відновників різної якості.</p>	<p>Оскільки у більшості DR процесів використовуються окатиші, на навколишнє середовище впливають викиди від процесу отримання окатишів, які слід враховувати.</p> <p>У продукті DRI зазвичай міститься 2 – 4 % порожньої породи, і потрібна додаткова енергія для переробки, також слід враховувати додаткові викиди у навколишнє середовище. Пил, що виділяється, подібний до того пилу, який характерний для доменної печі, оскільки сировинні матеріали просіюються перед переробкою. Існує необхідність у забезпеченні екологічно задовільного маршруту для утилізації рудного дріб'язку, якщо DRI є заміною традиційної виплавки чавуну. Оксиди азоту виділяються на стадії реформінгу газу. У найуспішніших процесах DR використовується природний газ, хоча вугілля залишається найбільшим джерелом енергії, доступним для людини. З погляду сталого розвитку слід враховувати, що газ повинен бути у резерві для виробництва продуктів високої якості.</p> <p>Розподіл із коксувальними печами запобігає викидам у повітря пилу і ЛОС від печей і різноманітних органічних хімікатів від установок для переробки побічних продуктів. Викиди від процесів рафінування коксохімічного виробництва у вигляді нафтопродуктів і смол також повинні бути виключені. Окрім того, використовуються великі обсяги води у процесі, яку необхідно економити. За виключення агломераційних установок знижуються викиди у повітря металевого/неметалевого пилу і газоподібних забруднювачів, таких як діоксин сірки. Більша частина доменних печей зараз має ливарний двір із уловлюванням диму і безконусні системи завантаження, і тому їхні екологічні показники повинні бути порівняні з викидами відвідновлювальних установок з еквівалентними системами.</p>	<p>У деяких процесах SR потрібно утилізувати великі кількості відхідних газів.</p> <p>Окрім того, потреби в енергії для SR і викиди CO₂ більші ніж у випадку доменної печі. Існує необхідність у забезпеченні екологічно сприятливого шляху для утилізації дрібних фракцій, якщо SR використовується для заміни традиційного доменного процесу.</p>

Особливості	Традиційне доменне плавлення ⁽¹⁾	Пряме відновлення (DR)	Рідкофазне відновлення (SR)
Міжсередовищні наслідки (взаємодії між середовищами)		Оскільки в DR не відбувається зміна фізичного стану або відокремлення хімічних домішок, якість продукту повністю залежить від якості сировини. Те, що виробляється DRI, не може мати якість, еквівалентну якості чавуну в доменних печах, якщо використовується сировина низької якості. Для обліку екологічних цілей необхідно, щоб DRI було у розтопленому вигляді для безпосереднього порівняння із чавуном із доменної печі. Потреба у додатковій енергії та викиди, пов'язані з цією зміною фізичного стану необхідно враховувати.	Враховуючи процеси рідкофазного відновлення, Cogex виробляє великі обсяги верхніх газів, і енергоефективність буде низькою, якщо газ не використовується для виробництва електроенергії або не використовується для отримання більшої кількості губчатого заліза. Споживання вугілля і потреба у кисні вище ніж для доменної печі, і викиди діоксиду вуглецю значно вище. Слід враховувати оксиди азоту від реформінгу газу як для SR, так і для DR.
Витрати на установку (орієнтовні)	1150 млн євро за 3,3 млн т/рік (включаючи витрати на агломераційну установку і коксові печі)	210 млн євро за 1,36 млн т/рік (припускаючи доступність відповідних окатишів або кускової руди)	240 млн євро за 0,6 млн т/рік), включаючи витрати на кисневий блок і передбачаючи роботу з кусковою рудою).
⁽¹⁾ Коксова піч, агломераційна установка, доменна піч. Джерело: [200, Єврокомісія, 2001] [260, Німеччина, 2007] [.312, д-р. Мікаель Дегнер та ін., 2008]			

11 НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Під терміном «нові технології» в цьому довідковому документі розуміють інноваційні технології, які ще не застосовуються в промисловому масштабі у будь-якому секторі промисловості. У цьому розділі містяться відомості щодо тих технологій, які можуть з'явитися в найближчому майбутньому, і які можуть застосовуватися до сектору виробництва чавуну і сталі. Наприклад, у цьому розділі:

- ідентифікуються будь-які нові технології запобігання і контролю забруднень, які відповідно до наданих даних знаходяться на стадії розроблення і можуть в майбутньому принести економічні та екологічні переваги
- включені технології, направлені на вирішення екологічних проблем, які тільки нещодавно почали розглядатися в галузі
- не включені відомі технології з інших секторів, які можуть з'явитися в цьому секторі.

Що стосується цього конкретного сектору, то Європейський Союз виконував (понад 50 років) і продовжує виконувати масштабні програми досліджень і розробок для розвитку сектору. Деякі проекти, описані в цьому розділі, фінансуються в рамках таких програм.

11.1 Загальні нові технології

11.1.1 Стратегії зниження викидів діоксиду вуглецю (проект ULCOS)

[378, Eurofer, 2007], [250, Єврокомісія (ЕС), 2006]

Безумовно, зважаючи на те, що CO₂, який утворюється в момент, коли споживається енергія, є парниковим газом (ПГ), основні зміни для зниження викидів діоксиду вуглецю пов'язані з економією енергії, і зараз вони вважаються частиною вирішення проблеми глобального потепління, яка за масштабом є глобальною екологічною проблемою.

Як згадувалося в доповіді IPCC (Міжурядового комітету зі зміни клімату), немає одного єдиного вибору для ослаблення зміни клімату. Рішення радше полягає в наборі дій з ослаблення цієї зміни з метою стабілізації концентрації парникових газів в атмосферному повітрі.

Насправді, в минулому був досягнутий значний прогрес, і проста екстраполяція нинішніх технологій залишає мало можливостей для різких нових знижень викидів.

Для подолання цих реальних складнощів слід розглянути нові, проривні технології, яким приділялося мало уваги в минулому, оскільки вони не належали до економічної технологічної парадигми того часу. При розгляді питання змін метою повинно бути зниження викидів ПГ, а не просто економія енергії; коли велика частина зекономленої енергії накопичувалася, як у випадку більшості провідних компаній в секторі чорної металургії, викиди вуглецю і енергію необхідно відокремити для продовження зниження викидів.

Програма ULCOS спрямована на виробництво сталі з наднизькими викидами діоксиду вуглецю (ультранизьковуглецеве виробництво сталі). Це своєрідна угода 48 європейських компаній та організацій з 15 європейських країн, які приступили до виконання спільної ініціативи в галузі досліджень і розробок, спрямованих на досягнення можливості для різкого зниження викидів діоксиду вуглецю (CO₂) в секторі виробництва сталі. До програми приєднались всі основні компанії в цьому секторі ЄС, партнери в галузі енергетики та інжинірингу, науково-дослідні інститути та університети, і вона підтримується Європейською Комісією.

Мета проекту полягає в зниженні викидів діоксиду вуглецю (CO_2) за допомогою найновіших технологій принаймні на 50 %. Загальний бюджет проекту склав 47 млн євро (2004 – 2009 роки). Проект націлений на період за межами 2015 року з деякими повномасштабними впровадженнями в промисловому виробництві.

Зусилля проекту зосереджені на трьох напрямках досліджень:

- уловлювання та зберігання CO_2 з додатковим транспортуванням і зберіганням
- використання енергії та відновлювальних агентів не на основі вуглецю, а саме водню і електроенергії, а також меншою мірою природного газу
- використання стійкої біомаси, наприклад вирощеної на плантаціях евкаліптів.

Всі ці проблеми інтенсивно досліджувалися в рамках європейського проекту ULCOS і в більш загальному сенсі в інших програмах у світі.

11.1.1.1 Доменна піч із рециклінгом колошникового газу

Концепція рециклінгу (рециркуляції) колошникового газу в доменній печі (TGR-BF) ґрунтується на поділі відхідних газів (доменного газу) так, щоб корисні компоненти можна було повернути до печі та використовувати як відновлювальний агент. Це має привести до зниження кількості коксу, необхідного в печі (див. Концепцію доменної печі з рециклінгом колошникового газу, згідно з оптимізацією в рамках проекту ULCOS, на рис. 11.1). Окрім того, концепція вдування кисню (O_2) в піч замість гарячого повітря ґрунтується на видаленні небажаного азоту (N_2) з газу, що полегшує вловлювання і зберігання діоксиду вуглецю (CO_2) (УЗВ або CCS, див. п. 10.1.2).

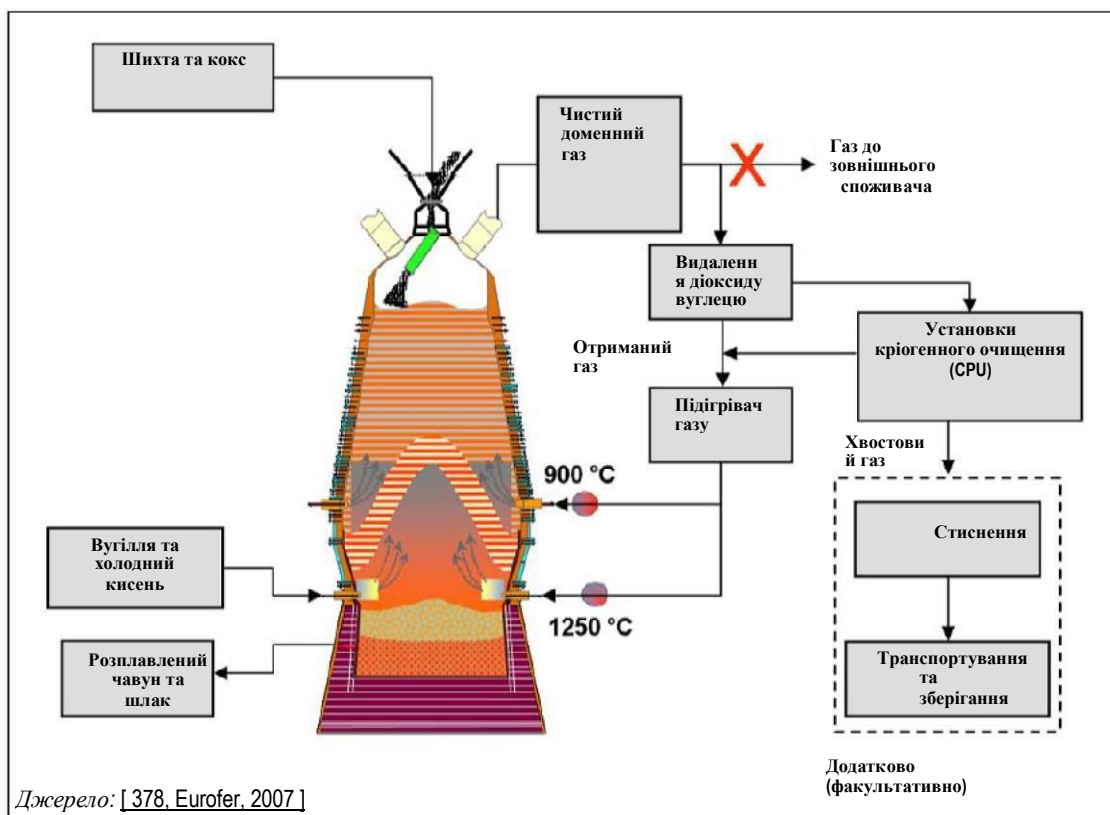


Рис. 11.1. Схема рециклінгу колошникового газу доменної печі для мінімізації викидів ПГ з уловлюванням і додатковим зберіганням CO_2

Для експериментальної перевірки цієї концепції була побудована установка для сепарації газу поруч з експериментальною доменною піччю в науково-дослідному інституті Mefos, у Швеції. На експериментальній доменній печі було встановлено обладнання для роботи з чистим киснем і з повторним вдуванням монооксиду вуглецю. Комбінація з модифікованою доменною печі та установки для сепарації газу була успішно перевірена в 2007 році.

Навіть без CCS концепція TGR-BF приводить до суттєвого зниження викидів CO₂, що здебільшого пов'язане зі зниженим споживанням коксу (приблизно на 25 % нижче на тонну розплавленого чавуну). У зв'язку з тим, що рециклінг колошникового газу знижує надлишок цього газу, який є в наявності для виробництва енергії, і, отже, ця кількість енергії має вироблятися з інших джерел, загальна економія CO₂ буде нижче ніж 25 %, але вона все ще буде перебувати в діапазоні 10 – 20 % (залежно від суміші палив, що використовуються).

Під час написання цього довідкового документа (2010 рік) були складені плани для перевірки технології в доменній печі в промисловому масштабі. Ця частина має відбутися на наступній стадії проекту ULCOS, для якої потрібні початкові дослідження для науково-дослідних робіт вартістю у декілька сотень млн євро.

На другій стадії уловлений CO₂ стискається і транспортується для зберігання до геологічних формацій, таких як родовища нафти і природного газу, непридатні для вилучення вугільні пласти і глибокі соленосні формації (депонування CO₂), в природних карбонатах або для використання у промислових процесах.

11.1.1.2 Палива з низьким вмістом вуглецю та відновлювальні агенти

Заміна вуглецю воднем або електроенергією є значним викликом, адже водень і електроенергія є енергоносіями, які повинні вироблятися з інших палив.

До теперішнього часу це було причиною, чому електроенергія була дорожче, ніж вугілля, газ або нафта. Причина також і в тому, що було проведено мало робіт з такої теми, як виробництво чавуну за допомогою електролізу залізної руди в основних дослідженнях та розробках у сфері виробництва сталі.

У майбутньому картина може повністю змінитися. Та й справді, вуглецеві обмеження, викликані політикою в рамках Кіотського протоколу та після нього, повинні змінити цінову структуру палив. Наприклад, у вуглецю повинен з'явитися додатковий цінник у зв'язку з необхідністю вловлювання та зберігання CO₂. Внаслідок того, що для виробництва кожної кВт-год потрібно 1 000 г вуглецю, до витрат на вартість 1 МВт-год необхідно додати від 20 до 80 євро, і це повинно бути помітно щодо нинішньої ціни за електроенергію для промисловості, яка змінюється в діапазоні від 5 до 80 євро/МВт-год по всьому світу. Електроенергія не на основі вуглецю не повинна нести цього додаткового навантаження, і має, в такий спосіб, за умови постійності всіх факторів (*mutatis mutandis*), замінити пряме використання вуглецю. Це, ймовірно, має різко змінити цінову структуру енергії. Подібні розрахунки такого ж порядку мають показати, що чорна металургія може використовувати велику кількість водню. Якби він був доступний у великих кількостях за справедливою ціною, на паритетних засадах із транспортним сектором, то останній перейшов би на використання водню в автомобілях з паливними елементами.

У таких нових економічних умовах попереднє відновлення залізної руди воднем має стати обґрунтованою пропозицією, особливо в зв'язку з тим, що перехід від природного газу до водню досить простий з технічного погляду. У подібний спосіб, електроліз залізної руди є реальною можливістю з погляду фізики.

Це навіть обґрунтовано тим, що така технологія повинна бути «легшою», з термодинамічного погляду, аніж електроліз алюмінію.

Електроліз залізної руди повинен за помірною оцінкою вимагати 4,5 МВт-год/т чавуну, або 16,2 ГДж/т, і це значення тієї ж самої величини, що й енергоемність сучасного стану гарячого вальцювання (прокатки). Для виробництва 1 млн т сталі на рік необхідно 0,514 ГВт електроенергії, а тому виробництво, еквівалентне підприємству, що працює на власній сировині (4 млн т/рік), ймовірно, потребуватиме спеціальної електростанції.

Якщо використовувати звичайну електростанцію, що працює на вугіллі (1 000 г CO₂ на 1 кВт-год), то вона стане джерелом викидів 4,5 т CO₂ на тонну сталі, що приблизно в 3 рази більше показника для сучасної доменної печі. Однак, якщо електроенергія буде вироблятися без викидів CO₂, то на тонну сталі буде утворюватися тільки 27 г CO₂ на тонну сталі. У зв'язку з тим, що після Кіото технологія електростанцій в майбутньому буде змінюватися, ці дані, принаймні ті, які стосуються вугільних електростанцій, будуть знижуватися в міру впровадження концепцій когенерації та CCS, таких як технологія для комбінованого циклу комплексної газифікації. У довготривалій перспективі електроенергія потенційно стане потужним гравцем, за умови, що можна гарантувати низьку вуглецевоемність, і що ціни будуть залишатися порівнянними з цінами на сталь.

Електроліз води є сучасною технологією, коли електроліз проводиться в рідкому стані. Установки для електролізу виробляють зазвичай 200 нм³/год водню, і тому 600 таких установок будуть необхідні для живлення установки DRI з продуктивністю 1 млн т/рік (на рівні 1050 нм³ H₂/т DRI). Потреба в електроенергії повинна скласти 4,85 МВт-год/т сталі (включаючи плавку в EAF) та 4 800 ГВт-год/рік для 1 млн т сталі.

11.1.1.3 Біомаса

І, нарешті, повинна бути також розглянута потреба в стійкій біомасі як альтернативі для зниження викидів CO₂. Це повинно стати цікавим історичним поворотом, адже сталь тисячу років виготовляли з біомаси, але це виробництво не було сталим після початку індустріалізації, а вугілля стало грізним конкурентом дрів та деревного вугілля. Стале лісокористування, однак, зараз стає реальністю, що підтверджено міжнародними органами сертифікації, такими як Лісова наглядова рада (FSC). Крім того, лісові біологи та екологи почали демонструвати, що стійке насадження лісових плантацій для зменшення вмісту вуглецю в атмосфері, й справді, може забезпечити нейтральність з погляду накопичення ПГ в атмосферному повітрі.

Останнє, але не менш важливе, облік земель, які можуть бути надані для вирощування енергетичних культур, здається, підтверджує, що є чіткі можливості насадження більшої кількості плантацій, і це дасть певний внесок у світове виробництво сталі. Цьому необхідно приділити серйозну увагу, і необхідна додаткова робота в рамках проекту ULCOS.

11.1.2 Уловлювання і зберігання CO₂

Опис

Одним із варіантів для зниження викидів CO₂ є уловлювання і зберігання вуглецю (УЗВ або CCS), яке розглядається як нова технологія з певним потенціалом для послаблення зміни клімату протягом декількох десятиліть. Зараз проводяться розроблення для застосування енергії у виробництві та у вуглецевоемних галузях промисловості, таких, наприклад, як чорна металургія.

CCS – це послідовність процесів, що складається з трьох послідовних стадій:

- a) уловлювання: відділення CO₂ від відхідних газів або потоку промислового газу
- b) транспортування: відокремлений CO₂ стискається до рідкого або надкритичного стану і транспортується на місце зберігання
- c) зберігання у геологічних формаціях.

Що стосується стадії уловлювання (a), то кілька процесів уловлювання знаходяться на стадії досліджень і розроблень. Інші процеси застосовувалися протягом десятиліть, але зараз немає стандартних установок, які довели б їх придатність. До теперішнього часу переважно застосовувалися процеси хімічної та фізичної абсорбції для видалення CO₂ під час виробництва природного газу. Різниця в тому, що є й інші види у газах, які одержуються в процесах окислення, такі як NO_x, SO_x, O₂ тощо, що призводить до технологічних проблем, таких як високе споживання розчинників внаслідок окислювальної деградації. Все ще є необхідність в подальшому розробленні процесів уловлювання, особливо для зниження значного споживання енергії для процесів уловлювання.

Що стосується стадії транспортування (b), то воно проводиться у стиснутому (рідкому або надкритичному) стані, наприклад по трубопроводах, або, для одиничних варіантів застосування, за допомогою суден. Автомобільний транспорт не застосовується внаслідок характерної для нього високої потреби в енергії, а також через міркування безпеки.

Що стосується стадії зберігання (c), то CO₂ в надкритичному стані зберігається в прибережних або морських геологічних формаціях, наприклад у родовищах нафти і природного газу, відпрацьованих вугільних шахтах або мінералізованих водоносних пластах. Зберігання в товщі морської води або на дні моря заборонене Конвенцією OSPAR (Конвенція з охорони морського навколишнього середовища Північно-Східної Атлантики). Директива 2009/31/ЄС (Директива Європейського Парламенту та Ради від 23 квітня 2009 року про підземне зберігання діоксиду вуглецю) також надає можливість вдування діоксиду вуглецю у родовища природного газу або нафти, що все ще знаходяться в експлуатації (видобуток вуглеводнів вдосконаленими методами – EHR).

CCS в чорній металургії

Можливим рішенням для уловлювання CO₂ в чорній металургії може стати використання кисню замість повітря для газифікації вуглецю в доменному процесі, зокрема технології PSA/VPSA (короткоцикловий адсорбційний поділ газів) для сепарації CO і CO₂ від доменного газу і вдування CO, що утворюється. Цей процес називається рециклінг колошникового газу в доменній печі (TGR-BF), і зараз він досліджується європейською чорною металургією в рамках проекту ULCOS [180, N.N., 2008]

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Викиди CO₂ значно знижуються, коли відокремлений CO₂ можна зберігати в геологічних формаціях.

Міжсередовищні наслідки

Уловлювання та зберігання CO₂ значно підвищує потреби в енергії (особливо для уловлювання і стиснення), що зазвичай призводить до зростання викидів CO₂ та інших забруднювачів повітря (наприклад, NO_x). Кількість уловленого CO₂ (або того, появу якого вдалося попередити) являє собою різницю між варіантами із застосуванням і без застосування технології.

Зберігання CO₂ проводиться протягом декількох десятиліть, переважно в рамках видобутку нафти вдосконаленими методами (EOR) в США та у випадку прибережного або морського зберігання, наприклад шельфове нафтогазове родовище Слейпнер у Норвегії. У цих проєктах CO₂ та інші види, які отримують під час очищення природного газу/нафти, знову вдуваються в нафтогазове родовище так, що не очікується хімічної взаємодії з породою, що покриває його площу. CO₂, отриманий в інших процесах, може містити велику різноманітність видів, які не перебували раніше в контакті з породою, що покриває площу родовища. Можливі взаємодії цих забруднювачів із потоку CO₂ із породою, що покриває площу родовища, слід досліджувати додатково.

Зберігання CO₂ в горизонті солоних вод є новим і невідомим застосуванням, і його довготривалий вплив на якість ґрунтових вод тощо все ще слід дослідити.

Вимоги якості щодо чистоти CO₂ і допустимих кількостей його або інших видів, наявних у потоці CO₂, були визначені, зокрема в рамках проєкту DYNAMIC [181, Вангкільде-Педерсен та ін., 2007] (технологія виробництва водню з різних видів сировини, включаючи газ). Застосування цієї технології ще повинне бути доведене на практиці.

Необхідні технології моніторингу для обстеження ділянок зберігання з погляду їх цілісності й витоків/виходу CO₂ з ділянки зберігання.

Транспортування CO₂ є основною проблемою з погляду безпеки для людини і навколишнього середовища.

Експлуатаційні дані

Відповідно до даних Міжнародного енергетичного агентства (IEA) та результатів експериментальних випробувань на доменній печі, вловлювання та зберігання CO₂, коли воно застосовується до основного процесу в доменній печі, то може сприяти загальному зниженню викидів до 75 %.

Уловлювання CO₂, що залишається від неосновних процесів, таких як коксові печі, агломераційні установки, кисневі конвертери і вальцювальні стани, можна досягти тільки при значно вищих витратах.

Можливість застосування

На основі результатів перших випробувань з експериментальної доменної печі, CO₂ з доменних печей можна видаляти за допомогою перекоструювання доменної печі для використання кисню і видалення CO₂ з використанням фізичних абсорбентів. Необхідні додаткові випробування для перевірки цієї технології та застосування процесу для масштабування щодо експлуатації в доменній печі.

Економічні дані

У доповіді IPCC представлений діапазон витрат з уловлювання CO₂ від 25 до 115 дол. США (2002 рік) для промислового сектору. Цей широкий діапазон відображає, з одного боку, різноманітність використовуваних технологій, та, з іншого боку, відображає відсутність досвіду з цією технологією. Тому, ці опубліковані дані, слід вважати тільки грубою оцінкою і вважати, що вони представляють лише один сценарій серед інших можливих сценаріїв. Внаслідок проведених зусиль в галузі досліджень і розроблень ці нинішні економічні витрати можуть бути знижені, принаймні, протягом наступних десяти років. Однак залишається багато невизначеностей щодо витрат у промисловому секторі, таких як чорна металургія, внаслідок недостатнього досвіду в уловлюванні.

Додатковими витратами під час уловлювання є витрати на транспортування (1 – 8 дол./т CO₂, що транспортується на відстань 250 км (2002 рік), і витрати на зберігання в геологічних формаціях (0,5 – 29 дол./т CO₂) (2002 рік).

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Жодних даних не надано.

Довідкова література

[179, Метц та ін., 2005] [180, N.N., 2008] [181, Вангкільде-Педерсен та ін., 2007]

11.1.3 Керамічні фільтри для зниження викидів твердих частинок і оксидів азоту в газових потоках

Опис

У системі сухого очищення відхідних газів використовуються керамічні фільтри. Вони проєктуються для комбінованої фільтрації і реакції SCR в одній установці з використанням каталітичного фільтра. Ці фільтри дають можливість використовувати високий енерговміст газу, а також запобігати засміченню каталізатора (оксидів Ti, V і W). Крім того, об'єднання двох установок в одну знижує витрати на обробку, а також капітальні витрати і витрати на обслуговування.

Керамічні елементи фільтра для гарячих газів із мембраною з тонким зовнішнім шаром і каталізатор, інтегрований з опорною конструкцією елементів фільтра, можна використовувати для досягнення ефективного видалення твердих частинок, а також ефективного видалення NO_x. Використання цих елементів фільтра забезпечує можливість об'єднання фільтра і реактора SCR в одній установці. Крім того, роботу інтегрованого каталітичного шару можна налаштувати так, щоб була можливість не тільки каталітичного видалення оксидів азоту, але також і каталітичного окислення легких органічних сполук (ЛОС).

Забруднюючі речовини SO₂ та HCl видаляються за допомогою використання, наприклад, бікарбонату натрію (NaHCO₃) або гідроксиду кальцію (Ca(OH)₂) як сорбентів, в той час як NO_x каталітично перетворюються з NH₃ та O₂ у N₂ та O₂ при проходженні через фільтруючі елементи каталізатора.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Попередні результати з очищення від оксидів азоту показали ефективність 83 – 98 % (NO на вході 500 – 1 720 ppm за температури від 140 до 360 °C). За умови вдування бікарбонату натрію ступінь видалення SO_x досягав 99 %. Ефективність фільтрації зазвичай вище 99,99 %.

Міжсередовищні наслідки

Утворення N₂O не виявлено.

Експлуатаційні дані

Ця система має простішу структуру установки порівняно з процесом мокрого очищення, і вона, як правило, менше. Система може працювати за високих температур (до 500 °C).

Можливість застосування

Особливо доцільне застосування для установок невеликого і середнього розміру.

Економічні дані

Капітальні, експлуатаційні витрати і витрати на обслуговування, а також виробничі витрати нижче ніж для багатостадійної мокрої системи очищення відхідних газів. Крім того, система сухого очищення дає змогу обійтися без утворення стічних вод у процесі очищення газу.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Технологія була випробувана в Іспанії на електростанції на біомасі з потужністю 3,5 МВ_{терм.}

Довідкова література

[377, Хайденрайх та ін., 2007] [381, Палл, 2006]

11.1.4 Спалювання і рециклінг сухого вловленого пилу

Опис

Ця технологія призначена для обробки сухого пилу на металургійних заводах із повним циклом, наприклад пилу в доменному і конвертерному газі пірометалургійним способом у спеціальному реакторі. При її використанні леткі та небезпечні метали та сполуки можна видалити і отримати фракцію з високим вмістом заліза. У цьому випадку реактор має циліндричну або овальну форму з довжиною 4,5 м, шириною 2,8 м і висотою 3,1 м. Пил переноситься в реактор азотом. Після потрапляння в реактор вуглець у пилу (до 30 %) та додатковий пропан використовуються як паливо для кисневого пальника, що створює адіабатичну температуру горіння 2 200 – 2 350 °С. За цієї температури пил плавиться, і утворюються краплі рідкого шлаку, який зливається через кожні 2 – 3 год. На цей залізовмісний шлак припадає приблизно 80 % сировини, що надходить у реактор, яку можна повернути до процесу доменної плавки з використанням цінного заліза. Відхідні газу направляються до камери допалювання для подальшого окислення металів та органічних сполук. Пил відокремлюється в касетному фільтрі, а його кількість становить приблизно 20 % від загальної кількості, що надходить.

Основними елементами обладнання є:

- Система транспортування пилу
- Система зберігання пилу
- Пристрій для зважування пилу
- Пневматична система транспортування пилу до реактора
- Реактор, оснащений кисневим пальником та льоткою
- Камера допалювання і система охолодження для відхідних газів
- Касетний фільтр
- Додатковий пристрій для вимірювань і контролю процесу.

Продуктивність пілотної установки з переробки пилу становить, як максимум, 20 тис. У разі фінської компанії Ovako, завод Ковергар, основними видами є доменний і конвертерний пил. Загальна кількість пилу, що переробляється, становить 20 000 т на рік, що відповідає максимальній продуктивності установки.

Продукт, який надходить в реактор, складається приблизно з 50 % Fe у вигляді FeO/Fe₃O₄. Вміст цинку зазвичай становить 0,1 – 0,2 %, а вміст K₂O – 0,5 – 1,0 %. Продукт підходить для повернення до доменної печі.

Кількість пилу в касетному фільтрі становить 15 – 20 % від пилу, що надходить. Вміст цинку в цьому пилові становить приблизно 10 %, а вміст лужних компонентів (K₂O + Na₂O) становить 20 – 30 %. Цей пил спрямовується зовнішній компанії.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Пил доменних печей класифікується як проблемний пил. Пил від конвертерів викликає серйозні небезпеки для навколишнього середовища, але є можливість направити його до відповідного складу продукції.

Після збільшення масштабу весь пил металургійного заводу з повним циклом можна переробити на цій установці. Кількість пилу, що направляється на полігон, знижується приблизно на 80 %. За допомогою пірометалургійної обробки і камери допалювання пил, призначений для депонування на полігоні, може розглядатися як менш небезпечний.

Викиди після касетного фільтра менше 5 мг/м³.

Енергоефективність процесу висока, оскільки необхідність у зовнішній енергії мінімальна. (Вміст вуглецю в доменному пилові становить 20 – 30 %).

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

В принципі, металургія процесу працює добре, але необхідна додаткова робота з обладнанням.

Можливість застосування

Очікується, що можливість застосування процесу для поводження з сухим пилом висока. Основною метою розроблення цієї технології була обробка пилу доменних печей і кисневих конвертерів, але можна припускати, що система придатна для переробки широкого діапазону залишків металургійного виробництва.

Економічні дані

Поводження з пилом зовнішньою компанією обходиться дорожче порівняно з поводженням з пилом за місцем появи, особливо, коли використовується вся продуктивність установки.

Стимули для впровадження

Стимули або мотивація для впровадження включає:

- Значне поліпшення екологічних показників
- Економію загальних витрат
- Можливість конструкторських розроблень.

Приклади установок

компанія Ovaako, завод Ковергар, Фінляндія.

Довідкова література

[208, Ліндфорс та ін., 2006]

11.2 Нові технології для агломераційних установок

11.2.1 Використання пластиків, просочених вугіллям, для адсорбції PCDD/F

Опис

Пластик широко використовується у будівництві обладнання для очищення відхідних газів внаслідок його високої стійкості до корозії. PCDD/F адсорбуються на пластику (полімери, що містять частинки вуглецю), і ця процедура здійснюється зазвичай після обробки відходів (наприклад, мокрих скрубєрів).

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Для сектору спалювання відходів повідомляються такі результати: за концентрації на вході 6 – 10 нг I-TEQ/нм³ ефективність видалення у газовій фазі перебуває у діапазоні 60 – 75 % під час використання мокрого скрубєра. За відсутності пластика, просоченого вугіллям, ця ефективність складає 0 – 4 %. Повідомляється, що ефективність адсорбції не знижувалася протягом періоду випробувань (один рік). Використання сухої системи замість мокрого скрубєра допомогло досягти високої ефективності видалення (понад 97 % в одному випробуванні протягом дев'яти місяців), оскільки водяна плівка у мокрому скрубєрі стає причиною обмеження масопереносу для PCDD/F.

Міжсередовищні наслідки

Адсорбційний матеріал стає просоченим після певного періоду часу. Тому матеріал, що завантажується, можна періодично видаляти для розміщення, або у випадку можливого дозволу, спалювати у печі.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Використання пластика, просоченого вуглецем, застосовується у секторі спалювання відходів, але це ще не застосовується у секторі чорної металургії. Технологія може також використовуватись у більш розповсюдженій установці з баштовою насадкою та/або у поєднанні з попереднім або наступним очищенням відхідних газів від діоксинів. Робоча температура становить 60 – 80 °С.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Мотивацією для впровадження цієї технології є придушення викидів PCDD/F для виконання вимог дозволу.

Приклади установок

Жодних даних не надано.

Довідкова література

[239, Сеттерштїг, 2006] [285, Єврокомісія (ЕС), 2006]

11.2.2 Придушення утворення PCDD/F за допомогою додавання сполук азоту до димових газів

Опис

Виходячи з припущення, що значна частина PCDD/F утворюється за допомогою синтезу *de novo* у вакуум-камерах після агломераційної стрічки, сполуки азоту, такі як триетаноламін (ТЕА) або монетаноламін (МЕА) протитечійно (протиточно) вдуваються у димові газу у вакуум-камери для пригнічення утворення PCDD/F. Аміни можна розчиняти у воді та впорскувати через сопла, встановлені у вакуум-камерах.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Вдування МЕА у газу на заводі компанії ArcelorMittal у м. Гент, Бельгія (2 – 4 % від легкої золи) не привело до зниження викидів забруднюючих речовин: викиди пилу і мікрозабруднюючих речовин у реальності зросли внаслідок поєднання ряду факторів:

- накопичення МЕА внаслідок повернення пилу від електрофільтра до шихту агломерату, що призводить до насичення активованого вугілля
- утворення амонійних солей
- липкий пил (менш сприятливі умови для видалення пилу електрофільтром протягом струшування осаджувальних пластинчастих електродів)
- низька хімічна активність МЕА щодо мікрозабруднюючих речовин за 150 °С.

Наскільки поінформовані дослідники (на основі їхнього власного тривалого досвіду і аналізу наявної літератури), немає надійного доказу будь-якого позитивного впливу МЕА на викиди з агломераційної установки.

Позитивні результати, отримані з використанням МЕА Центром металургійних досліджень (CRM) на заводі компанії ArcelorMittal у м. Гент, Бельгія, протягом 1999 і 2000 років були лише попередніми результатами, отриманими протягом дуже коротких періодів часу (вибіркові випробування), які ніколи не були підтвержені у повному масштабі протягом тривалого періоду. Лабораторні випробування, проведені університетом м. Льеж, продемонстрували, що можна очікувати ефективного зниження викидів PCDD/F, коли пил, у якому міститься PCDD/F, піддається впливу високих температур (325 – 400 °C) протягом декількох годин, але важко визначити, чи може такий підхід застосовуватися до агломераційної установки.

Міжсередовищні наслідки

Протягом випробувань велика частина МЕА адсорбувалася на тонкодисперсному пилу, відбувалося зниження його концентрації разом із пилом в електрофільтрі, і в решті-решт він повертався до агломераційної шихти. З цього приводу можна припускати, що те ж саме має відбуватися, якби МЕА додавався безпосередньо до шихти.

Експлуатаційні дані

Для досягнення вищезазначених рівнів інгібування для агломераційної установки із продуктивністю 230 т агломерату на годину, необхідно 46 кг МЕА на годину. Це еквівалентно 0,2 кг/т готового агломерату.

Можливість застосування

Технологія може застосовуватися на наявних установках, а також може в рівному ступені вводитися під час проєктування нової установки.

Економічні дані

Була зроблена оцінка, що для повного застосування процесу інгібування з використанням МЕА для агломераційної установки з продуктивністю 230 т агломерату на годину, витрати на реагенти повинні скласти 0,149 євро/т агломерату, а інвестиційні витрати повинні скласти близько 0,008 євро/т агломерату, що еквівалентно загальним витратам у 0,157 євро/т агломерату.

Стимули для впровадження

Стимулом для впровадження цієї технології є зниження викидів діоксинів.

Приклади установок

Випробування з використанням МЕА і ТЕА, розбавлених у воді, були проведені у м. Гент, Бельгія, на заводі компанії ArcelorMittal.

Довідкова література

[224, Ексруе, 2002] [230, Бруон та ін., 2001] [231, Ексруе та ін., 2002]

11.2.3 Гартування

Ще одним методом для придушення утворення PCDD/F у вакуум-камерах може стати швидке охолодження гарячих відхідних газів за допомогою вдування холодної дрібнодисперсної води у вакуум-камери. Вдування повинно знову бути якомога ближче до дна шару агломерату, для того щоб придушити утворення PCDD/F ($T < 260\text{ }^{\circ}\text{C}$) [265, Тан та ін., 2004].

11.3 Нові технології для коксових печей

11.3.1 Коксова піч підвищеної якості

[253, ICSTI 06 2006] [320, Eurofer, 2007] [343, Eurofer, 2007]

Прикладом коксової печі підвищеної якості є проєкт SCOPE 21 в Японії, з описом пілотної установки у м. Нагоя, наведеним тут. SCOPE 21 означає коксову піч підвищеної якості щодо продуктивності й поліпшення екологічних показників у 21 столітті.

Національний японський проєкт почав реалізовуватись Японською федерацією чорної металургії (JISF) з метою розроблення коксових печей нового покоління. Мета проєкту полягала у розробленні інноваційного процесу виробництва коксу, який відрізнятиметься екологічністю, енергоефективністю і високою продуктивністю.

Проєкт SCOPE 21 був завершений у 2003 році. Дослідження підтримувалися всіма основними японськими виробниками чавуну і сталі (NSC, KSC, NKK, Sumitomo Metals тощо) у співпраці з університетами. Зараз проводиться певна діяльність з погляду застосування цього процесу з реальним обладнанням.

Промисловий варіант батареї коксових печей у рамках проєкту SCOPE 21 був побудований і введений в експлуатацію у 2008 році на заводі у м. Ойта компанії Nippon Steel Corporation, Японія. Продуктивність батареї склала 1 млн т коксу на рік. Вугільна суміш підігривається до $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура відхідних газів становить $1\ 270\text{ }^{\circ}\text{C}$, а час коксування становить 13 год.

Опис

Ідея проєкту SCOPE 21 полягала в об'єднанні добре відомих технологій коксових заводів, таких як:

- підігрів вугільної суміші до $350 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ у псевдорозрідженому шарі з можливістю часткового брикетування
- транспортування і завантаження суміші самопливом без викидів за допомогою живильників
- коксування шихти у класичній печі, побудованої з надщільної динасової цегли, яка відрізняється дуже високою теплопровідністю, і яка оснащена високощільними дверима. Загальний час коксування становить 6 – 8 год, а кінцева температура коксу – $850\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- видача коксу до установки сухого гасіння, коли температура коксу спочатку зростає до $1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ у передкамері, потім сухе гасіння для транспортування.

Всі переміщення матеріалів здійснюються у закритій системі транспортування. Розміри пілотної печі склали половину від промислового масштабу (висота: 7,5 м; довжина: 8 м, ширина: 450 мм). На рис. 11.2 наведена схема виробництва коксу для процесу.

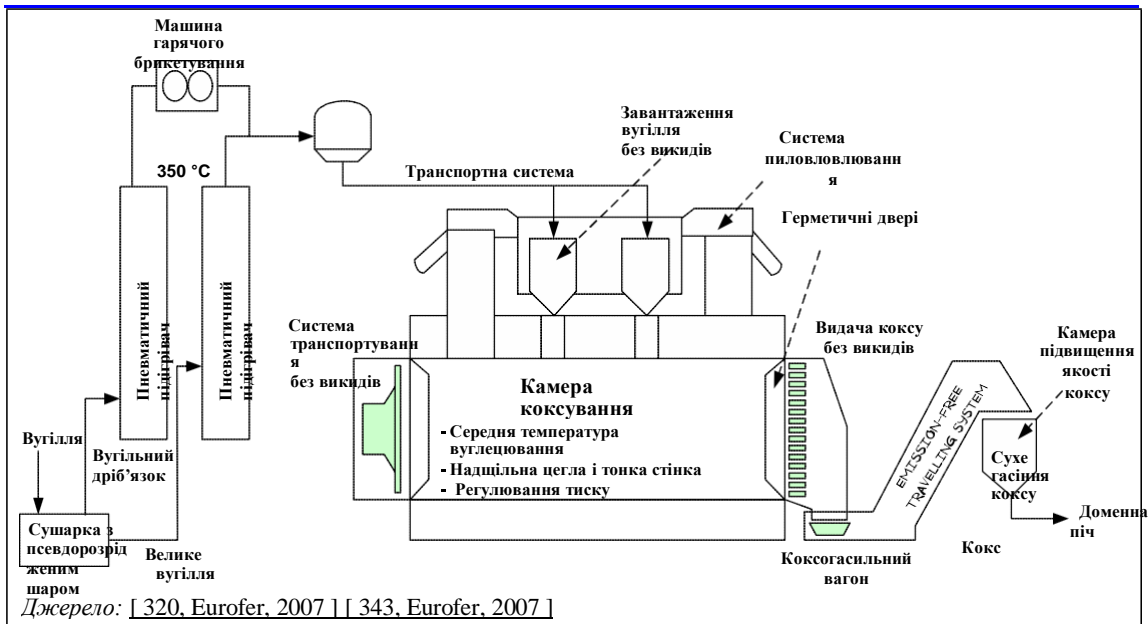


Рис. 11.2. Технологічна схема виробництва коксу підвищеної якості в процесі SCOPE 21

Результати

Дослідження з економічної оптимізації загальної системи допомогли виявити, що коксова батарея SCOPE 21 може привести до таких переваг:

- підвищена продуктивність, що зросла у 2,4 рази порівняно із звичайною коксовою піччю
- краща якість коксу
- підвищення рівня вугілля, що не коксується або трохи коксівного вугілля до 50 %
- економія на 20 % споживаної енергії у процесі виробництва коксу
- зниження викидів NO_x на 30 %
- попередження утворення диму і пилу.

11.3.2 Спосіб контролю тиску в одній печі

Під час написання цього довідкового документа (2010 рік) на звичайних коксувальних печах витрата швельгазу (напівкоксівного газу) від однієї печі у газохід контролюється за допомогою двопозиційного клапану або за допомогою технології регулювання змінного тиску, яка називається PROven (див. п. 5.3.10).

Спосіб регулювання тиску в одній печі (SOPRECO®), описаний в цьому розділі, заснований на модифікації цього клапану, оптимізації за допомогою досвіду і моделювання за допомогою застосування методів обчислювальної газодинаміки.

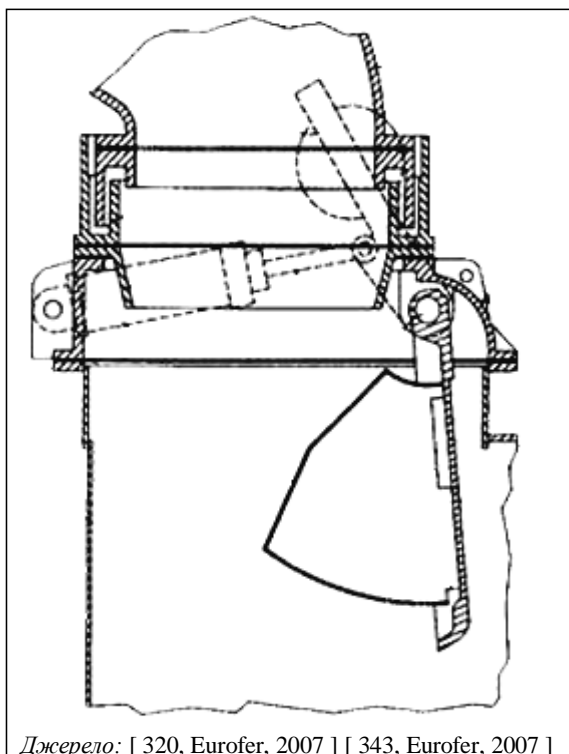
Система заснована на спеціальному клапані, що наводиться за допомогою гідравлічного або пневматичного приводу, і на контролі тиску в підйомній трубі. Клапан має відповідну форму для роботи у повному діапазоні витрат газу протягом всього циклу коксування.

Безперервний контроль тиску в печі протягом часу відгону може запобігти підвищеному тиску протягом першої фази процесу, шляхом підтримки негативного тиску у газоході; це дає змогу повністю знизити викиди від дверей, завантажувальних вікон тощо.

Крім того, безперервний контроль тиску у печі запобігає утворенню відносного негативного тиску на горні печі протягом першої фази відгону, коли витрата коксового газу низька. Внаслідок можливої інфільтрації повітря із подальшим спалюванням коксу та суттєвою шкодою на рівні горну печі, необхідно запобігати падінню тиску нижче атмосферного. Тому перевага контролю тиску у коксовій печі пов'язана зі зниженням викидів (протягом першої частини відгону) і попередженням інфільтрації повітря у піч (протягом останньої частини відгону).

Ця система спочатку була спроектована для встановлення в наявних працюючих батареях без значних модифікацій і без впливу на роботу печей. У разі порушень у роботі печі система може бути легко і негайно перебудована для роботи у звичайному режимі експлуатації. Це основна перевага порівняно з іншими наявними системами. Однак для нових установок для досягнення кращого контролю тиску була розроблена нова конструкція клапана, що виникла в результаті моделювання CFD.

На рис. 11.3 показана проста геометрія клапана SOPRECO, який встановлюється на наявних коксових печах, що вже знаходяться в експлуатації.



Джерело: [320, Eurofer, 2007] [343, Eurofer, 2007]

Рис. 11.3. Клапан SOPRECO (система регулювання тиску в окремій камері батареї коксових печей, розроблена компанією Paul Wurth)

На рис. 11.4 показана загальна схема системи SOPRECO.

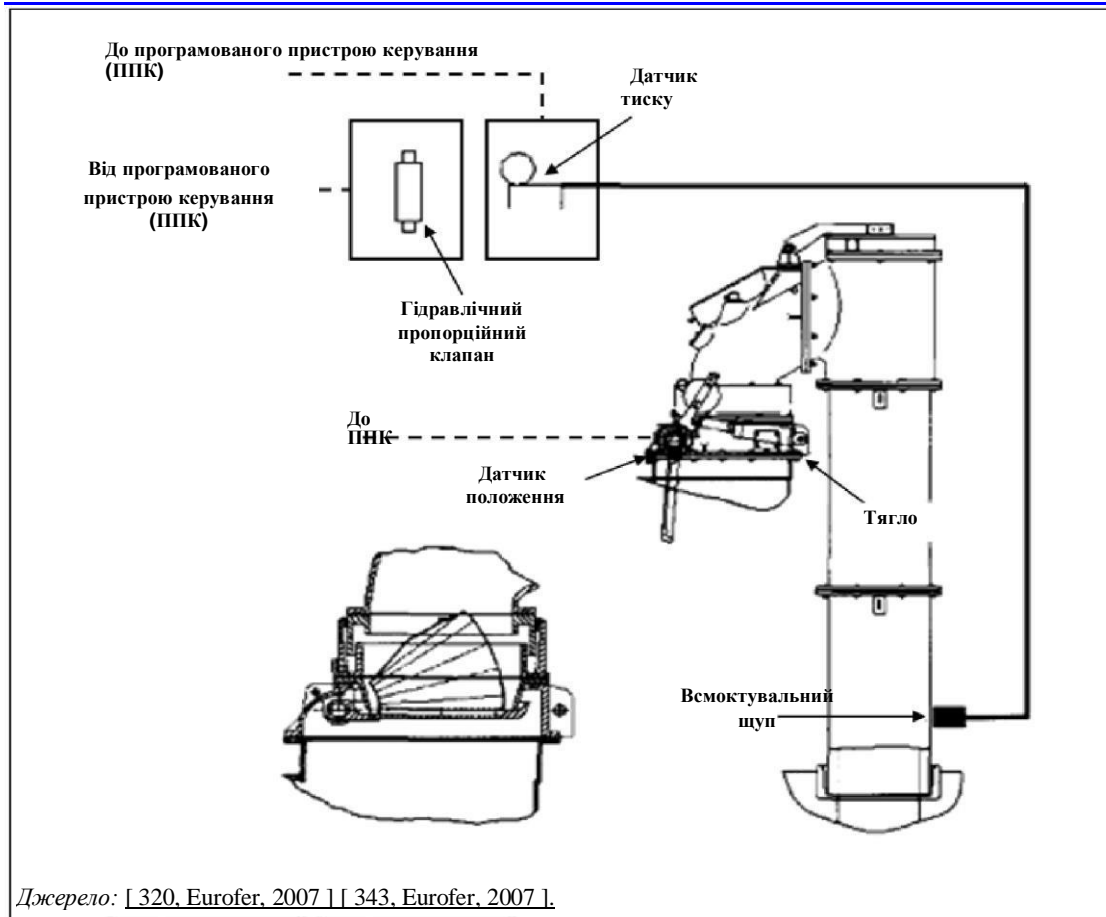


Рис. 11.4. Схема системи SOPRECO

Система була випробувана на печі № 45 компанії Lucchini у м. Пьомбіно, Італія, і вона продемонструвала повну надійність і нормальні умови експлуатації. У березні 2006 року компанія Sollac Méditerranée прийняла рішення встановити цю систему на новій батареї коксових печей у муніципалітеті Фос-сюр-Мер, Франція. Зараз система знаходиться на стадії введення в експлуатацію.

Друге покоління системи SOPRECO під назвою Модель 2 було розроблено для виконання вищих вимог з боку батареї. Цей клапан був доданий до головного клапану між головним клапаном і ліктем та було зроблене продовження для підйомної труби.

SOPRECO дає змогу контролювати тиск у печі протягом різних операцій, пов'язаних із «відкриттям/зачиненням» (окремо). Повідомляють, що може бути досягнута дуже висока точність у регулюванні тиску в камері печі, що особливо необхідно у разі камери з утрамбованою шихтою. Необхідне розрідження підтримується на рівні 6 гПа (– 60 мм вод. ст.) у газоході, у той час як тиск у камері повинен підтримуватися в діапазоні 0 – 1 гПа (від 0 до 10 мм вод. ст.). Загалом, різниця тисків на рівні до 7 гПа (70 мм вод. ст.) повинна точно регулюватися, що виконується для кожного клапана.

Система SOPRECO може застосовуватися до нових та наявних коксових цехів. У зв'язку з тим, що клапани основного трубопроводу залишаються на місці, система SOPRECO може встановлюватися послідовно піч за піччю.

Система була успішно випробувана на трьох печах з утрамбованою шихтою протягом 6 місяців. Система була встановлена на новій батареї № 3 компанії ZKS у м. Ділінген, Німеччина, і введена в експлуатацію у січні 2010 року.

На рис. 11.5 показані клапани SOPRECO (модель 2), встановлені на батареях з висотою камери 6,3 м. Введення батареї в експлуатацію відбулось у січні 2010 року.



Рис. 11.5. Клапани SOPRECO модель 2 на батареї коксових печей

11.3.3 Альтернативи використання коксового газу

[206, Дімер та ін., 2004]

Для деяких батарей коксових печей з різних причин доцільно відхилитися від звичайного використання коксового газу. Альтернативні можливості використання вимагають різних методів і стадій технологічного процесу для попереднього очищення коксового газу. Варіанти досліджень для використання коксового газу концентруються на утилізації водню, синтезі метанолу, генерації пари для вироблення електричної енергії та на використанні коксового газу як відновлюваного агента у доменній печі або при роботі установок для прямого відновлення. Ці альтернативні можливості для використання коксового газу піддаються загальній оцінці з урахуванням міркувань щодо відповідної інфраструктури металургійного заводу. Переваги від прямих і непрямих продуктів коксової печі залежать від специфічних місцевих і експлуатаційних вимог.

Для енергетичного використання коксового газу альтернативним варіантом щодо класичної утилізації тепла є відведення неочищеного коксового газу із температурою приблизно 800 °С з коксової печі без охолодження безпосередньо до системи спалювання або часткового окислення. Ця технологія ще не досягла стадії промислового застосування, оскільки ще не існує перспективного технічного рішення для контролю тиску в індивідуальних камерах печі в умовах високої температури.

Інші варіанти альтернативного використання коксового газу включають:

- Вдування коксового газу і кам'яновугільної смоли як допоміжних відновлювальних агентів у доменну піч. Ця технологія вже впроваджена на практиці.
- Використання коксового газу як відновлюваного агента для виробництва заліза прямого відновлення (DRI) або гарячого брикетованого заліза (HBI). Для виробництва DRI, коли коксовий газ використовується як відновлюваний агент, необхідний додатковий виробничий процес. У цьому випадку проводиться часткове очищення коксового газу.

11.4 Нові технології для доменних печей

[233, Поос та ін., 1993] [356, Eurofer, 2007]

11.4.1 Зниження викидів CO від повітрянагрівачів із камерою внутрішнього згоряння

Опис

У п. 6.1.4 були описані дві основні конструкції повітрянагрівачів (із камерами внутрішнього і зовнішнього згоряння). У разі камер внутрішнього згоряння відбуваються високі викиди CO, у результаті витоків із тріщин у масі вогнетривів. Ці витoki видаються неминучими і призводять до викидів неспаленого газу. Існує, однак, можливість зниження витоків за допомогою встановлення сталевих листів відповідного сорту у вогнетриви протягом заміни футеровки.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Вплив тріщин (високий рівень викидів CO) можна значно знизити. В наявності ще немає результатів вимірювань до і після встановлення сталевих листів.

Статус

Цей варіант вже був випробуваний на одному металургійному заводі в ЄС-27.

11.4.2 Утилізація тепла шлаку

Опис

У рідкому шлаку з доменної печі міститься велика кількість фізичного тепла. Його температура становить близько 1450 °C, а в сучасній доменній печі виробляється близько 250 – 300 кг/т рідкого чавуну. У жодній з промислових систем у світі не використовується це джерело потенційної енергії. Це пояснюється, перш за все, технічними труднощами у розробці безпечної, надійної та енергоефективної системи, яка, до того ж, не впливатиме на якість шлаку.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Відповідно до оцінки, економія енергії складе близько 0,35 ГДж/т рідкого чавуну.

Статус

Були проведені випробування наприкінці 1990-х років. Щодо промислового застосування нічого не відомо.

Довідкова література

[65, InfoMil, 1997]

11.4.3 Вдування відходів у доменну піч

Були проведені дослідження із використання забрудненої нафтопродуктами вальцівної циндри (прокатної окалини) з летючою золою. Перевірено рівень вдування 100 кг/т рідкого чавуну [238, Янке та ін., 1997].

11.5 Нові технології для кисневих конвертерів і лиття

11.5.1 Підвищення стабільності конвертерного шлаку для тривалого застосування

Опис

Використання конвертерного шлаку в цивільному будівництві обмежене внаслідок вмісту в ньому вільного вапна, яке впливає на об'ємну стабільність. Нещодавно був розроблений процес переробки рідкого шлаку з метою вирішення цієї проблеми. Після випуску шлаку у шлаковий тигель рідкий шлак обробляється за допомогою вдування кисню і піску (SiO_2). При цьому вільне вапно зв'язується із утворенням стійких фаз, і в результаті шлаковий заповнювач стає об'ємно стійким. Окрім того, можна поліпшити поведінку шлаку в навколишньому середовищі.

Статус

Ця стадія переробки була розроблена у рамках дослідницького проєкту, завершеного у 1998 році. Під час написання цього довідкового документа (2010 рік) такий спосіб використовувався на двох європейських киснево-конвертерних цехах. Реалізація способу значною мірою залежить від потреби ринку в цивільному будівництві та політичних умов, пов'язаних із ширшим використанням цього продукту.

Процес виявився набагато важче з погляду контролю, ніж очікувалося; проблеми можуть бути пов'язані з в'язкістю, що впливає на хімічну активність, а також з однорідністю. Технічні проблеми вимагають глобального вирішення. Покращена передбачуваність придатності партії шлаку для отримання бажаної якості. Теперішні стадії випробувань пов'язані з оптимізацією процесу і зниженням вартості. Прикладами установок є металургійний завод компанії ThyssenKrupp у м. Дуйсбург, Німеччина, і ArcelorMittal у м. Гент, Бельгія.

Основні досягнення

Завдяки підвищенню стабільності можна виконати вимоги до використання шлаку у цивільному будівництві. У дорожньому будівництві шлак замінює природні ресурси і запобігає викидам у виробничому процесі переробки природних матеріалів. Економія завдяки використанню шлаку може бути подвійна – завдяки кращому несучому навантаженню і властивостям теплової ізоляції. Це є основою підвищення ефективності використання ресурсів у сталеплавильному виробництві, і знижується потреба у полігонах.

Довідкова література

[363, Eurofer, 2007]

11.5.2 Підвищення ступеня очищення відхідних газів у кисневих конвертерах за допомогою модернізації гібридних фільтр-циклонів

Опис

Велика частина кисневих конвертерів у світі оснащена установками для очищення конвертерного газу на основі мокрих скрубєрів. За допомогою цих установок зазвичай можна досягати залишкового вмісту пилу в діапазоні від 30 до 50 мг/нм³.

Модернізація наявних систем за допомогою установки наступного (по ходу відхідних газів) невеликого мокрого електрофільтра може допомогти додатково знизити викиди пилу в очищеному газі. Комбінована система називається «гібридний фільтр-циклон».

Ідея полягає у тому, що очищення конвертерного газу більше не буде ґрунтуватися тільки на наявному скрубєрі. Скрубєр діє як пристрій попереднього видалення пилу для осадження великих частинок пилу і як колона охолодження та зволоження для подальшого електрофільтра. Перепад тиску в мокрому скрубєрі може бути значно знижений, і, отже, можна знизити споживання енергії вентиляторами.

Встановлений нижче за потоком газів електрофільтр є невеликою установкою, що складається з одного або більше електричних полів, оскільки вміст пилу у газі вже знижено значною мірою за допомогою скрубєра. Окрім того, внаслідок низької температури знижується обсяг газу.

Використовується вже наявне обладнання, таке як вентилятор і пристрої для очищення води з невеликими модифікаціями (або без них). За використання подібної модифікації не здійснюється вплив на наявну утилізацію конвертерного газу.

Статус

Технологія знаходиться у стадії розроблення.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Системи гібридних фільтр-циклонів можуть досягти ступеня очищення газу від пилу ≤ 10 мг/нм³. Додаткове споживання енергії електрофільтром буде із запасом компенсуватися зниженням споживання енергії вентилятором.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Технологія знаходиться у стадії розроблення.

Можлива установка на всіх наявних кисневих конвертерах із системою очищення з мокрим скрубєром. Нові конвертери бажано оснащувати технологіями із сухим електрофільтром.

Економічні дані

Завдяки невеликому розміру додаткового електрофільтра і використанню наявного обладнання, інвестиційні витрати дуже низькі.

Експлуатаційні витрати можна знизити завдяки зниженню перепаду тиску у скрубєрі, що значно зменшує споживання електроенергії вентилятором.

Стимули для впровадження

порівняно невеликі інвестиції для модернізації наявного очищення газу на основі скрубєру з метою дотримання місцевих норм на викиди можуть призвести до впровадження фільтра-циклону, коли неможлива повна заміна мокрих скрубєрів.

Приклади установок

Технологія знаходиться зараз у стадії розроблення.

Довідкова література

Заява про видачу патенту [192, Шлютер, 2009].

11.5.3 Парасоль із вихровим відсмоктувачем для вторинного знепилювання

Опис

Викиди пилу, що викликаються випуском плавки з конвертера або завантаженням брухту в нього, важко вловлюються внаслідок того, що конвертер нахилиється із суворо вертикального положення, і вириваються димові гази, розсіюючись у приміщенні цеху. Для проведення технологічних операцій потрібен певний вільний простір вище кришки конвертера для крана і кошиків з брухтом. Тому витяжний парасоль повинен мати деяку відстань від джерела пилу. Для забезпечення гарного ступеня вловлювання у системі вторинного знепилювання, незважаючи на умови монтажу, використовуються різноманітні конструкції витяжного парасолю. Новою розробкою є «парасоль із вихровим відсмоктуванням» (циклонним). Під час відведення повітря з парасолю утворюється повітряна бочка, а повітря відсмоктується з обох сторін осей бочки. Ці умови потоку змушують тверді частинки рухатися у площині осі повітряної бочки під дією розподілу тисків у бочці, і вони відводяться через отвори у двох розташованих одна навпроти одної відсмоктуючих труб до системи пиловидалення. Важливо, щоб тиск під час відкачування у бочці витяжного парасоля був досить великим для забезпечення стабільності.

Статус

Інженерне рішення для такого типу витяжного парасоля було розроблено кілька років тому. З'явився перший досвід із завантаженням на деяких металургійних заводах, і нова система буде впроваджена найближчим часом.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Якщо система добре спроектована, вона буде у змозі досягти кращого ступеня вловлювання неорганізованих викидів від джерел, які не можна відводити безпосередньо у самого джерела. Неможливо кількісно оцінити вплив способу, оскільки не можна виміряти кількість, яка відводиться, і слід проводити оцінку видимих викидів пилу. Немає результатів на агрегатах, які працюють, для порівняння цієї конструкції, оскільки будь-які зміни у системі витяжки супроводжуються також покращенням характеристик всієї системи витяжки.

Довідкова література

[363, Eurofer, 2007]

11.5.4 Рециклінг шлаку у сталерозливних ковшах кисневого конвертера та електродугової печі в якості флюсу в електросталеплавильному виробництві

Опис

Було випробувано кілька технологій для рециклінгу шлаку у сталерозливних ковшах кисневого конвертеру і електродугової печі:

- a) рециклінг рідкого шлаку у сталерозливному ковші в електродуговій печі. Рівень рециклінгу, що досягається, становить 80 %
- b) рециклінг твердого шлаку зі сталерозливного ковшу до EAF. Близько 15 % вапна заміщується цим шлаком у відношенні 1:2. Близько 15 % шлаку, що утворюється, можна піддати рециклінгу у сталерозливному ковші
- c) Рециклінг відпрацьованих вогнетривких матеріалів з EAF, кисневого конвертера і агрегатів для позапічної обробки сталі. Попередньою умовою для рециклінгу є ретельна переробка і контроль якості.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Для технології (a) не потрібна переробка шлаку. Для технології (b) не потрібна переробка шлаку.

Для технології (c) відпрацьований магнезит є відповідною заміною олівіну і м'яко обпаленого доломіту.

Міжсередовищні наслідки

Для технології (a) можна спостерігати деяке зростання загального споживання енергії внаслідок додаткових отворів у печі.

Експлуатаційні дані

Для технології (a) не спостерігалися негативні впливи на якість сталі у EAF.

Для технології (b) поводження з твердими матеріалами має перевагу у тому, що є можливий вибір сприятливого складу шлаку. Мають місце деякі незначні впливи щодо металургії процесу і якості сталі.

Можливість застосування

Для технології (а) були проведені випробування з рециклінгу на агломераційній установці, шихті для доменної печі та для конвертера.

Економічні дані

Для технології (б) експлуатаційні витрати компенсуються завдяки економії вапна. Економічні переваги пов'язані зі зменшенням кількості шлаку, що депонується, із сталерозливного ковшу.

Стимули для впровадження

Стимулом для впровадження є крок до сталеплавильного виробництва без відходів.

Приклади установок

Компанія RIVA Acciaio, м. Верона, Італія; компанія Krupp Edelstahlprofile (KEP), м. Зіген, Німеччина; компанія EKO Stahl, м. Айзенхюттенштадт, Німеччина.

Довідкова література

[386, Корс та ін., 2005]

11.6 Нові технології для електродугових печей

11.6.1 Безперервне плавлення губчастого заліза в електродуговій печі

Опис

Піч Contiarс є дугового піччю на постійному струмі з кільцеподібною шахтою, утвореною внутрішнім і зовнішнім корпусом. Піч працює безперервно із сировинним матеріалом, що завантажується у верхній частині кільцеподібної шахти. Занурювальний характер роботи печі робить її більш енергоефективною, ніж печі із куполоподібним зводом. Окрім того, на сьогоднішній день з'явилася можливість як топити, так і перетоплювати чавун із продуктивністю 80 т/год під час плавлення та переплавки. Піч може приймати брухт низької якості (подрібнений автомобільний брухт), залізо прямого відновлення (DRI) та/або гаряче брикетоване залізо (HBI) і об'єднувати їх із вугіллям і силіцевою породою для виробництва якісного чавуну з кулястим графітом з 3, 5 % вуглецю (C) і 2,5 % силіцію (Si).

Піч завантажується автоматично за допомогою системи у вигляді воронки, яка направляє по конвеєру шихту у верхню частину печі. Як тільки шихта досягає верхньої частини печі, вона розподіляється в одній з восьми воронок, яка розташована на обертовому пристрої навколо верхньої частини печі. Автоматизована система завантаження працює синхронно із системою автоматичного керування режимом плавлення, визначаючи, в якому місці кільцеподібної шахти потрібна шихта.

Завдяки підтримці всієї шахти із заповненою шихтою досягається те, що тепловміст пічних газів використовується для попереднього підігріву шихти. Проникність шахти не є проблемою через наявний обсяг газів; проте матеріал, що завантажується, повинен мати належний розмір для запобігання появи перемичок у шахті.

Концепція безперервної дугової плавки реалізується за допомогою центрального катода (графітового електрода) всередині внутрішнього корпусу і відповідного електропровідного подового анода. У традиційній дуговій печі, коли додається шихта, електрод піднімається до верху шихти. У печі з безперервною дугою у внутрішньому корпусі електрод підтримується у зануреному стані. Центральний графітовий електрод захищає від пошкоджень внутрішній корпус при падінні брукту. Його кінець знаходиться на деякій відстані нижче пода цього корпусу так, що дуга постійного струму горить між електродом і розтопленою металевою ванною. Кінець електроду екранує від випромінювання дуги постійного струму матеріал, що завантажується.

Повністю інкапсульований топильний пристрій забезпечує відновлювальну атмосферу у нижній частині печі і трохи окиснювальні умови у шахті для досягнення бажаних металургійних умов і утилізації газів. Окрім того, ця конструкція забезпечує низькі втрати окиснювального заліза або силіцію. Система із рукавним фільтром уловлює викиди.

Основні досягнення

Піч Contiarс сконструйована для виконання операцій плавлення і переплавки. Це забезпечує такі переваги:

- можливість плавки за низьких витрат значних кількостей подрібненого брукту, металевої стружки, HBI та/або DRI (в такий спосіб підтримуючи контроль домішок)
- кварц (SiO_2), який у вигляді гравію використовується у будівельній промисловості, може бути заміником дорогого феросиліцію як засобу для створення необхідного рівня силіцію у розплаві
- вугілля можна використовувати замість коксу протягом топлення для вуглецювання основного металу і зниження кількості кварцу, оскільки вуглецевмісний продукт не потрібен для отримання тепла
- без використання коксу рівень сірки у розтопленому металі знижується
- існує менше шлаку із системою Contiarс, ніж у випадку печі зі звичайною конфігурацією, з куполоподібним зводом, оскільки це відновна піч, і це означає, що багато оксидів, які зазвичай діють як шлак, повертаються знову до металу
- протягом топлення контроль температури у печі Contiarс здійснюється гнучко, і це означає, що можна робити коригування за допомогою простої зміни відношення струму до напруги. Це дає змогу перегрівати залізо перед випуском.

Приклади установок

У липні 2001 року була введена в експлуатацію перша електродугова піч на постійному струмі із занурювальним електродом (Contiarс) компанією ACIPCO у м. Бірмінгем, штат Алабама.

11.6.2 Рукавний фільтр з інтерметалічних сполук для мінімізації викидів пилю, PCDD/F і важких металів

Опис

Рукавний фільтр з інтерметалічною сполукою, стійкий до високої температури, поєднує в собі фільтрувальні та каталітичні властивості й дає змогу різко знизити викиди пилю і відповідних забруднюючих речовин.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

У рамках пілотних випробувань компанії LME Trith-Saint-Leger, Франція, ефективність очищення від пилю склала 99,9 %, ефективність зниження викидів PCDD/F – понад 95 % і викидів важких металів – 95 – 100 % (за винятком важких металів, що знаходяться у газовій фазі, типу ртуті). Окрім того, можна зекономити енергію внаслідок помірного охолодження відхідних газів. Експлуатаційні дані, дані щодо взаємодій між середовищами, застосовності, дані з економіки, мотивації для впровадження, приклади установок не передавалися.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Жодних даних не надано.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Жодних даних не надано.

Довідкова література

[252, Франція, 2007]

11.6.3 Утилізація старих шин в EAF

Опис

Оскільки старі шини застосовувалися на цементних заводах (кількість яких в Європі у 1999 році становила 2,2 млн т/рік), їх можна утилізувати і замінювати вугілля (антрацит) в електросталеплавильному виробництві. Оптимізований процес утилізації у EAF вимагає адаптованої добавки шин, які повинні завантажуватись у потрібному місці, ані у верхній частині, ані у горні, а кисневі фурми повинні працювати так, щоб запобігти доспаленню у будь-якому місці, крім дугової печі.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Ця технологія дає можливість утилізації старих шин і знизити потребу у видобутку вугілля.

Міжсередовищні наслідки

Утилізація старих шин не призводить до надмірних викидів PCDD/F, важких металів, PAH, SO₂ і ЛОС і не вимагає надмірного споживання енергії.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Жодних даних не надано.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Стимули для впровадження

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Під час пілотних випробувань, проведених компаніями Asometal Hagondange, SAM Neuves-Maisons і LME Trith-Saint-Leger (усі три з Франції), було досягнуто рівня заміщення 1,7 кг старих шин за 1 кг антрациту. Домішка 5 – 12 кг старих шин/т рідкої сталі досягається, якщо шини розрізаються на невеликі шматки із довжиною не більше 10 – 15 см. У 2006 році компанія LME Trith-Saint-Leger мала потужності з переробки 7 000 т старих шин/рік.

Аналогічні випробування проводила компанія ArcelorMittal у Люксембурзі.

Довідкова література

[252, Франція, 2007]

11.6.4 Рециклінг шлаків (конвертерного і електродугового) як флюсу в електросталеплавильному виробництві

Подробиці щодо цієї технології представлені у п. 11.5.4.

12 КІНЦЕВІ ЗАУВАЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ МАЙБУТНЬОЇ РОБОТИ

Вибір часу для процесу розгляду

Організаційна нарада для перевірки Довідкового документа щодо найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва чавуну та сталі відбулася у вересні 2006 року. ТРГ (TWG) включала загальний розділ (розділ 2), в якому міститься загальна інформація щодо управління навколишнім середовищем, матеріалами, водою, енергією, шумом, а також щодо моніторингу. Ці проблеми можна вважати горизонтальними (володіють однаковим статусом) для видів діяльності у чорній металургії. У розділах 3-8 представлені дані та інформація про конкретні процеси (агломераційні установки, процес виробництва окатишів, коксові печі, доменні печі / печі дуття, киснево-конвертерний процес виготовлення та лиття сталі, виготовлення та лиття сталі в електродугових печах).

Перевірка довідкового документа з НДТМ для виробництва чавуну та сталі не тягне за собою повну переробку першого документа, прийнятого Комісією у грудні 2001 року, але пов'язана із доопрацюванням наявного BREF (ДД НДТМ), включаючи додаткову інформацію, яка була перевірена (наприклад, щодо технологій), і яка може мати вплив на висновки, що стосуються НДТМ. Обмін інформацією та збір даних ґрунтувався на побажаннях, висловлених ТРГ.

Період для збору інформації і даних завершився у червні 2007 року. Методичний документ щодо збору даних був узгоджений на зустрічі IEF (Форум з обміну інформацією). Перший формальний проєкт перевіреного довідкового документа з НДТМ для виробництва чавуну та сталі охоплював усі розділи, але висновки щодо НДТМ і кінцеві зауваження були випущені у лютому 2008 року. У той час роботу розпочав новий автор. Після оцінки проєкту документа було визнано, що є необхідною змінена редакція деяких розділів, а також додатковий період для збору інформації. Збір інформації завершився у лютому 2009 року. На основі додаткової інформації другий проєкт ДД НДТМ, що включав проєкт висновків щодо НДТМ, був виданий у липні 2009 року, з періодом консультацій протягом 10 тижнів для членів ТРГ, що завершився у вересні 2009 року.

Кінцева зустріч ТРГ була проведена у лютому 2010 року. Під час останнього пленарного засідання у ньому брали участь понад 70 членів ТРГ.

Джерела інформації та прогалини в інформації

Для перевіреного ДД НДТМ для виробництва чавуну та сталі було переглянуто більше 200 документів і поглядів держав-членів, представників промисловості та екологічних НУО. Система інформації Комісії щодо НДТМ (BATIS) слугувала полем, де члени ТРГ можуть передавати документи й інформацію, якою можна ділитися із членами, досягаючи в такий спосіб високого рівня прозорості. Важливі погляди були включені у бібліографію ДД НДТМ. Основними постачальниками інформації були EUROFER (Європейська конфедерація виробників чавуну і сталі), промислові асоціації, що представляють більшість європейських виробників сталі, і такі держави-члени ЄС: Австрія, Бельгія, Чехія, Данія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Італія, Люксембург, Нідерланди, Польща, Швеція, Сполучене Королівство, а також Норвегія. Окрім того, інформація була надана Окороп (Інститут екології та політики), який представляв інтереси НУО та деяких постачальників із Німеччини, Італії та Швейцарії. Ці документи можна розглядати як структурні елементи перевірених частин документа BREF.

Додаткова корисна інформація була отримана у результаті відвідувань ЕІРПСВ (Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень) підприємств у сфері чорної металургії в Австрії, Фінляндії, Німеччині, Люксембурзі, Нідерландах, Іспанії та Сполученому Королівстві.

На основі наданої інформації, даних і коментарів, отриманих після періодів консультацій, цей документ BREF був переглянутий шляхом оновлення інформації і даних щодо виробничих показників, потреби в енергії, витрат і досягнутих значень викидів. Крім того, було включено нові розділи, наприклад щодо моніторингу, інструментів керування, електростанцій на металургійних заводах, поводження з матеріалами, запобігання і моніторингу розсіяних викидів, виливок за формою, близькою до остаточної, підігріву брухту, утилізації залишків із високим вмістом заліза і розроблень, що стосуються зниження викидів CO₂. Додатково до цього, багато розділів було суттєво перероблено і доопрацьовано, наприклад технології запобігання викидів у повітря, відведення і запобігання вторинних викидів у повітря, очищення стічних вод і внутрішнє або зовнішнє використання залишків і технологічних газів.

Незважаючи на всю дуже корисну і представлену інформацію, слід вказати на деякі проблеми зі збором даних:

- Що стосується основної частини представлених даних щодо викидів, про них повідомляли як про коефіцієнти викидів (тобто г/т продукту) для декількох установок. Ці коефіцієнти викидів розраховувалися на основі вимірних значень концентрацій викидів і витрати відхідних газів, що не були представлені як такі. Було б корисно мати цю цінну інформацію для оцінки показників конкретних технологій на рівні установки і для визначення НДТМ-AELs.
- Були деякі невизначеності щодо яких саме конженерів РСВ і РАН робилися повідомлення, що ускладнювало порівняння повідомлених значень викидів.

Протягом кінцевої зустрічі ТРГ мало місце докладне обговорення щодо процесів байпасування, електростанцій, що працюють на технологічних газах, і ступеня уловлювання пилу. Ці теми описані нижче.

Процеси байпасування

Протягом операцій пуску або зупинки чи інших спеціалізованих операцій, які можуть впливати на належне функціонування системи (наприклад, роботи з позапланового обслуговування і процеси очищення) або безпеку, системи зниження викидів можуть байпасуватися. Особливу увагу слід приділяти викидам протягом байпасування, у тому сенсі, що процеси байпасування або часткового байпасування повинні бути мінімізовані для досягнення високого рівня технічного використання, що стосується системи зниження викидів. У наявності мало інформації щодо цієї проблеми, тому в майбутньому процеси байпасування повинні бути добре задокументовані. ТРГ прийняла рішення, що виходячи з наявної інформації щодо того, як мати справу з цими конкретними умовами експлуатації, необхідно робити висновок про НДТМ, що стосуються процесів байпасування.

Процеси на електростанціях, що працюють на технологічних газах на металургійних заводах

ТРГ розглянула інформацію, передану щодо викидів у повітря від процесів на електростанціях, що працюють на технологічних газах на металургійних заводах, яка виявилася недостатньою. З інформації, представленої у п.п. 2.2.1.2 і 2.5.3, не було можливості визначити НДТМ-AELs для пилу, SO_x, NO_x та CO. Ця проблема повинна бути розглянута протягом перевірки BREF по великих паливоспалювальних установках (LCP) [282, Єврокомісія, 2006] і охоплена в окремому розділі цього BREF разом з іншими важливими процесами на електростанціях, що працюють на технологічних газах.

Ступінь консенсусу, досягнутого під час обміну інформацією

На кінцевій зустрічі ТРГ у лютому 2010 року було досягнуто високого рівня консенсусу щодо висновків з НДТМ, і було зареєстровано тільки три розбіжні погляди. У табл. 12.1 наведено розбіжні погляди, висловлені членами ТРГ.

Таблиця 12.1: Погляди, в яких не досягнули згоди

Висновок щодо НДТМ	Погляди	Розбіжні погляди
№ 20	Австрії та однієї НУО	НДТМ для агломераційних установок повинні бути націлені на зниження викидів пилу з відхідними газами від агломераційної стрічки тільки за допомогою рукавного фільтра, а НДТМ-АЕЛ для пилу повинні бути <math><10 \text{ мг/нм}^3</math>, визначені як середньодобові значення. Кілька об'єктів в ЄС мали встановлені рукавні фільтри і досягли рівнів викидів пилу нижче 10 мг/нм^3 , як середньодобові значення (див. п.3.3.2.2). Немає технічних, економічних проблем або проблем взаємодії між середовищами, які обмежують можливість застосування рукавного фільтра. На основі інформації, наведеної у п. 3.3.2.1, постійно низькі рівні викидів не можуть бути досягнуті з електрофільтром як середньодобове значення, особливо, коли залишки і пил піддаються рециклінгу на агломераційній стрічці
№ 25	Австрії та однієї НУО	НДТМ повинні бути на зниження PCDD/F і РСВ за допомогою застосування вдування адекватних адсорбційних агентів у газохід відхідних газів агломераційної стрічки перед знепилюванням за допомогою рукавного фільтра. На основі інформації з цього документа НДТМ-АЕЛ для PCDD/F повинні бути <math><0,05 - 0,2 \text{ нг I-TEQ/нм}^3</math> для 6 – 8 годинної разової проби у стійких умовах. Кілька об'єктів в ЄС мають встановлені рукавні фільтри і досягли рівнів викидів нижче $0,2 \text{ нг I-TEQ/нм}^3$ (див. п. 3.3.2.2). Окрім того, немає технічних, економічних проблем або проблем взаємодії між середовищами, які обмежують можливість застосування рукавного фільтра у поєднанні із вдуванням адекватних адсорбційних агентів у газохід відхідних газів
№ 49	Німеччини та однієї НУО	Рівень викидів пилу <math><10 \text{ мг/нз}</math> має вважатися як НДТМ-АЕЛ для коксової печі з нижнім обігрівом на основі інформації, наданої у п.п. 5.2.2.1 та 5.3.12.1. Велика кількість і розмір тріщин у стінах печі дуже старих коксових цехів (до >40 років) не слід використовувати як основу для підвищених НДТМ-АЕЛ.

Консультації на Форумі і подальше формальне прийняття процедури щодо висновків з НДТМ

Форум для обміну інформацією відповідно до статті 13 Директиви 2010/75/ЄС щодо промислових викидів (IED) (зазвичай дається посилання на Статтю 13 форуму IED) був присвячений консультаціям щодо запропонованого змісту цього довідкового документа НДТМ 24 червня 2012 року із представленням поглядів учасників на зустрічі 12 – 13 вересня 2011 року.

Думку Форуму за статтею 13 IED можна представити у вигляді двох різних наборів коментарів. У кінцевому підсумку, у висловленій на Форумі думці перераховано коментарі, щодо яких було досягнуто консенсусу про включення їх до кінцевого довідкового документа з НДТМ. По-друге, у думці перераховано ті коментарі, в яких представлені погляди деяких учасників форуму, але за якими не було досягнуто консенсусу щодо включення їх до кінцевого довідкового документа з НДТМ.

Повністю думку учасників форуму представлено тут: http://circa.europa.eu/Public/irc/env/ied/library?l=/ied_art_13_forum/opinions_article

Згодом Комісія прийняла до уваги думку форуму за статтею 13 IED під час підготовки проекту Комісії про введення в дію рішення, що затверджує висновки щодо НДТМ для чорної металургії.

На зустрічі 21 листопада 2011 року за Статтею 75 Директиви про промислові викиди (IED) Комітет висловив позитивну думку з приводу проекту Рішення щодо введення у дію довідкового документа з НДТМ у чорній металургії.

Протягом процесу консультацій суттєвих зауважень до тексту документа зроблено не було.

Рекомендації для майбутньої роботи

Обмін інформацією щодо перевірки BREF із чорної металургії є важливим кроком уперед у досягненні цілей комплексного запобігання і контролю забруднень для виробничих процесів у чорній металургії. Подальша робота щодо проблем, описаних нижче, може бути продовжена:

- Загалом, було б корисно зібрати дані з більшої кількості конкретних прикладів технологій, що застосовуються, та їхніх характеристик.
- Збір інформації, зокрема даних щодо викидів, проводився до розроблення посібника Комісії з цієї проблеми (документ IEF від червня 2008 року та посібник, розроблений у рамках IED). У майбутньому збір даних та їх передача будуть покращені за використання цього посібника.
- Повинно бути зібрано більше інформації щодо методів моніторингу і частоти моніторингу, зокрема для ртуті та CO₂ (наприклад, PCDD/F і діоксиноподібних PCB) щодо процесів на аглофабриці у EAF.
- Якість інформації щодо використання води має бути покращена за допомогою чітко визначених строків водоспоживання, водозабору, стічних вод і нормування використання води. Для стічних вод необхідна додаткова інформація щодо скидів, має бути висловлена думка щодо періодів відбору проб протягом моніторингу.
- Повинна бути зібрана додаткова інформація щодо моніторингу викидів із значущих джерел розсіяних викидів, зокрема має бути покращена якість інформації щодо викидів від транспорту і поводження з пиловими матеріалами, таких як сировинні матеріали, деякі проміжні продукти і залишки.
- Повинна бути покращена якість інформації щодо моніторингу викидів від процесів підготовки сировинних матеріалів на зразок дроблення, подрібнення, змішування, грохочення, наприклад сушіння та пилоприготування вугілля для доменних печей.
- Для летких органічних сполук (ЛОС) слід чіткіше вказувати, чи включено метан, чи ні.
- Для РАН має бути чіткіше вказано, які конженери включено (наприклад, Borneff РАН, РАН, виражені як EPA 16, або просто розділ EPA 16 або ін.).
- Щодо PCB слід чіткіше вказувати, які конженери включено (наприклад, Ballschmitter PCB, WHO (12) або сума деяких конженерів PCB або ін.).
- Повинні бути зібрані дані щодо викидів від установок з очищення коксового газу, зокрема про ВТХ і РАН.
- Для агломераційних установок повинно бути зібрано більше інформації від вторинного пиловидалення (приготування сумішей, змішання, спікання, охолодження агломерату).
- Повинно бути зібрано більше вартісних даних (наприклад, капітальні витрати, експлуатаційні витрати) щодо всіх заходів/технологій.
- Повинні бути зібрані інформація і дані щодо думок з приводу мінімізації споживання енергії та підвищення енергоефективності.
- Повинна бути зібрана інформація щодо заходів/технологій із безперервного моніторингу викидів ртуті, яка може бути застосована у чорній металургії.
- Повинні тривати роботи з лиття за формою, близькою до кінцевої.

Теми, що пропонуються для майбутніх науково-дослідних робіт

Для агломераційних установок (див. п.п. 3.2.2.1.2.7 та 3.2.2.1.2.8) повідомлялося щодо викидів HCN, бензолу і РАН, які у деяких випадках є важливими. Оскільки причини їх появи залишаються незрозумілими, рекомендується проведення аналізу цих досліджень. У цьому контексті має бути розглянуто вплив використання антрациту.

Для коксових печей вимір викидів твердих частинок із веж гасіння повинен ґрунтуватися на офіційному методі відбору проб. Ще одна проблема пов'язана із встановленням узгодженого методу для вимірювання або оцінки розсіяних/неорганізованих викидів, наприклад ВТХ і РАН, від операцій на коксохімічному заводі, включаючи вежі гасіння.

Для кисневих конвертерів має бути перевірений моніторинг і вжиті заходи щодо зниження розсіяних викидів від важливих джерел, наприклад вторинні викиди.

Зокрема, щодо технологій, описаних у розділі Нові технології (пункт, 10.1.1 що стосується стратегій зниження викидів CO₂, і п. 10.3.1 щодо коксових печей підвищеної якості), повинні бути проведені науково-дослідні роботи. Можливо, ці технології буде доцільно розглянути у майбутньому під час визначення НДТМ для чорної металургії. Єврокомісія запускає та підтримує за допомогою своїх програм НДДКР низку проектів, що стосуються екологічно чистих технологій, нових технологій очищення та переробки, а також стратегій управління. Потенційно ці проекти можуть стати корисним внеском у майбутні огляди ДД НДТМ. Тому читачам пропонується повідомити Європейське бюро ІЗКЗ про будь-які результати досліджень, що стосуються сфери цього документа (також див. п'яту частину Передмови цього документа).

Усі зауваження та пропозиції слід направляти до Європейського бюро ІЗКЗ в Інститут перспективних технологічних досліджень за адресою:

Європейська Комісія (European Commission)

Інститут перспективних технологічних досліджень Європейського бюро ІЗКЗ (Institute for Prospective Technological Studies European IPPC Bureau)

Едіфіціо Експо (Edificio Expo)

к/ Інка Гарсіласо, 3 (с/ Inca Garcilaso, 3)

Е-41092 Севілья, Іспанія. (E-41092 Seville, Spain) Телефон: +34 95 4488 284

Факс: +34 95 4488 426

Електронна пошта: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu Вебсайт: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Arimitsu [Аріміцу], «Energy Saving in the Japanese Steel Industry» [Енергозбереження в японській металургійній промисловості], *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry* [Європейський симпозиум з екологічного контролю в металургійній промисловості] 1995, с. 105-136.
- [2] Auth et al. [От та ін.] «Die Entwicklung des Thyssen-Heißbrikettier-Verfahrens und die betriebliche Anwendung» [Розроблення процесу гарячого брикетування в компанії Thyssen та його практичне застосування], *Dritte Duisburger Recycling-Tage*, 1988.
- [3] Remus, R. [Ремус, Р.], «Minutes from the Expert meeting Emissions from storage and handling of bulk materials» [Протокол зустрічі експертів на тему «Викиди від зберігання та поводження із сипучими матеріалами»], *Expert meeting Emissions from storage and handling of bulk materials* [зустріч експертів на тему «Викиди від зберігання та поводження з сипучими матеріалами»], 1998, Umweltbundesamt, Берлін, Німеччина.
- [4] Beer et al. [Бір та ін.] , «Auswirkungen unterschiedlicher Koksgruskoernungen bei der Eisenerzsinterung» [Вплив розподілу зерен коксового бризу різного розміру на процес спікання], *Stahl und Eisen* 111, Вип. № 8, 57-64, 1991.
- [5] Beer et al. [Бір та ін.], «Verfahrenstechnische und metallurgische Maßnahmen zur Verminderung des Energieeinsatzes in Sinteranlagen» [Інтегровані до процесів та металургійні заходи для зменшення енергоспоживання агломераційних установок], *Stahl und Eisen*, Вип. № 11, 25-37, 1991.
- [6] Volkhausen, W. [Фолькхаузен, В.] , «Description of the Oхусur Process» [Опис процесу Охусур] , Особисте спілкування, 2008.
- [7] Bothe [Боте] , *Umweltproblematik bei der Eisenerzsinterung* [Екологічні проблеми процесу спікання залізних руд], 1993.
- [8] Endemann, G. [Ендеманн, Г.] , «Description of the DK-Process» [Опис DK процесу] , Особисте спілкування, 2008.
- [9] Fisher et al. [Фішер та ін.] , «Investigation of the Formation of Dioxins in the Sintering Process» [Дослідження утворення діоксинів у процесі спікання] , *2nd International Congress on the Science and Technology of Ironmaking Conjunction with the 57th Ironmaking Conference of Iron and Steel Society* [2-й Міжнародний конгрес із науки та технології щодо виплавки заліза разом із 57-ою конференцією з виплавки заліза Товариства з виробництва чавуну та сталі] , 1998, Торонто – Канада.
- [10] Kessler, K. [Кесслер, К.] , «Zero Waste Production bei der Stahlverwertung», *Metall*, Вип. Вип. 59 3, № 2005, 2005.
- [11] Campell et al. [Кемпелл та ін.] , *Оху-coal Injection at Cleveland Iron Works* [Інжекція Оху-coal на Клівлендському заводі з виробництва чавуну] , 1992, с. 120-125.
- [12] VDEh, Technical Background Paper om Recycling of FE-containing Material [Довідковий документ щодо технічного підґрунтя переробки матеріалів, що містять FE] , 2006.
- [13] Deckers et al. [Декерс та ін.] , «Development of Environmental Control Technologies» [Розвиток технологій контролю навколишнього середовища] , *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry* [Європейський симпозиум з екологічного контролю в металургійній промисловості], 1995, Прага.
- [14] Dietrich [Дітріх], *Reaktionskinetische Betrachtungen des Sintervorganges und Moeglichkeiten zur Leistungssteigerung* [Про кінетику реакції процесу спікання та можливості підвищення продуктивності], 1961.
- [15] Both, I. et al [Бот, І. та ін.], *Technologies for the optimum recycling of steelmaking residues* [Технології для оптимальної переробки залишків сталеплавильного виробництва], *Stahl und Eisen*, 2008.
- [16] Rentz [Ренц], *Report on Best Available Techniques in the Electric Steelmaking Industry* [Звіт про найкращі доступні технології та методи в електротехнічній промисловості], French- German Institute for Environmental Research [Франко-німецький інститут екологічних досліджень], 1997.

- [17] Hillman, C. and Sassen, K.-J. [Хіллман, К. та Сассен, К.-Я.], «Solutions for dusts and sludges from the BOF process» [Розчини для пилу та мулів у киснево-конвертерному процесі], *Stahl und Eisen*, Вип. Вип 128 № 5, 2006.
- [18] VDI/DIN, VDI 3790 part 1 Environmental meteorology – Emissions of gases, odours and dusts from diffuse sources – Fundamentals [частина 1 Екологічна метеорологія – Викиди газів, запахів і пилу від розсіяних джерел – Основні принципи], 2005.
- [19] EC BOF, *Technical Note on the Best Available Techniques to Reduce Emissions of Pollutants into the Air from the Basic Oxygen Steel Making* [Технічна записка щодо найкращих доступних методів зі зменшення викидів забруднюючих речовин у повітря від основного виробництва кисневої сталі], 1995.
- [20] VDI/DIN, VDI 4210 part 1 Remote sensing – Atmospheric measurements with LIDAR – Measuring gaseous air pollution with DAS LIDAR [частина 1 Дистанційне зондування – Вимірювання атмосфери за допомогою LIDAR – Вимірювання газового забруднення повітря за допомогою DAS LIDAR], 1999.
- [21] EC Coke, *Study on the Technical and Economical Aspects of Measures to Reduce (on the Basis of the Best Available Technologies) the Pollution (of Water and Other Environmental Areas) from the Industrial Emissions of Cokeries* [Дослідження технічних та економічних аспектів заходів щодо зменшення (на основі найкращих доступних технологій та методів) забруднення (води та інших екологічних територій) промисловими викидами коксових виробництв], 1996.
- [22] EC EAF, *Technical Note on the Best Available Technologies to Reduce Emissions of Pollutants into the Air from Electric Arc Steel Production Plants* [Технічна записка про найкращі доступні технології та методи зменшення викидів забруднюючих речовин у повітря із заводів з виробництва електродугової сталі], 1994.
- [23] EC EAF, *Optimisation of Environment and Related Energy Utilisation in Scrap-based Steelmaking (Phase I)* [Оптимізація навколишнього середовища та використання супутньої енергії у виробництві сталі на брухті (фаза I)], 1997.
- [24] EC Haskoning, *Techno-economic Study on the Reduction Measures, Based on Best Available Technologies, of Water Discharges and Waste Generation from the Primary and Secondary Iron & Steel Industry* [Техніко-економічне обґрунтування заходів скорочення, що ґрунтуються на найкращих доступних технологіях та методах, скидів води та утворення відходів від первинної та вторинної металургійної промисловості], 1993.
- [25] VDI/DIN, VDI 4285 part 1 Determination of diffuse emissions by measurements – Basic concepts [частина 1 Визначення дифузних викидів шляхом вимірювань – Основні поняття], 2005.
- [26] Oberösterreichische Landesregierung, UVP Linz 2010: Permit of the Environmental Impact Assessment «Linz 2010» [Дозвіл на оцінку впливу на навколишнє середовище «Лінц 2010»], 2004.
- [27] EC Panorama, «Iron and Steel» [Чавун та сталь], *Panorama of EU Industry 97* [Панорама промисловості ЄС 97], Вип. Вип.1 10-8 – 10-14, 1997.
- [28] ECSC, Treaty on the foundation of the European Union for Coal and Steel on April 18th (1951) [Договір про заснування Європейської спільноти з вугілля та сталі від 18 квітня 1951 року], 1951.
- [29] EC Sinter/BF, *Technical Note on Best Available Techniques to Reduce Emissions of Pollutants into the Air from Sinter Plants, Pelletisation and Blast Furnaces* [Технічна записка щодо найкращих доступних технологій та методів зменшення викидів забруднюючих речовин у повітря від агломераційних установок, пелетизації та доменних печей], 1995.
- [30] Roederer et al. [Рьодерер та ін.], *Coordinated Study «Steel-Environment»* [Координоване дослідження «Сталеє середовище»], 1996.
- [31] Caughlin, R. [Кофлін, Р.], «Note on fugitive and diffuse sources of particulate matter at steelworks» [Примітка про розсіяні та неконтрольовані джерела твердих частинок на металургійному комбінаті], Особисте спілкування, 2009.
- [32] Voestalpine Linz, Environmental statement [Екологічна заява 2008] 2008, 2008.

- [33] Eisenhut et al. [Айзенхут та ін.], «New Findings and Developments in Environmental Protection and Health Safety at Work on Coke Oven Plants» [Нові знахідки та розроблення в галузі охорони навколишнього середовища та охорони здоров'я під час роботи на коксохімічних заводах], *Ironmaking Conference Proceedings* [Матеріали конференції з виробництва заліза], 1988, Bergbau-Forschung GmbH, Ессен – Німеччина.
- [34] dena, Successful Record for Pump Systems: Energy Efficiency Pays Off [Успішне впровадження насосних систем: енергоефективність окупається], 2007.
- [35] Dr. Luengen, H.B. [д-р Люнген, Х.Б.], «Technische Entwicklungen in der Stahlindustrie verringern CO₂-Emissionen», [Технічні розроблення в ливарній промисловості, що зменшують викиди CO₂], *Rheinklima – die Zukunftsaehigkeit eines europaeischen Wirtschaftsraums im Wandel des Klimas*, 2005, Бонн.
- [36] EPRI, *Proceedings of the CMP Electric Arc Furnace Dust Treatment Symposium* [Робота Симпозіуму з обробки пилу електродуговою піччю CMP], EPRI Center for Materials Production [Центр виготовлення матеріалів EPRI], 1992.
- [37] Motz, *Annex I: Substance Identity – from the ferrous slag consortium agreement* [Додаток I: Ідентичність речовини – з консорціумної угоди щодо чорних шлаків], 2009.
- [38] EUROFER BOF, *Document on «Oxygen Steelmaking and Casting»* [Документ на тему «Виробництво та лиття кисневої сталі»], – Environmental Committee – Task Group Oxygen Steelmaking [Комітет з охорони навколишнього середовища – Робоча група з киснево-конвертерного виробництва], 1997.
- [39] EUROFER EAF, *Document on «Electric Arc Furnace Steelmaking»* [Документ на тему «Виробництво сталі для електродугової печі», –], – Environmental Committee – Task Group Electric Arc Furnace Steelmaking [Комітет з охорони навколишнього середовища – Робоча група Електрична дугова піч для виробництва сталі], 1997.
- [40] IPCC, *Fourth Assessment Report on Climate Change 2007, Synthesis Report* [Четвертий звіт експертів про кліматичні зміни, 2007, Зведений звіт], IPCC, 2007.
- [41] European Commission [Європейська Комісія], *BREF on Industrial Cooling Systems* [ДД НДТМ Промислові системи охолодження], Європейська Комісія, 2001.
- [42] EC [Єврокомісія], *Reference Document on General Principles of Monitoring (MON)* [ДД Загальні принципи моніторингу (MON)], 2003.
- [43] Freuhan [Фройхан], «Challenges and Opportunities in the Steel Industry» [Виклики та можливості в чорній металургії], *Iron and Steel Magazine* [журнал «Чавун та сталь»], Вип. № 3, 1993, с. 59-64.
- [44] Freuhan [Фройхан], «Effect of Emerging Technologies on Competitiveness in the Steel Industry [Вплив нових технологій на конкурентоспроможність у металургійній промисловості]», *Iron and Steel Magazine* [журнал «Чавун та сталь»], Вип. № 2, 1994, с. 17-22.
- [45] Gebert [Геберт], *Abgasreinigungssysteme fuer Sinteranlagen*, 1995.
- [46] Geiseler [Гайзелер], «Verwertung der Stahlwerksschlacken» [Рециклінг шлаків для киснево-конвертерного виробництва сталі], *Stahl und Eisen* 111, Вип. № 1, 1991, с. 133-138.
- [47] Geiseler [Гайзелер], *Verwertung von Hochofen- und Stahlwerksschlacken* [Рециклінг шлаків від доменних печей і киснево-конвертерного виробництва], 1992, с. 1-32.
- [48] EC [Єврокомісія], *Reference Document on Energy Efficiency (ENE)* [ДД Енергоефективність (ENE)], 2008.
- [49] Goverde et al. [Говерд та ін.], *Milieuvoorzieningen bij Hoogovens Ijmuiden*, 1995.
- [50] Grützmacher et al. [Грюцмахер та ін.], *Staubunterdrueckung in Hochofengießhallen* [Придушення пилу в ливарних цехах], 1991, с. 51-56.
- [51] UN ECE, *Recommendations on Monitoring and Response Procedures for Radioactive Scrap Metal* [Рекомендації щодо моніторингу та процедур реагування на металевий брухт із радіоактивністю], ООН, 2006.

- [52] de Haas et al. [де Хаас та ін.], *Vermeidung der Staubbildung in Hochofenabgasanlagen* [Предупинення пилу в ливарних цехах доменних печей], 1997.
- [53] BDSV, *European Steel Scrap Specification* [Європейська специфікація металобрухту], 2009.
- [54] Haissig [Хайссіг], «21st Century Electric Steelmaking: The Integrated Meltshop» [Електричне виробництво сталі 21 століття: інтегрований плавильний цех], *Iron & Steel Society's 25th Advanced Technology Symposium in St. Petersburg Beach* [25-й симпозиум Товариства з виробництва чавуну та сталі на пляжі Санкт-Петербурга], 1997, США-Флорида 11-14 травня.
- [55] Harp et al. [Харп та ін.], *Untersuchung und Bewertung der Einsatzmöglichkeiten verschiedener Verfahren zur Aufbereitung von Huettenwerksrest- und -abfallstoffen* [Дослідження та оцінка застосовності різних методів обробки залишків та побічних продуктів із металургійних заводів повного циклу], *Betriebsforschungsinstitut (BFI)*, 1990.
- [56] Dr. Gaertner, A. [д-р Гертнер, А.], «Messung diffuser Emissionen», *Workshop on «Diffuse Emissionen»* [семинар «Розсіяні викиди»], 2004, Дюссельдорф.
- [57] Heinen [Хайнен], *Elektrostahl-Erzeugung, 4. Aufl. (Electric Arc Furnace Steel Production, 4. Ed.)* [Виробництво сталі в електродуговій печі, 4 видання], *Verlag Stahleisen GmbH, Дюссельдорф*, 1997.
- [58] Kaestli, P. [Кестлі, П.], «Comparison of conversion costs of continuous scrap preheating systems» [Порівняння витрат на конверсію систем безперервного попереднього нагрівання брухту], *Особисте спілкування*, 2009.
- [59] Nethe [Нете], *Der Einsatz von Sorbentien im gesamten System von Abgasreinigungsanlagen*, 2005.
- [60] Hille et al. [Гіль та ін.], *Wirtschaftliche Betrachtungen zur Entwicklung der Hochofenkapazitäten in der Welt* [Економічні міркування розвитку виробничих потужностей доменних печей у світі], 1997, с. 93-101.
- [61] Hodges [Ходжес], «Pollution Prevention and the Sinter Plant» [Запобігання забрудненню та агломераційні установки], *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry* [Європейський симпозиум з екологічного контролю в металургійній промисловості], 1995, Прага.
- [62] Hoffmann [Хоффманн], *Die Rueckgewinnung von Zink und Blei aus Staeben der Elektrostahlerzeugung* [Відновлення цинку та свинцю з пилу під час виготовлення сталі в електродуговій печі], 1997.
- [63] Wirling, J. [Урлінг, Дж.], «Safety aspects in the use of carbonaceous sorbents during waste gas treatment» [Аспекти безпеки при використанні вуглецевих сорбентів під час обробки відпрацьованих газів], *MT International* [МТ Інтернешнл], Вип. 3, 2007, с. 144-152.
- [64] IISI, *The Management of Steel Industry By-products and Wastes* [Управління побічними продуктами та відходами металургійної промисловості], *IISI-Committee on Environmental Affairs* [IISI-Комітет з питань навколишнього середовища], 1985.
- [65] InfoMil, *Dutch Notes on BAT for the Production of Primary Iron and Steel* [Нідерландські нотатки щодо НДТМ для виробництва первинного заліза та сталі], *Spatial Planning and the Environment, Directorate for Air and Energy, Department of Industry* [Просторове планування та довкілля, Дирекція з повітря та енергетики, Департамент промисловості], 1997.
- [66] Joksch [Йокш], «Development of Energy Conservation Technology at Thyssen Stahl AG in Germany» [Розвиток технології енергозбереження в компанії Thyssen Stahl AG, Німеччина], *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry* [Європейський симпозиум з екологічного контролю в металургійній промисловості], 1995, Прага.
- [67] TSW GmbH, «Anlagen- und Betriebsbeschreibung zur Modernisierung und umwelttechnischen Sanierung des Stahlwerks der TSW», *Особисте спілкування*, 2005.

- [68] Karcher et al. [Кархер та ін.], *Ermittlung und Verminderung der Emissionen von Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen: Untersuchung der Zusammenhaenge der Dioxin-/Furanemissionen in Abhaengigkeit von Einsatzstoffen und Minderungstechniken bei Elektrolichtbogenofen* [Дослідження та зменшення викидів PCDD/F від теплових процесів: Дослідження зв'язків викидів PCDD/F залежно від методів введення та мінімізації в електродугових печах], 1996.
- [69] Kemeny [Кемені], «Technical Look at EAF Dust Treatment. Proceedings of the CMP Report» [Технічний погляд на обробку пилу EAF. Матеріали доповіді CMP], *CMP Electric Arc Furnace Dust Treatment Symposium* [Симпозіум обробки пилу електродуговою піччю CMP], Вип. № 94-2, 1994.
- [70] Kersting et al. [Керштінг та ін.], «Countermeasures for Organic Emissions from Sinter Plants (1997)» [Контрзаходи щодо органічних викидів з агломераційних установок (1997 рік)], *ENCOSTEEL – Steel for Sustainable Development* [ENCOSTEEL – сталь для сталого розвитку], 1997, 16-17 червня 1997 року в м. Стокгольм – Швеція.
- [71] Kim et al. [Кім та ін.], «Improvement of Sinter Plant Stack Emissions at Kwangyang Works, Posco» [Поліпшення викидів агломераційних установок на заводі Kwangyang Works компанії Posco], *2nd International Congress on the Science and Technology of Ironmaking Conjunction with the 57th Ironmaking Conference of Iron and Steel Society* [2-й Міжнародний конгрес з науки та технології щодо виплавки заліза разом із 57-ою конференцією з виплавки заліза Товариства з виробництва чавуну та сталі], 1998, Торонто – Канада 22- 25 березня.
- [72] N.N., *Eisen und Stahlerzeugung, Hinweise und Erlaeuterungen zu Anhang 29 der Abwasserverordnung*, 2005.
- [73] Knapp [Кнапп], «Quality and Improvements of the Shaft Furnace with Post-combustion» [Якість та удосконалення шахтної печі з післяспалюванням], *Monterrey Symposium* [Симпозіум в м. Монтеррей], 1996, Монтеррей.
- [74] Knoerzer et al. [Кньорзер та ін.], «The Design and Operation of Jewell’s New Nonrecovery Coke Oven Batteries» [Дизайн та експлуатація нових акумуляторів коксової печі, що не відновлюються], *50th Ironmaking Conference* [50-та конференція з виробництва чавуну], 1991, США-Вашингтон 14-17 квітня.
- [75] Knoop et al. [Кнооп та ін.], «Steuerung des Einschmelzens im Drehstrom-Lichtbogenofen zum Schutz der Wandkuehlelemente» [Управління плавленням у трифазній струмовій електродуговій печі для захисту бічних стінок, що охолоджуються водою], *Stahl und Eisen* 117, Вип. № 2, 1997, с. 91-96.
- [76] Koeller [Кьоллер], «Environmental Protection – A Challenge to Management in the Austrian Steel Industry» [Охорона навколишнього середовища – виклик менеджменту в австрійській металургійній промисловості], *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry* [Європейський симпозіум з екологічного контролю в металургійній промисловості], 1995, Прага – Чехія.
- [77] Австрійський член ТРГ, австрійський коментар до першого проєкту розглянутого ДД НДТМ, 2008.
- [78] Kreulitsch et al. [Кройліч та ін.], *Iron and Steelmaking of the Future* [Виробництво чавуну та сталі майбутнього], Iron and Steelmaking International [Міжнародне виробництво чавуну та сталі], 1994, с. 4-8.
- [79] Kuhner et al. [Кунер та ін.], «Noise Abatement for Electric Arc Furnaces» [Зменшення шуму електричних дугових печей], *Iron and Steel Engineer* 73 [Інженер із виробництва чавуну та сталі 73], Вип. № 4, 1996, с. 83-86.
- [80] Dornseiffer, P. [Дорнзайффер, П.] Люксембурзький коментар до першого проєкту розглянутого ДД НДТМ, 2008. [81] Норвезький член ТРГ, Норвезький коментар до першого проєкту розглянутого ДД НДТМ, 2008.
- [82] Lemperle et al. [Лемперле та ін.], *Corex Today and Tomorrow* [Corex сьогодні і завтра], Metallurgical Plant and Technology International [Міжнародний журнал щодо металургійного заводу і технологій], 1993.

- [83] Ehrlich, C. et al [Ерліх, К. та ін.], «PM 10, PM 2.5, PM 1,0-Emissions from industrial plants-Results from measurement programmes in Germany» [PM 10, PM 2,5, PM 1,0-Викиди від промислових заводів – Результати програм з вимірювань у Німеччині], *Atmospheric Environment* [Атмосферне навколишнє середовище], Вип. 41, 2007, с. 6236 – 6254.
- [84] Grasselli, A. and Raggio, C. [Грасселлі, А. та Раджіо, К.], «Consteel EAF Technology» [Технологія Consteel EAF], Особисте спілкування, 2008.
- [85] VDI/DIN, VDI 2584 – Naturstein Aufbereitungsanlagen in Steinbrüchen, 2006.
- [86] Linninger et al. [Ліннінгер та ін.], «Modernes Technologie- und Informationsmanagement am Beispiel der Auslegung von Elektrolichtbogenöfen» [Сучасні технології та управління інформацією завдяки проектуванню електродугових печей], *Stahl und Eisen* 115, Вип. № 3, 1995, с. 93-101.
- [87] Medinger et al. [Медінгер та ін.], *Bilanz der Quecksilbermissionen aus Quellen im Linzer Stadtgebiet* [Балансування викидів ртуті в районі міста Лінц], місто Лінц – Управління з охорони навколишнього середовища, 1996.
- [88] Lühr et al. [Льор та ін.], «State of the Art in Biological Waste water Treatment in European Coking Plants» [Сучасний рівень біологічних стічних вод. Очищення на європейських коксових заводах], 1996, Гент.
- [89] Lühr et al. [Льор та ін.], *Process for Waste water Treatment of Coking Plants* [Процес очищення стічних вод. Очищення коксових заводів], 1997, с. 54-60.
- [90] Köhler et al. [Кьолер та ін.], «Introduction to PW Bell less top charging system» [Вступна інформація щодо системи верхнього завантаження PW Bell less], Особисте спілкування, 2009.
- [91] Memoli, F. and Ferri, M. [Мемолі, Ф. та Феррі, М.], «New track record for Consteel due to new environment-friendly features» [Новий досвід роботи Consteel завдяки новим екологічним характеристикам], *MPT International* [МІТТ Інтернешнл], Вип. № 5 2007, 2007, с. 58 – 65.
- [92] Lünen [Люнген], «Roheisenerzeugung im Jahr 2000» [Виробництво чушкового чавуну у 2000 році], *Stahl und Eisen* 115, 1995, с. 45-55.
- [93] Matzke [Мацке], *Blei-, Zink- und Alkalientfernung beim Sintern von Reicherzmischungen* [Видалення свинцю, цинку та луку під час спікання збагачених рудних сумішей], 1987.
- [94] Mc Manus [Мак Манус], *Scrap Preheating: A Trend Gains Momentum* [Попереднє нагрівання брухту: тенденція набирає оберті], 1995, с. 60-61.
- [95] Mertins [Мертінс], «Die Aufbereitung von Hochofengichtgasschlaemmen – ein Beitrag zur Entsorgung eines Abfallstoffes» [Обробка шламів доменного газу – внесок у знешкодження твердих відходів], *VCH, Verlag Erzmetal* 39, Вип. № 7, No 8, 1986, с. 399-404.
- [96] VDI/DIN, VDI 4211 part 1 Remote sensing – Atmospheric measurements near ground with FTIR spectroscopy – Fundamentals [частина 1 Дистанційне зондування – Атмосферні вимірювання поблизу землі за допомогою спектроскопії FTIR – Основні принципи], 2000.
- [97] Murphy et al. [Мерфі та ін.], «High Pressure Water Jet Coke-oven Door Cleaning and Mass-flow Charging of Ovens» [Очищення дверцят коксової печі водяним струменем високого тиску та масове заряджання печей], *Iron and Steel Engineer* [Інженер з виробництва чавуну та сталі], Вип. № 3, 1991, с. 23-30.
- [98] Nagai [Нагаї], *Sources of Iron Beyond 2000* [Джерела чавуну за межею 2000 року], EAF Supplement [Додаток EAF], 1995.
- [99] DK Recycling, «DK recycling operational data» [Експлуатаційні дані щодо рециклінгу DK], Особисте спілкування, 2009.
- [100] Nathaus et al. [Натхаус та ін.], *Wet Quenching Towers with De-dusting Equipment – Brochure and Reference List* [Мокрі гартувальні вежі з обладнанням для знепилювання – Брошура та перелік посилань], 1997.
- [101] Neuschütz et al. [Нойшютц та ін.], «Comparison on Thermochemically Calculated and Measured Dioxin Contents in the Off-gas of a Sinter Plant – Part 1» [Порівняння термохімічно розрахованого та виміряного вмісту діоксину у відпрацьованих газах агломераційної установки – частина 1], *9th Japan-Germany Seminar on Fundamentals of Iron and Steelmaking* [9-й японсько-німецький семінар з основ виготовлення чавуну та сталі], 1996, 8-9 вересня.

- [102]Eurofer, Eurofer comments on the first draft of the reviewed IS BREF [Коментарі європейської сталеливарної асоціації EUROFER до першого проєкту, розглянутого ДД НДТМ], 2008.
- [103]OECD [ОЕСР], *Environmental Implications of Energy Use in Industry [Екологічні наслідки використання енергії в промисловості]*, Організація економічного співробітництва та розвитку, 1988.
- [104]te Lindert et al. [те Ліндерт та ін.], *Demonstration Plant for Sintering with Reduced Volume of Flue-gases [Демонстраційна установка для спікання зі зменшеним обсягом димових газів]*, 1997.
- [105]Pazdej et al. [Паздей та ін.], «Treatment of BF and BOF Dust and Sludges» [Обробка пилу та шламів BF та BOF], *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry [Європейський симпозиум з екологічного контролю в металургійній промисловості]*, 1995, Прага – Чехія.
- [106]Pedersen et al. [Педерсен та ін.], «Environmental Aspects of Steel Mill Gas Cleaning» [Екологічні аспекти очищення газу на сталеливарному заводі], *Steel and the Environment in the 21st Century [Сталь та навколишнє середовище у 21 столітті]*, 1996, Лондон 2-3 квітня.
- [107]N.N., «Rogesa: Neue Abgasreinigung an Sinteranlage», *Stahl und Eisen*, Вип. 129 №2, 2009, с. 1.
- [108]Philipp et al. [Філіпп та ін.], «Umweltschutz in der Stahlindustrie – Entwicklungsstand – Anforderungen – Grenzen» [Охорона навколишнього середовища в металургійній промисловості – Стан розвитку – Вимоги – Межі], *Stahl und Eisen 107*, Вип. № 11, 1987, с. 507-514.
- [109]Hein, M. et al [Хайн, М. та ін.], «Umweltaspekte beim Nasslöschen», *Fachtagung Kokereitechnik*, 2000, Ессен.
- [110]Brouhon [Браухон], бельгійський коментар до першого проєкту, розглянутого ДД НДТМ, 2008.
- [111]Poth [Пот], «Die Schlackengranulation des Hochofens Schwelgern mit einer OCP-Entwaesserung» [Грануляція шлаку доменної печі Швельгерн із зневодненням OCP], *Stahl und Eisen 105*, 1985, с. 386-389.
- [112]Pütz [Пюц], «Uebersicht ueber Dioxinemissionsquellen der Stahlindustrie unter besonderer Beruecksichtigung ihrer Sinteranlagen» [Огляд щодо джерел PCDD/F у металургійній промисловості з особливим урахуванням агломераційних заводів], *12. Aachener Stahlkolloquium*, 1997.
- [113]Gidlund et al. [Гідлунд та ін.], Інформація про шведські установки для отримання окатишів, 2008.
- [114]Remus, Rainer [Ремус, Райнер], «Mission report (Corus Ijmuiden, the Netherlands)» [Компанія Corus, м. Еймьойден, Нідерланди], Особисте спілкування, 2008.
- [115]Walker, D.; Barkdoll, M. [Уокер, Д.; Бардолл, М.], «Cokemaking» [Виготовлення коксу], *Cokemaking International [Міжнародний журнал щодо виготовлення коксу]*, Вип. 14 №1, 2002. [116]Rentz et al. [Ренц та ін.], *Stoffstrommanagement in der Eisen- und Stahlindustrie [Управління у сфері виготовлення чавуну та сталі (Потік матеріалів)]*, E. Schmidt Verlag, 1996.
- [117]Hoffmann, A. et al [Хоффманн, А. та ін.], «Cokemaking» [Виготовлення коксу], *Cokemaking International [Міжнародний журнал щодо виготовлення коксу]*, Вип. 13 №2, 2001.
- [118]Rothery [Ротері], *Desulphurisation of Coke Oven Gas by HSR Process [Десульфуріація коксового газу методом HSR]*, 1987.
- [119]Sakuragi et al. [Сакурагі та ін.], *Operation Results of the Exhaust Gas Recirculation System in Tobata № 3 Sinter Plant [Результати експлуатації системи рециркуляції відпрацьованих газів у Тобаті Агломераційна установка № 3]*, La Revue de Métallurgie – CIT, 1995.
- [120]Schiemann [Шірманн], *Untersuchungen des Sammelschrotts auf PCB-Quelen und Entwicklung geeigneter Vorbehandlungsmaßnahmen [Дослідження зібраного брухту на джерелах PCB та розроблення відповідної попередньої обробки]*, 1995.

- [121]Hein, M. [Хайн, М.], «Cokemaking» [Виготовлення коксу], *Cokemaking International* [Міжнародний журнал щодо виготовлення коксу], Вип. 14 №1, 2002.
- [122]Scholz et al. [Шольц та ін.], «The Formation of PCB on Fly Ash and Conversion to PCDD/PCDF» [Формування PCB на попелі та перетворення на PCDD/PCDF], *Organohalogen Compounds* [Органогалогенні сполуки] 31, 1997, с. 538-541.
- [123]SHI, *A System for Waste Heat Recovery in Sintering Plant* [Система для утилізації відходів тепла на агломераційній установці], 1987.
- [124]Arendt, P. et al [Арендт, П. та ін.], «Konventioneller Horizontalkammerofen», *Stahl und Eisen* 126 № 1, 2006. [125]Smith [Сміт], *New Concept in EAF Energy Saving Commissioned at Sheerness Steel* [Нова концепція енергозбереження EAF, замовлена в Sheerness Steel], I&SM, 1992, с. 57-59.
- [126]Spencer et al. [Спенсер та ін.], *Chem. and Eng. Technology* [Хім. та інж. технологія] 15, 1992.
- [127]Dr. Fleischanderl, Alexander [д-р Фляйшандерл, Александер], «Improved dry-type gas cleaning process for the treatment of sinter offgas» [Удосконалений процес очищення газу сухим типом для обробки агломерату], *MPT International*, Вип. № 3 2006, 2006.
- [128]Sporenberg [Шпоренберг], *Messprotokolle und Berichte über die Durchführung von Emissionsmessungen im Kamin der Sinteranlage sowie Nebenanlagen der EKO Stahl GmbH Eisenhüttenstadt*, Umweltschutz Messtechnik GmbH, 2006.
- [129]Stalherm et al. [Штахерм та ін.], *Design and Start-up of the Third Wide Chamber Coke-oven Battery at Prosper, West-Germany* [Проектування та запуск третьої широкої камерної коксової батареї в Проспері, Західна Німеччина], 1990, с. 9-15.
- [130]Stalherm et al. [Штахерм та ін.], *Cokemaking and the Environment* [Виробництво коксу і довкілля], *Steel Times International* [Стіл Таймс Інтернешнл], 1995, с. 19- 22.
- [131]Stat Stahl, *Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 1996* [Статистичний щорічник металургійної промисловості за 1996 рік], 1997.
- [132]Steeghs et al. [Штігс та ін.], *High Injection Rates of Coal into the Blast Furnace* [Висока швидкість інжекції вугілля в доменну піч], 1994.
- [133]Stieglitz et al. [Штігліц та ін.], *Investigation of Precursors Reaction in the De-Novo Synthesis of PCDD/PCDF on Fly Ash* [Дослідження реакції прекурсорів у синтезі de novo PCDD/PCDF на золі], 1997, с. 1083-1090.
- [134]Strohmeier et al. [Штохмайер та ін.], *Steelworks Residues and the Waelz Kiln Treatment of Electric Arc Furnace Dust* [Залишки виробництва металургійного заводу та обробка в ротаційній печі Waelz Kiln пилом електричної дугової печі], 1996, с. 87-90.
- [135]Busink, R. [Бусінк, Р.], «Specific emissions to water from direct cooling at continuous casting» [Питомі скиди у воду від прямого охолодження при безперервному литті], Особисте спілкування, 2009.
- [136]Theobald [Теобальд], *Kreislauffuehrung von Hochofenwaschwasser* [Утилізація очисної води доменної печі], 1988.
- [137]Theobald [Теобальд], *Ermittlung und Verminderung der Emissionen von halogenierten Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen* [Дослідження викидів поліхлорованих дифензодіоксинів, фуранів та важких металів із залізних та сталевих заводів], 1995.
- [138]Theobald [Теобальд], *Hintergrundpapier zum Anhang 24 (Anforderungen an die Eisen- und Stahlindustrie) zur Rahmen-Abwasserordnung nach § 7a Wasserhaushaltsgesetz* [Довідковий документ щодо вимог у Додатку 24 (Вимоги до металургійної промисловості) Правила про стічні води згідно з Розділом 7a Німецького закону про управління водою], 1997.
- [139]GfA Münster-Roxel, *Emissionen der Primorec S.A.in Differdange*, Люксембург, 2008.
- [140]Eurofer, *Compilation of open issues according to the Member state comments and gaps of information on the review of the IS BREF draft* [Збірник відкритих питань відповідно до коментарів країн-членів та прогалин в інформації про огляд проекту ДД НДТМ], 2009.
- [141]Ferry, M. [Феррі, М.], *Direct strip casting of metals and alloys* [Пряме лиття металів та сплавів], 2006.

- [142]Hendricks, C. [Хендрікс, К.], «Strip casting technology – A revolution in the steel industry?» [Технологія лиття стрічкою – революція в металургійній промисловості?], *MPT International*, Вип. Вип. 18 № 3, 1995.
- [143]UA-ОО, «Quecksilberemissionen aus Sinteranlagen» [Викиди ртуті з агломераційної установки], Особисте спілкування, 1998.
- [144]UBA-BSW, *Ermittlung und Verminderung der Emissionen von Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen; Untersuchung der Zusammenhaenge der Dioxin-/Furanemissionen in Abhaengigkeit von Einsatzstoffen und Minderungstechniken bei Elektro-Lichtbogenofen* [Визначення та мінімізація викидів PCDD/F від теплових процесів, дослідження впливу вхідних елементів електродугової печі та методів контролю викидів на формування викидів PCDD/F], що фінансується Федеральним агентством з охорони навколишнього середовища Німеччини, Берлін, 1996.
- [145] Коментарі UBA, *Comments on the draft «Dutch Notes on Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the Production of Primary Iron and Steel»* [Коментарі до проекту «Голландські нотатки щодо найкращих доступних технологій та методів запобігання забрудненню та контролю за виробництвом первинного заліза та сталі»], Агентство з охорони навколишнього середовища Німеччини (UBA), Берлін, 1997.
- [146]Schäperkötter, M. et al [Шеперкьоттер, М.], *Energieeinsparung, CO₂-Emissionsminderung und Ressourcenschonung bei der Herstellung und Anwendung von (hochfesten und duktilen) HSD-Stählen*, BMBF, 2009.
- [147]UK EAF, *Chief Inspector's Guidance to Inspectors – Process Guidance Note* [Посібник головного інспектора для інспекторів – Керівні настанови до процесу] IPR 2/3, 1994.
- [148]UK Coke, *Chief Inspector's Guidance Note, Series 2 (S2) – Processes Subject to Integrated Pollution Control* [Керівні настанови головного інспектора, Серія 2 (S2) – Процеси, що підлягають комплексному контролю за забрудненням], 1995.
- [149]Kemper, G. [Кемпер, Г.], «State of the Art in Continuous Casting Technology» [Сучасний рівень технологій безперервного лиття], *Stahl 2008*, 2008, Дюссельдорф.
- [150]Bakker, Wim [Баккер, Уім], нідерландський коментар до першого проекту, розглянутого ДД НДТМ, 2008.
- [151]TÜV Süd Industrie Service GmbH, *Emissionsmessungen an diffusen Quellen im Oxygenstahlwerk 1; hier:Dachreitern der Mischerhalle und über den Konvertern bei Thyssen Krupp Stahl AG Duisburg-Bruckhausen*, 2005.
- [152]Ullmann's, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5. edition Steel* [Енциклопедія промислової хімії Уллмана, 5 видання], VCH Verlagsgesellschaft, Вайнгайм, 1994.
- [153]UN-ECE [ЄЕК ООН], *The Recuperation and Economic Utilization of By-products of the Iron and Steel Industry* [Відновлення та економічне використання побічних продуктів металургійної промисловості], Організація Об'єднаних Націй, Європейська економічна комісія, Женева – Швейцарія, 1990.
- [154]UN-ECE [ЄЕК ООН], «By-Product Utilization from Stationary Installations» – *Status Report* [Використання побічного продукту від стаціонарних установок – Звіт про стан справ], Австрійське федеральне відомство захисту навколишнього середовища, Відень – Австрія, 1996.
- [155]UN-ECE [ЄЕК ООН] Pops, *Long-range Transboundary Air Pollution* [Транскордонне забруднення повітря на великі відстані], Організація Об'єднаних Націй / Європейська економічна комісія, 1997.
- [156]Coke oven manager association [Асоціація менеджерів коксових печей], Перелік британських та європейських вугільно-коксохімічних заводів, 2008. [157]Thompson, P. et al [Томпсон, П. та ін.], *Process related pattern in dioxin emissions: a simplified eassessment procedure applied to coke combustion in sinter plant* [Закономірність процесів викидів діоксину: спрощена процедура оцінки, що застосовується до спалювання коксу в агломераційній установці], sciencedirect, 2003.
- [158]Dr. Ameling, D. [д-р Амелінг, Д.], «Steel – Innovative solutions for energy and ressource challenges» [Сталь – інноваційні рішення для енергетики та викликів у сфері ресурсів], *8th International Arab Iron and Steel Confernese* [8-а Міжнародна арабська конференція з металургії], 2008, Доха – Катар.

- [159]VAI, «Successful Application of the Top-layer-sintering Process for Recycling of Ferrous Residuals Contaminated with Organic Substances» [Успішне застосування процесу спікання верхнього шару для переробки залишків чавуну, забруднених органічними речовинами], *56th Ironmaking Conference* [56-а конференція з виробництва чавуну], 1997, США-Чикаго 13-16 квітня.
- [160]IEA Clean Coal Centre [Центр чистого вугілля IEA], *Use of PCI in blast furnaces* [Використання PCI у доменних печах], 2006.
- [161]Vos, «Environmental Control at Hoogovens IJmuiden Coke Oven Plant» [Екологічний контроль на заводі коксових печей Hoogovens в м. Еймьойден, Нідерланди], *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry* [Європейський симпозиум з екологічного контролю в металургійній промисловості], 1995, Прага.
- [162]Voss-Spilker et al. [Фосс-Шпілкер та ін.], «Emission Prevention and Energy Saving in Electric Arc Furnaces by the Fuchs Shaft Furnace Technology» [Запобігання викидам та енергозбереження в електродугових печах за технологією шахтної печі Фукса], *Steel and the Environment in the 21st Century* [Сталь та навколишнє середовище у 21 столітті], 1996, Лондон – Великобританія 2-3 квітня.
- [163]Infomil, *Range of achieved emission concentrations applying Arsenic removal in a pelletisation plant* [Діапазон досягнутих концентрацій викидів із застосуванням видалення арсену на заводі для отримання окатишів], 2009.
- [164]Weiss [Вайсс], «Minderung der PCDD/PCDF-Emissionen an einer Eisenerzsinteranlage» [Зниження викидів PCDD/F від заводу агломерату залізної руди], *VDI-Colloquium «Dioxins – Occurrence, Reduction, Monitoring»* [VDI-Колоквіум «Діоксини – поява, скорочення, моніторинг»], 1996, Фульда – Німеччина, 29-30 жовтня.
- [165]VDI/DIN, *VDI 3790 part 3 Environmental meteorology – Emission of gases, odours and dusts from diffuse sources – Storage, transshipment and transportation of bulk materials* [VDI 3790 частина 3 Екологічна метеорологія – Викиди газів, запахів та пилу з розсіяних джерел – Зберігання, перевантаження та транспортування сипучих матеріалів], 1999.
- [166]Lundqvist, A. [Лундквіст, А.], «Operational data from the plants located in Malmberget and Kiruna, Sweden» [Експлуатаційні дані з заводів, розташованих у Мальмбергеті та Кіруні, Швеція], *Особисте спілкування*, 2009.
- [167]Werner [Вернер], *Control of Organic Micropollutants from the EAF* [Контроль за органічними мікробруднювачами з EAF], International Iron and Steel Institute [Міжнародний інститут заліза і сталі], 1997, с. 247-255.
- [168]EC, *BREF on Large Volume Inorganic Chemicals – Solids and Others (LVIC-S)* [НДТМ ЄС Великі обсяги неорганічних хімічних речовин – тверді частинки та інші (LVIC-S)], 2007.
- [169]LKAB, *Ökad pelletskapacitet i Karuna – Teknisk beskrivning*, 2004.
- [170]N.N., «Chimie industrielle: Proposition de facteurs d'émission por la sidérurgie wallonne; chargement du haut fourneau (SNAP 040202)», *Особисте спілкування*, 1997.
- [171]N.N., *EIE relative á une demande de permis d'environnement. Redémarrage du haut fourneau № 6 de Seraing. ArcelorMittal, SGA Бельгія S.A.*, 2007.
- [172]Fandrich et al. [Фандріх та ін.], «Actual review on secondary metallurgy» [Фактичний огляд вторинної металургії], *La Revue de Métallurgie – CIT*, 2008, с. 364 – 374.
- [173]UBA-Germany [UBA-Німеччина], *Дані щодо очищення стічних вод коксохімічної установки*, 2005.
- [174]Euroslag, *Legal Staus of Slags – Position Paper* [Юридичний статус шлаків – Документ з викладенням позиції], Європейська асоціація шлаків, 2006. [175]Eurofer, *Внесок у другий переглянутий проєкт ДД НДТМ в липні 2009 року*, 2009.
- [176]EPA, *Різні джерела*, AP 42, 2009.
- [177]Eurofer, *Коментарі до другого переглянутого проєкту ДД НДТМ в липні 2009 року*, 2009.
- [178]N.N., *Untersuchung einer Abwasserprobe der BSW Kehl*, 2008.

- [179] Metz et al. [Метц та ін.], *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Спеціальний звіт IPCC щодо вловлювання та зберігання вуглекислого газу. Підготовлено робочою групою III Міжурядової групи з питань зміни клімату], Cambridge University Press [Видавництво Кембріджського університету], 2005.
- [180] N.N., *CO₂ Capture and Storage – A key carbon abatement option* [Уловлювання та зберігання CO₂ – ключовий варіант зменшення вуглецю], IEA International Energy Agency [Міжнародне енергетичне агентство], 2008.
- [181] Vangkilde-Pedersen et al. [Вангкільде-Педерсен та ін.], *Towards Hydrogen and Electricity Production with Carbon Capture and Storage* [До виробництва водню та електроенергії із уловлюванням та зберіганням вуглецю], 2007.
- [182] Infomil, «Infomil contribution on BOF emissions at Corus IJmuiden» [Внесок Infomil щодо викидів BOF в компанії Corus, м. Еймьойден, Нідерланди], Особисте спілкування, 2009.
- [183] Weiss [Вайсс], *Massnahmen zur Verbesserung der Entstaubung einer Eisenerzsinteranlage mit nach folgenden Untersuchungen zur Minderung der PCDD/PCDF-Emissionen*, Stahlwerke Бремен, 1998.
- [184] European Union [Європейський Союз], *Commission staff working document – updated sectoral overview* [Робочий документ співробітників Комісії – оновлений галузевий огляд], 2009.
- [185] EC [Єврокомісія], *Reference Document on Economics and Cross-Media Effects (ECM)* [Довідковий документ на тему «Економіка та міжсередовищні наслідки» (ECM)], 2006.
- [186] Sowa et al. [Сова та ін.], «Advanced Technologies for Desulphurisation of Coke Oven Gas» [Передові технології десульфурзації коксового газу], COG *Desulphurisation ICC 2009 Ranchi*, 2009, Ранчі, Індія.
- [187] TÜV SÜD, *Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen zur Ermittlung der Konzentrationen an polychlorierten Dibenzo-Dioxinen und Furanen (PCDD/F) im gereinigten Abgas der Sinterbänder 2, 3 und 4 einer Sinteranlage der ThyssenKrupp Steel AG*, 2007.
- [188] European Commission [Європейська Комісія], *BREF on Ferrous Metals Processing Industry* [НДТМ Чорна металургія], 2001. [189] N.N., «Data from the Emission register» [Дані з реєстру викидів], Особисте спілкування, 2008.
- [190] Eurofer, «Sinter plant ArcelorMittal Bremen, Dust Emission 1999 to 2009» [Агломераційна установка ArcelorMittal у м. Бремен, викиди пилу з 1999 по 2009 рік], Особисте спілкування, 2010.
- [191] Infomil, «Infomil Contribution on EAF emissions in the Netherlands» [Внесок Infomil щодо викидів EAF у Нідерландах], Особисте спілкування, 2010.
- [192] Schlüter [Шлютер], «Hydro-Hybrid Filter for BOF gas cleaning» [Гідрогібридний фільтр для очищення газу BOF], Особисте спілкування, 2009.
- [193] Voestalpine Linz, *Emissionsmessungen Sinterband 5 – Reingas Quecksilber -*, 2010.
- [194] Leroy et al [Леруа та ін.], *New abatement techniques of the atmospheric emissions of large sinter plant* [Нові методи зменшення викидів в атмосферу великої агломераційної установки], 2007.
- [195] Werner [Вернер], «Data about the utilisation of EAF slags in 2008» [Дані про використання шлаків EAF у 2008 році], Особисте спілкування, 2010.
- [196] Josis [Джосіс], «New data for the biological waste water treatment plant at Sidmar and Seremange» [Нові дані для біологічної очисної споруди в Сідмарі та Сереманжі], Особисте спілкування, 2010.
- [197] Jost [Джост], «New data for the biological waste water treatment plant at Dillingen» [Нові дані для біологічної очисної споруди в Діллінгені], Особисте спілкування, 2010.
- [198] Mensink, C. et al [Менсінк, К. та ін.], «Source Analysis and Emission Abatement Measures for PM₁₀ Hot spot Regions in Flanders» [Аналіз джерел та заходи щодо зменшення викидів для регіонів-гарячих точок PM₁₀ у Фландрії], *11th conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes* [11-та конференція з питань гармонізації в рамках моделювання дисперсії атмосфери для цілей регулювання], 2007, Кембрідж.

- [199]Mark et al. [Марк та ін.], «Port Talbot PM 10: A Study into industrial source identification, reduction and improvement» [Порт-Талбот PM10: Дослідження щодо ідентифікації промислових джерел, зменшення та вдосконалення], *IUAPPA- 17th EFCA conference [IUAPPA – 17-та конференція EFCA]*, 2006, Лілль, Франція.
- [200]Commission [Єврокомісія], *BREF on the Production of Iron and Steel [НДТМ Виробництво чавуну та сталі]*, Європейська Комісія, Севілья, 2001.
- [201]Colin et al. [Колін та ін.], *Amélioration de la stabilité de fonctionnement et des performances des stations d'épuration biologique d'effluents de cokerie*, Cinquieme Programme de Recherches, CECA, 2003, с. 8.
- [202]USEPA, *Development Document for Final Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Iron and Steel Manufacturing Point Source Category* [Документ з розроблення остаточних обмежень стічних вод. Керівні принципи та стандарти для категорії джерела металургійних виробництв], Управління з охорони довкілля США, 2002, с. 12.
- [203]Liszlo et al. [Лішло та ін.], «Design and first operational experience of the Pressure Regulated Oven System (Proven) at the coke plant «Schwelgern» [Розроблення та перший досвід експлуатації системи з регулюванням тиску (перевіреної) на коксохімічному заводі Швельгерн], *2nd International Meeting on Ironmaking – 1st International Symposium on Iron ore [2-а міжнародна зустріч з виробництва заліза – 1-й Міжнародний симпозиум із залізної руди]*, 2004, м. Віторія, штат Еспіріту-Санту, Бразилія.
- [204]Neuwirth et al. [Нойвірт та ін.], «State-of-the-art plant technology for cokemaking» [Сучасна технологія виробництва коксу], *MPT International*, Вип. 5, № 2003, 2003, с. 38-48.
- [205]Cleary et al. [Кліарлі та ін.], «Coke production and demand today and tomorrow – face up to the reality?» [Виробництво коксу та попит сьогодні та завтра – може варто зіткнутися з реальністю?], *Stahl und eisen*, Вип. 125 (2005) №1, 2005, с. 17-27.
- [206]Diemer et al. [Дімер та ін.], «Potentials for utilisation of coke oven gas in integrated iron and steel works» [Потенційні можливості для використання коксового газу на металургійних комбінатах із повним циклом], *Stahl und eisen*, Вип. 124 (2004) № 7, 2004, с. 21-30.
- [207]Ameling et al. [Амелінг та ін.], «The coke scenario of the German and EU15 steel industry» [Коксовий сценарій німецької та сталеливарної промисловості ЄС-15], *Stahl und eisen*, Вип. 124 №9, 2004, с. 25-34.
- [208]Lindfors et al. [Ліндфорс та ін.], *BAT examples from the Nordic iron and steel industry [Приклади НДТМ зі скандинавської металургійної промисловості]*, Північна рада міністрів. Норден, 2006, с. 156.
- [209]ЕС [Єврокомісія], *Preparatory work for new dioxin measurement requirements for the European metal industry. Final report* [Підготовча робота до нових вимог із вимірювання діоксину для європейської металургійної промисловості. Підсумковий звіт], Європейська Комісія, 2005, с. 151.
- [210]Brouhon [Браухон], «Comments of EUROFER to the Stockholm Convention on POPs» [Коментарі EUROFER щодо Стокгольмської конвенції про СОЗ], Особисте спілкування, 2006.
- [211]Remus, Rainer [Ремус, Райнер], *Mission report Voestalpine Linz and Donawitz [Звіт місії Voestalpine Linz та Donawitz]*, 2008.
- [212]EC CLM BREF, *Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries (CLM BREF)* [Довідковий документ про найкращі доступні технології методи управління у виробництві цементу, вапна та оксиду магнію (CLM BREF)], 2009.
- [213]Bittner et al. [Бітнер та ін.], «Chemistry of intermediate species in the rich combustion of benzene» [Хімія проміжних видів при сильному згорянні бензолу], 1983, с. 95-125.
- [214]Richter et al. [Ріхтер та ін.], «Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and their radicals in a nearly sooting premixed benzene flame» [Утворення поліциклічних ароматичних вуглеводнів та їхніх радикалів у майже саджаючому змішаному полум'ї бензолу], *Proceedings of the Combustion Institute [Праці Інституту спалювання]*, Вип. 28, 2000, с. 2609-2617.
- [215]BSS, *Air Quality. Several case studies [Якість повітря. Кілька тематичних досліджень]*, 2007, с. 26-32.

- [216]sniffers et al. [Сніфферс та ін.], *Technical description of fugitive emission monitoring & management* [Технічний опис моніторингу та управління неконтрольованими викидами], The Sniffers nv/sa, 2006, с. 18.
- [217]Siemens-vai, *Sinter solutions* [Рішення для агломерату], Siemens-vai, 2006, р. 14.
- [218]Dong et al. [Донг та ін.], «A multistage approach to the cohort analysis of lifetime lung cancer risk among steelworkers exposed to coke oven emissions» [Багатоступеневий підхід до когортного аналізу ризику раку легенів протягом усього життя серед металургійних підприємств, які зазнали викидів коксової печі], *American Journal of Epidemiology* [Американський журнал епідеміології], Вип. Вип. 128, № 4, 1988, с. 860-873.
- [219]Van den Berg et al. [Ван ден Берг та ін.], «Toxic equivalency factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for Humans and Wildlife» [Токсичні фактори еквівалентності (TEF) для PCB, PCDD, PCDF для людей та дикої природи], *Environmental Health Perspectives* [Перспективи здоров'я навколишнього середовища], Вип. 106, No 12, 1998, с. 21.
- [220]Eurofer, «Comments from Eurofer on the Iron and Steel BREF first draft [Коментарі Eurofer щодо першого проєкту НДТМ з виробництва чавуну та сталі]», Особисте спілкування, 2008.
- [221]Thomas et al. [Томас та ін.], *Blast furnace tuyere injection of iron ans steelmaking by-products* [Інжекція у фурму доменної печі чавуну та побічних продуктів виплавки сталі], 2002, с. 116.
- [222]Janhsen et al. [Янхсен та ін.], *Coke quality for blast furnace operation with high levels of coal/oil injestion* [Якість коксу для роботи доменної печі з високим рівнем закачування вугілля/нафти], 2002, с. 205.
- [223]USEPA, *Emission Factor Documentation for AP-42. Section 12.2. Coke production. Draft July 2001* [Документація щодо коефіцієнта викидів для AP-42. Розділ 12.2. Виробництво коксу. Проєкт від липня 2001 року], Управління з охорони довкілля США, 2001, с. 313.
- [224]Xhrouet [Експуе], *Contribution a l'étude d'une technique de réduction de la formation des dioxines dans le procédé d'agglomération des minerais de fer*, Université de Liège. Faculté des Sciences Appliquées, 2002.
- [225]Brouhon [Браухон], *Emissions from French coke ovens. Focus on PAH and Dioxins* [Викиди із французьких коксових печей. Фокус на ПАУ та діоксинах], 2006.
- [226]EEA, *Emission Inventory Guidebook. CORINAIR. Solid Fuel Transformation Plants. Emission Factors ofr sub-processes of coke production* [Довідник з інвентаризації викидів. CORINAIR. Заводи з переробки твердого палива. Фактори викидів підпроцесів виробництва коксу], Управління з охорони довкілля США, 1999, с. 1.
- [227]WB, *Coke Manufacturing. Pollution Prevention and Abatement Handbook* [Виробництво коксу. Посібник із запобігання забрудненню та зменшення забруднення], Група Світового банку та ЮНЕП, 1998, с. 286-290.
- [228]UNEP [ЮНЕП], *Standardized toolkit for identification and quantification of Dioxin and Furan releases* [Стандартизований набір інструментів для ідентифікації та кількісної оцінки викидів діоксину та фурану], Програма ООН з довкілля (ЮНЕП), 2001, с. 51-52.
- [229]Green [Грін], «Emission report for an Australian Iron and Steel installation» [Звіт про викиди для австралійської металургійної установки], Особисте спілкування, 2004.
- [230]Brouhon et al. [Браухон та ін.], *Control of the PCDD/Fs generation at the Sinter plant* [Контроль генерації PCDD/F на агломераційному заводі], CRM, Collective Research Programme 1999-2000 [Програма колективних досліджень у 1999-2000 роках], 2001, с. 23.
- [231]Xhrouet et al. [Експуе та ін.], «Amines compounds as inhibitors of PCDD/Fs de Novo Formation on Sintering Process fly ash» [Сполуки амінів як інгібітори утворення PCDD/F de novo у процесі спікання попелу], *Environmental Science Technology* [Екологічні наукові технології], Вип. 36, 2002, с. 2760- 2765.
- [232]Brouhon et al. [Браухон та ін.], *Traitement Chimique de Destruction spécifique des cyanures*, CEBEDEAU- CRM, 1990, с. 50.
- [233]Poos et al. [Поос та ін.], *Etude des emissions de cyanures au haut-fourneau en marche journaliere et en descente des charges*, CCE, 1993, с. 50.
- [234]Польща, *Дані про викиди з польських металургійних комбінатів*, 2007, с. 18.

- [235] Ailor [Айлор], *Principal environmental issues facing the U.S. coke industry in 1999 and beyond* [Основні екологічні проблеми, з якими стикалася американська коксохімічна промисловість у 1999 році та пізніше], 1999, с. 40.
- [236] Німеччина, *TA Luft 2002*, 2002, с. 6.
- [237] USEPA, *Risk Assessment Document for Coke Oven MACT Residual Risk* [Документ з оцінки ризику залишкового ризику коксової печі MACT], USEPA, 2003, с. 269.
- [238] Janke et al. [Янке та ін.], *Verwertung von ölkontaminierten Walzunderschlämmen un Shreddermüll über Hochöfen*, DBU, 1997, с. 119.
- [239] Setterstig [Сеттерштір], *Dioxin removal by the ADIOX technology* [Видалення діоксину за технологією ADIOX], Götaverken Miljö AB, 2006, с. 22.
- [240] UKEA, *IPPC. Guidance for the Production of Coke, Iron and Steel* [Керівні настанови з виробництва коксу, заліза та сталі], Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2004, с. 185.
- [241] Польща, *Технічна інформація про польські металургійні заводи*, 2007, с. 8.
- [242] Caughlin [Кофлін], *UK comments to the I&S BREF* [Коментарі Великобританії до ДД НДТМ], Агентство з охорони навколишнього середовища Великобританії, 2007, с. 8.
- [243] Eurofer, *Revision of solid residues/by-products of the I&S BREF* [Перегляд твердих залишків / побічних продуктів у ДД НДТМ], 2007, с. 3.
- [244] Plickert [Плікерт], *Performance values of iron and steel plants in Germany* [Значення продуктивності чорних та металургійних заводів у Німеччині], UBA, 2007, с. 6.
- [245] Kuhn et al. [Кун та ін.], *Chrome immobilisation in EAF slags from high-alloy steelmaking: development of a slag treatment process* [Імобілізація хрому у шлаках EAF із виготовлення високолегованої сталі: розроблення процесу обробки шлаку], 2004, с. 97.
- [246] EC [Єврокомісія], *Iron and Steel – a materials system analysis* [Залізо і сталь – аналіз систем матеріалів], Європейське агентство з охорони довкілля, 2005, с. 90.
- [247] Нідерланди, *Коментарі Нідерландів до певної інформації, наданої Eurofer*, 2007, с. 2.
- [248] Eurofer, *Відповідь Eurofer на коментарі Нідерландів*, Eurofer, 2007.
- [249] Нідерланди, *Внесок Нідерландів у перегляд ДД НДТМ*, 2007, с. 8.
- [250] EC [Єврокомісія], *Європейська технологічна платформа з виробництва сталі, ESTEP*, 2006.
- [251] Eurofer, *Коментарі Eurofer до внеску з Нідерландів*, 2007, с. 3.
- [252] Франція, *Внесок Франції у перегляд ДД НДТМ*, 2007, с. 5.
- [253] ICSTI' 06, «The 4th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking» [4-й Міжнародний конгрес з науки і технологій у виробництві чавуну], *The 4th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking* [4-й Міжнародний конгрес з науки і технологій у виробництві заліза], 2006, Осака, Японія.
- [254] Eurofer, *Коментарі Eurofer до внеску Франції*, 2007, с. 2.
- [255] Kasai et al. [Касаї та ін.], «Effect of additives on the dioxins emissions in the iron ore sintering process» [Вплив добавок на викиди діоксинів у процесі спікання залізної руди], *ISIJ international*, Вип. Вип 41, No 1, 2001, с. 93-97.
- [256] Kasai et al. [Касаї та ін.], «Behavior of dioxins in the sintering process of iron ores» [Поведінка діоксинів у процесі спікання залізних руд], *Тецу-то-Хагане*, Вип. Вип. 87, № 5, 2001, с. 24-33.
- [257] Kawaguchi et al. [Кавагучі та ін.], «Behaviour of trace chlorine in sintering bet and its effect on dioxins concentration in exhaust gas of iron ore sintering» [Поведінка сліду хлору при спіканні та його вплив на концентрацію діоксинів у відпрацьованих газах спікання залізної руди], *Тецу-то-Хагане*, Вип. Вип. 88, №2, 2002, с. 9-15.
- [258] Kuzuhara et al. [Кузухара та ін.], «Formation of PCDD/Fs during oxidation of carbonaceous materials at low temperatures» [Утворення PCDD/F під час окислення вуглецевих матеріалів за низьких температур], *Тецу-то-Хагане*, Вип. Вип. 89, № 8, 2003, с. 1-8.

- [259]Kasama et al. [Касама та ін.], «Investigation on the dioxin emission from a commercial sintering plant» [Дослідження викидів діоксину від комерційних агломераційних установок], *ISIJ International*, Вип. Вип. 46, № 7, 2006, с. 1014-1019.
- [260]Німеччина, *Внесок Німеччини до перегляду ДД НДТМ*, 2007, с. 10.
- [261]Kasama et al. [Касама та ін.], «Analysis of exhaust gas visibility in iron ore sintering plant» [Аналіз видимості вихлопних газів на агломераційній установці для залізної руди], *ISIJ international*, Вип. Вип. 46, № 7, 2006, с. 1027-1032.
- [262]Pütz et al. [Пютц та ін.], *Untersuchungsergebnisse über Möglichkeiten zur primärseitigen Dioxinminderung bei der Eisenerzsinterung*, VDI Berichte, 1996, с. 249-268.
- [263]Kasai et al. [Касаї та ін.], «Macroscopic behaviours of dioxins in the iron ore sintering plants» [Макроскопічна поведінка діоксинів в установках, що спікають залізну руду], *ISIJ international*, Вип. Вип. 41, № 1, 2001, с. 86-92.
- [264]Німеччина, *Викиди пилу з вежі мокрогартування CSQ*, 2007, с. 1.
- [265]Tan et al. [Тан та ін.], «Study on polychlorinated dibenzo-p-dioxin/furan formation in iron ore sintering process» [Дослідження утворення поліхлорованого дибензо-р-діоксину/фурану в процесі спікання залізної руди], *Metallurgical and materials transactions B [Металургійні та матеріальні операції В]*, Вип. Вип 35В, 2004, с. 983-991.
- [266]Kawaguchi et al. [Кавагучі та ін.], «Promoter material and inhibitor material for dioxins formation in sintering process» [Промоторний матеріал та інгібітор для утворення діоксинів у процесі спікання], *Тецу-то-Хагане*, Вип. Вип. 88, № 7, 2002, с. 12-19.
- [267]Kawaguchi et al. [Кавагучі та ін.], *Effect of properties of solid fuel on dioxin concentration of the exhaust gas in the iron ore sintering process [Вплив властивостей твердого палива на концентрацію діоксину відпрацьованих газів у процесі спікання залізної руди]*, Тецу-то-Хагане, 2002, с. 20-27.
- [268]SHI, *Gas cleaning system using activated char [Система очищення газу за допомогою активованого вугілля]*, 2006, р. 15.
- [269]Німеччина, *Coke transport by pipe conveyors [Транспортування коксу трубними конвеєрами]*, 2007, с. 1.
- [270]Reynard [Рейнард], *Slags from iron and steel production [Шлаки з виробництва чавуну та сталі]*, End-of-Waste Project. Aggregates case study [Проект з припинення стану відходів. Кейс щодо агрегатів], 2007, с. 20.
- [271]Luo [Люо], *The end of waste criteria. A case study on scrap metal [Критерії припинення стану відходів. Кейс щодо металобрухту]*, End of Waste criteria [Критерії припинення стану відходів]. 23/3/07, 2007, с. 24.
- [272]Німеччина, *Nitrification-denitrification concept in the biological treatment plant for coke oven waste water [Концепція нітрифікації-денітрифікації на станції біологічної очищення стічних вод коксової печі]*, 2007, с. 5.
- [273]Eurofer, *Коментарі Eurofer до інформації, наданої Німеччиною*, 2007, с. 5.
- [274]Eurofer та ін., *Zinc coated steel [Сталь із цинковим покриттям]*, Асоціація Eurofer, IZA-Europe та асоціації EGGA, 1999, с. 24.
- [275]Kobelco [Кобелко], *Environmental sustainability report 2005 [Звіт про екологічну стійкість за 2005 рік]*, 2005.
- [276]Італія, *Внесок від Італії до перегляду ДД НДТМ*, 2007, с. 14.
- [277]Wiesenberger [Вісенбергер], *Review of the BREF Iron and Steel Production – Austrian Comments [Огляд ДД НДТМ з виробництва чавуну та сталі – Австрійські коментарі]*, UBA, 2007, с. 35.
- [278]J-P.Birat et al. [Ж.-П. Біра та ін.], *Quality of heavy market scrap:development of new and simple methods for quality assessment and quality improvement [Якість ринку важкого лому: розроблення нових та простих методів оцінки якості та поліпшення якості]*, 2002, с. 139.
- [279]IISI, *The Steel Industry. Industry sector report for the United Nations World Summit on Sustainable Development [Металургійна промисловість. Звіт галузевого сектору для Всесвітнього саміту ООН зі сталого розвитку]*, IISI, 2002, с. 55.

- [280]Aguado-Monsonet [Агуадо-Монсоне], «Visits to Iron and Steel plants» [Відвідання заводів чорної металургії], Особисте спілкування, 2007.
- [281]Eurofer, *Contribution to the Energy Management section [Внесок до розділу Енергетичного менеджменту]*, 2007, с. 11.
- [282]ЕС [Єврокомісія], ДД НДТМ *Великі спалювальні установки (LCP)*, 2006.
- [283]ЕС [Єврокомісія], ДД НДТМ *Викиди від зберігання (EFS)*, 2006.
- [284]ЕС [Єврокомісія], ДД НДТМ *Процеси кольорових металів*, 2001.
- [285]ЕС [Єврокомісія], ДД НДТМ *Спалювання відходів (WI)*, 2006.
- [286]Stahl, *Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2009-2010*, Stahleisen-Verlag, 2008.
- [287]MVAE, «International conference on Clean Technologies in the Steel industry» [Міжнародна конференція «Чисті технології в металургійній промисловості»], *International conference on Clean Technologies in the Steel industry [Міжнародна конференція «Чисті технології в металургійній промисловості»]*, Tardy, 2005, Балатонфюред (Угорщина).
- [288]IA, *Projecto «Emissões para a atmosfera no sector da transformação de metais com processos metalúrgicos, e sua aplicação ao contexto nacional» [Викиди в атмосферу від металургійної промисловості Португалії]*, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2006, с. 177.
- [289]ЕС [Єврокомісія], *Community implementation plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants [План імплементації спільнотою Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі]*, Єврокомісія, 2007, с. 92.
- [290]Nippon Steel Engineering Co., «Comments on Coke Dry Quenching» [Коментарі щодо сухого гасіння коксу], Особисте спілкування, 2008.
- [291]ЕС [Єврокомісія], *Panorama of the European Union [Панорама Європейського Союзу]*, Eurostat, 2006, с. 162.
- [292]DGENTR, *Possible developments in the structure of the EU and World steel industries [Можливі зміни у структурі металургії ЄС та світу]*, Єврокомісія, 2007, с. 11.
- [293]DGENTR, *Overview of the EU Steel sector [Огляд сектору сталі ЄС]*, DGENTR, 2007, с. 16.
- [294]Fleischanderl [Фляйшандерл] *MEROS – An improved dry-type gas-cleaning process for the treatment of sinter offgas [MEROS – Покращений сухий газоочисний процес для обробки агломерату]*, The Revue de Métallurgie – CIT, 2006, с. 481-486.
- [295]Hartig et al. [Хартіг та ін.], *Cleaning of sinter waste gases. State of the art [Очищення відпрацьованих газів агломерату. Вивір мистецтва]*, La Revue de la Métallurgie- CIT, 2006, с. 258-265.
- [296]Leroy et al. [Леруа та ін.], «Treatment of sinter plant flue gas» [Обробка димових газів агломераційних установок], *DustConf 2007*, 2007.
- [297]Hekkema et al. [Хеккема та ін.], *H₂S-noodwasinstallatie*, Corus та Tebodin, 2004, с. 20.
- [298]Fleischanderl [Фляйшандерл], *Scrubbed clean. Meros [Все очищене. Meros]*, Metals & mining [Метали та видобуток], 2006, с. 38-39.
- [299]Eurofer, *Contemporary data across all European plants [Сучасні дані по всіх європейських заводах]*, Eurofer, 2007, с. 4.
- [300]Eurofer, *General review of Sintering section of BREF [Загальний огляд розділу спікання ДД НДТМ]*, Eurofer, 2007, с. 22.
- [301]Eurofer, *Update technique continuous and undisturbed sinter plant operation to minimise emissions [Оновлена технологія безперервної та безперешкодної роботи агломераційної установки для мінімізації викидів]*, Eurofer, 2007, с. 2.
- [302]Eurofer, *Update technique Use of residues in the sinter plant [Оновлена технологія використання залишків в агломераційній установці]*, Eurofer, 2007, с. 2.
- [303]Eurofer, *Update technique lowering the content of volatile hydrocarbons in the sinter feed [Оновлена технологія, що знижує вміст летких вуглеводнів у вхідних матеріалах агломераційної установки]*, Eurofer, 2007, с. 3.

- [304]Eurofer, *Update technique lowering the sulphur content of the sinter feed* [Оновлена технологія зниження вмісту сірки у вхідних матеріалах агломераційної установки], Eurofer, 2007, с. 2.
- [305]Eurofer, *Update technique Heat recovery from sintering and sinter cooling* [Оновлена технологія відновлення тепла при спіканні та охолодженні агломерату], Eurofer, 2007, с. 4.
- [306]Eurofer, *Update technique suppression of dioxin formation by addition of urea* [Оновлена технологія придушення утворення діоксину шляхом додавання сечовини], Eurofer, 2007, с. 3.
- [307]Eurofer, *Update technique partial waste gas recycling* [Оновлена технологія часткової переробки відпрацьованих газів], Eurofer, 2007, с. 10.
- [308]Eurofer, *Update electrostatic precipitator* [Оновлена інформація щодо електрофільтра], Eurofer, 2007, с. 5.
- [309]Eurofer, *Update technique on fabric filters* [Оновлена технологія на тканинних фільтрах], Eurofer, 2007, с. 6.
- [310]Eurofer, *Update information on cyclones* [Оновлення інформації про циклони], Eurofer, 2007, с. 2.
- [311]Eurofer, *Update fine wet scrubber* [Оновлення інформації про мокрі скрубери], Eurofer, 2007, с. 5.
- [312]Dr. Michael Degner et al. [д-р. Мікаель Дегнер та ін.], *Steel Manual* [Інструкція щодо сталі], Steel Institute VDEh [Інститут сталі VDEh], Дюссельдорф, 2008.
- [313]Eurofer, *Update wet desulphurisation* [Оновлена інформація щодо вологої десульфурзації], Eurofer, 2007, с. 4.
- [314]Eurofer, *Update technique regenerative activated carbon* [Оновлена технологія регенеративного активованого вугілля], Eurofer, 2007.
- [315]Van den Berg., et al [Ван ден Берг та ін.], Project for the re-evaluation of human and mammalin toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds [Проект переоцінки факторів токсичної еквівалентності токсичних речовин для людини та ссавців для діоксинів та діоксиноподібних сполук], 2006.
- [316]Eurofer, «Water and Waste Waster Management in Integrated Steelworks» [Управління водою та відходами на металургійних заводах із повним циклом], Особисте спілкування, 2009.
- [317]Endemann, G. et al [Ендерманн, Г. та ін.], «Dust, scale and sludge generation and utilisation in German steelworks [Вироблення та використання пилу, накипу та шламу на німецькій металургійній фабриці]», *Stahl und Eisen*, Вип. 126 № 9, 2006.
- [318]Eurofer, *Review of the pelletisation chapter* [Огляд розділу щодо отримання окатишів], Eurofer, 2007, с. 21.
- [319]Eurofer, *Cold briquetting in pelletisation plants* [Холодне брикетування в установках для отримання окатишів], Eurofer, 2007, с. 2.
- [320]Eurofer, *Review of coke oven plants chapter* [Огляд розділу коксохімічних заводів], 2007, с. 62.
- [321]Eurofer, *Review of coke handling and screening* [Огляд поводження з коксом та просіювання], 2007, с. 1.
- [322]Eurofer, *Review of collection and treatment of COG with recoveryof by-products* [Огляд збору та обробки COG з відновленням побічних продуктів], 2007.
- [323]Eurofer, *Review of Mass stream overview of coke ovens* [Огляд узагальнення масового потоку коксових печей], 2007.
- [324]Eurofer, *Review of input/output data from coke oven plants in EU* [Огляд вхідних/вихідних даних з коксохімічних заводів в ЄС], 2007, с. 1.
- [325]Eurofer, *Review of quantities of emissions to water from coke ovens* [Огляд кількості скидів у воду з коксових печей], 2007, с. 1.

- [326]Buchwalder, J. et al [Бухвальдер та ін.], «Verminderung der Staubemissionen an der Sinteranlage von ArcelorMittal Eisenhüttenstadt», *Stahl und Eisen*, Вип. 126 № 9, 2008.
- [327]Eurofer, *Review of waste water from wet oxidation desulphurisation process from coke ovens* [Огляд стічних вод від процесу десульфурзації з вологого окислення з коксових печей], 2007, с. 1.
- [328]Eurofer, *Review of energy demand in coke ovens* [Огляд споживання енергії в коксових печах], 2007, с. 1.
- [329]Eurofer, *New information on Pressure regulation in coke ovens* [Нова інформація про регулювання тиску в коксових печах], 2007, с. 2.
- [330]Eurofer, *Review of maintenance of coke ovens* [Огляд технічного обслуговування коксових печей], 2007, с. 1.
- [331]Eurofer, *Review of improvement of oven door and frame seals* [Огляд вдосконалення ущільнень дверей та рами печі], 2007, с. 1.
- [332]Eurofer, *Review of cleaning of oven doors and frame seals* [Огляд очищення дверцят печі та ущільнень рами], 2007, с. 1.
- [333]Eurofer, *Review of emission reduction at coke oven firing* [Огляд скорочення викидів при випалюванні коксової печі], 2007, с. 2.
- [334]Eurofer, *Review of quenching techniques for coke* [Огляд методів гартування коксу], 2007, с. 3.
- [335]Eurofer, *Review of section on larger coke oven chambers* [Огляд розділу про більші камери коксової печі], 2007, с. 2.
- [336]Eurofer, *Review of non-recovery coking* [Огляд коксування, що не відновлюється], 2007, с. 3.
- [337]Eurofer, *Review of minimising oven charging emissions* [Огляд мінімізації викидів від завантаження печі], 2007, с. 2.
- [338]Eurofer, *Review section on minimising leakage between coke oven chamber and heating chamber* [Огляд розділу щодо мінімізації витоків між камерою коксової печі та камерою нагрівання], 2007, с. 1.
- [339]Eurofer, *Review DeNOx of waste gas from coke oven firing* [Огляд DeNOx відпрацьованих газів від коксової печі], 2007, с. 1.
- [340]Eurofer, *Review of removing tar from the coal water in coke ovens* [Огляд видалення смоли з вугільної води в коксових печах], 2007, с. 1.
- [341]Eurofer, *Review of waste water treatment plant* [Огляд очисних споруд], 2007, с. 4.
- [342]GWAA Бремен, *Messberichte: Emissionsmessungen im Abgas vorund nach Eisenerzsinteranlage*, 2005.
- [343]Eurofer, *Review of emerging techniques in the coke ovens* [Огляд нових технологій у коксових печах], 2007, с. 4.
- [344]Eurofer, *Review blast furnace chapter* [Огляд розділу щодо доменної печі], 2007, с. 20.
- [345]n.n., «Euroslag Proceedings of the 3rd European Slag Conference» [Праці Euroslag з Європейської шлакової конференції], *Euroslag Proceedings of the 3rd European Slag Conference* [Матеріали Euroslag з 3-ї Європейської шлакової конференції], 2002, Ноттінгем.
- [346]Eurofer, *Review input/output tables of blast furnace chapter* [Огляд таблиць вводу/виводу розділу щодо доменної печі], 2007.
- [347]Eurofer, *Review blast furnace slag processing* [Огляд переробки доменного шлаку], 2007, с. 5.
- [348]Eurofer, *Review of technique direct injection of reducing agents in blast furnaces* [Огляд методики безпосереднього введення відновників у доменні печі], 2007, с. 5.
- [349]Eurofer, *New technique on direct injection in blast furnaces of used oils, fats and emulsions as reducing agents and of solid iron residues* [Нова техніка прямого впорскування в доменні печі відпрацьованих масел, жирів та емульсій як відновників та твердих залишків заліза], 2007, с. 3.

- [350]Eurofer, *Review of top gas pressure energy recovery in blast furnaces [Огляд рекуперації енергії тиску газу у доменних печах]*, 2007, с. 2.
- [351]Eurofer, *Review technique on use of tar-free runner linings in blast furnaces [Техніка огляду щодо використання накладок без смоли на доменних печах]*, 2007, с. 2.
- [352]Eurofer, *Review technique on blast furnace gas treatment [Огляд технології обробки доменних газів]*, 2007, с. 3.
- [353]Eurofer, *Review of technique on de-dusting of tapholes and runners and fume suppression during casting in blast furnaces [Огляд технології знепилювання льоток, місць випуску та придушення випаровування під час лиття в доменних печах]*, 2007, с. 3.
- [354]Eurofer, *Review technique condensation of fume slag processing in blast furnaces [Огляд технології конденсації переробки витяжних шлаків у доменних печах]*, 2007, с. 2.
- [355]Plickert [Плікерт], *Retrofitting the Waste Gas exhaustion system (2005-2007). First measurement results on dust and PCDD/PCDF emission [Модернізація системи вихлопу відходів (2005-2007 року). Перші результати вимірювання пилу та викидів PCDD/PCDF]*, 2007, с. 12.
- [356]Eurofer, *Review of the emerging technique section of the blast furnace chapter [Огляд пункту щодо нових технологій розділу про доменну піч]*, 2007, с. 3.
- [357]Німеччина, *Data for the review of table on pollutants load of waste water from blast furnace slag granulation [Дані для огляду таблиці щодо завантаження стічних вод забруднюючими речовинами від грануляції шлаку доменної печі]*, 2007, с. 1.
- [358]Німеччина, *Review of the table on pollutant load of waste water discharged from blast furnace gas scrubbing water [Огляд таблиці щодо завантаження стічних вод забруднюючими речовинами, що скидаються зі скрубберної води доменної печі]*, 2007, с. 1.
- [359]Нідерланди, *Permit rule for an oxygen steel plant for roof emissions [Правило щодо дозволів для заводу з киснево-конвертерного виробництва сталі для викидів з даху]*, 2007, с. 1.
- [360]Sick-Maihak [Зік-Майхак], «FW300 Laser transmissiometer. Precise and instant measurement in harsh conditions» [Лазерний трансмісіометр FW300. Точне та миттєве вимірювання в суворих умовах], 2006, с. 2.
- [361]Sigmund [Зігмунд], «Fine dust – a challenge for Voestalpine» [Дрібнодисперсний пил – виклик для Voestalpine], 2007, с. 13.
- [362]Німеччина, *Wastewater from continuous casting [Стічні води від безперервного лиття]*, 2007, с. 1.
- [363]Eurofer, *Review of the Chapter on Basic oxygen steel making and casting (1) [Огляд розділу про виготовлення та лиття киснево-конвертерної сталі (1)]*, 2007, с. 73.
- [364]Fuchs, G. [Фухс, Г.], «New Energy Saving Electric Arc Furnace Design» [Нова енергозберігаюча конструкція електродугової печі], 2008.
- [365]Eurofer, *Eurofer comments on tables and figures of Chapter 8. BOF and continuous casting [Коментарі до таблиць та рисунків розділу 8. BOF та безперервне лиття]*, 2007, с. 12.
- [366]Dornseiffer et al. [Дорнзайффер та ін.], *Air and Noise Protection in Steelmaking Electric Arc Furnace in Luxembourg [Захист від повітря та шуму в електродуговій печі для виготовлення сталі в Люксембурзі]*, Ministere de l'environnement in Luxembourg, 2007, с. 10.
- [367]Prüm et al. [Прюм та ін.], «Reducing dioxin emissions in electric steel mills» [Зниження викидів діоксинів на електрозаводах], *MPT international*, Вип. 1, № 2005, 2005, с. 36-42.
- [368]Prüm et al. [Прюм та ін.], «Verringerung der dioxinmission bei elektrostahlwerken» [Зменшення викидів діоксину на електрозаводах], *stahl und eisen*, Вип. 124 (2004) № 10, 2004, с. 61-67.
- [369]Eurofer, *Material flow stainless steel meltshop [Потік матеріалів у сталеплавильному цеху для нержавіючої сталі]*, 2007, с. 1.
- [370]Öberg [Еберг], «Emissions of persistent organic pollutants from Swedish steel mills» [Викиди стійких органічних забруднювачів зі шведських сталеливарних заводів], 2007, с. 6.

- [371]Eurofer, *Update input/output data for electric arc furnaces* [Оновлення вхідних/вихідних даних для електродугових печей], Eurofer, 2007, с. 1.
- [372]Чеський член ТРГ, Коментарі Чеської Республіки до першого проекту розглянутого ДД НДТМ, 2008.
- [373]Eurofer, *Review of the EAF chapter of the current BREF* [Огляд розділу щодо EAF поточного ДД НДТМ], Eurofer, 2007, с. 42.
- [374]Eisen, H.-P. et al [Айзен Х.-П. Та ін.], «Construction of the exhaust recycling facilities at a sintering plant» [Будівництво устаткування для переробки вихлопних газів на агломераційній установці], *Stahl und Eisen*, Вип. 124 № 5, 2004.
- [375]ISI, *Energy Use in the Steel industry* [Використання енергії в металургійній промисловості], 1998, с. 120.
- [376]Eurofer, *Review of dust composition from EAF* [Огляд складу пилу від EAF], 2007, с. 1.
- [377]Heidenreich et al. [Хайденрайх та ін.], «Catalytic filter elements for combined particle separation and nitrogen oxides removal from gas streams» [Каталітичні фільтруючі елементи для комбінованого розділення частинок та видалення оксидів азоту з газових потоків], 2007, с. 9.
- [378]Eurofer, *ULCOS project. CO₂ and air emissions* [Проект ULCOS. Викиди CO₂ і повітря], Eurofer, 2007, с. 5.
- [379]Компанія Corus, м. Еймьойден (2005 рік), Biological Treatment Plant – Компанія Corus, м. Еймьойден (2005 рік), 2010.
- [380]Voestalpine Linz, *Emission measurement pure gas sinter belt 5 – hydrogen cyanide content* [Вимірювання викидів пояса агломерату чистого газу 5 – вміст ціаністого водню], Voestalpine Linz, 2008.
- [381]Pall [Полл], «Pall gas solid separation systems» [Системи сепарації твердих газів], 2006, с. 16.
- [382]Linz, «Emission data for the sinter plant provided for the Voestalpine steelworks in Linz for the year 2008 and 2009» [Дані про викиди аглофабрики, надані металургійному комбінату Voestalpine в Лінці за 2008 та 2009 роки], Особисте спілкування, 2008.
- [383]EIPPCB, *Alternative techniques for Iron and steel production* [Альтернативні методи для виробництва чавуну та сталі], 2006, с. 6.
- [384]Max-Planck-Institut et al. [Інститут Макса Планка та ін.], *The formation and prevention of scale during twin roller strip casting* [Утворення та запобігання накопу під час лиття подвійних смуг], 2002, с. 131.
- [385]Malmberg et al. [Малмберг та ін.], *Online slag analysis utilising contact-free microwave technology* [Інтернет-аналіз шлаку з використанням безконтактної мікрохвильової технології], 2005, с. 71.
- [386]Cores et al. [Корс та ін.], *Efficient utilisation of raw materials used in secondary steelmaking as flux in steelmaking furnaces* [Ефективне використання сировини, що використовується у вторинному виробництві сталі як флюс у сталеплавильних печах], 2005, с. 89.
- [387]Fisher et al. [Фішер та ін.], *Influence of sinter mix materials on the environmental impact of high productivity iron ore sintering* [Вплив агломератних сумішей на вплив високопродуктивного спікання залізної руди на навколишнє середовище], 2005, с. 101.
- [388]Fisher et al. [Фішер та ін.], *Effects of operational factors on the formation of toxic organic micropollutants in EAF steelmaking* [Наслідки операційних факторів утворення токсичних органічних мікрозабруднювачів у сталеплавильному виробництві], 2005, с. 154.
- [389]Briggs et al. [Бріггс та ін.], *Reductions in dust and gaseous emissions from sinter strands* [Зниження пилу та газоподібних викидів з агломераційних установок], 2004, с. 166.
- [390]Atkinson et al. [Аткінсон та ін.], *Injectant coal gasification, char formation and char utilisation at high injection rates* [Газифікація інжекційного вугілля, утворення вугілля та утилізація вугілля при високому рівні інжекції], 2004, с. 193.

Список використаних джерел

- [391]Tavernier et al. [Таверньєр та ін.], *Foaming of the slag and recycling of stainless steel dusts by injection into the electric arc furnace for stainless steels* [Спінення шлаку та переробка пилу з нержавіючої сталі шляхом впорскування в електродугову піч для нержавіючих сталей], 2004, с. 92.
- [392]Schmidt et al. [Шмідт та ін.], *Optimised blast furnace slag water quenching with sulphur compounds control* [Оптимізоване гасіння доменної шлакової води контролем сполук сірки], 2003, с. 149.
- [393]Turpin et al. [Турпін та ін.], «Effects of flattening the stockpile crest and of the presence of buildings on dust emissions from industrial open storage systems» [Вплив згладжування запасів та присутності будівель на викиди пилу від промислових відкритих систем зберігання], *XVIIth International Conference of Modelling, Monitoring and Management of Air Pollution* [XVII Міжнародна конференція з моделювання, моніторингу та управління забрудненням повітря], 2009.
- [394]Colletta et al. [Коллетта та ін.], *High-purity zinc and ferroalloy recovery from EAF dusts through a combined pyro-metallurgical treatment* [Відновлення цинку та феросплавів високої чистоти з пилу EAF шляхом комбінованої пірометалургійної обробки], 2002, с. 76.
- [395]Badr et al. [Бадр та ін.] «Effect of aggregate storage piles configuration on dust emissions» [Вплив конфігурації сукупних палів для зберігання на викиди пилу], *Atmospheric Environment* [Атмосферне навколишнє середовище] Вип.Вип. 41, 2007, с. 360 – 368.
- [396] Reg. 1221/, Регламенту (ЄС) № 1221/2009 Європейського Парламенту та Ради від 25 листопада 2009 року про добровільну участь організацій у схемах екологічного менеджменту та аудиту Співтовариства (EMAS), що замінив Регламент (ЄС) № 761/2001 та Рішення Комісії 2001/681/ЄС та 2006/193/ЄС., 2009.
- [397]DG Environment, What is EMAS? [Що таке EMAS?] http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm 2010.
- [398]ISO, стандарт ISO 14001: 2004 http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials.htm, 2004.

ГЛОСАРІЙ

Цей глосарій має на меті полегшити розуміння інформації, що міститься в цьому ДД НДТМ. Визначення термінів у цьому глосарії не є юридичними визначеннями (навіть якщо деякі з них можуть збігатися з визначеннями, наведеними в європейських законодавчих актах), вони мають допомогти читачеві зрозуміти деякі ключові терміни в контексті їх використання у конкретному секторі, охопленому цим ДД НДТМ.

Цей Глосарій розділений на такі розділи:

- I. Загальні міркування
- II. Грошові одиниці
- III. Коди країн ISO
- IV. Префікси одиниць
- V. Одиниці вимірювання
- VI. Хімічні елементи
- VII. Скорочення та технічні визначення

I. Загальні міркування

ВИРАЖЕННЯ ВИКИДІВ

У цьому ДД НДТМ викиди у повітря виражаються як:

- маса речовини, що викидається, на обсяг відхідних газів за нормальних умов (273,15 К, 101,3 кПа), після вирахування вмісту водяної пари, що виражається в таких одиницях як г/нм^3 , мг/нм^3 , мкг/нм^3 або нг/нм^3 або
- маса речовин, пов'язаних із часом, виражених в одиницях кг/год та г/год або
- маса речовини, що викидається, на одиницю маси продуктів, що виробляються або переробляються (коефіцієнт споживання або коефіцієнт викидів), що виражається в таких одиницях як кг/т , г/т , мг/т або мкг/т ,

тоді як викиди (скиди) у водні об'єкти виражаються як:

- маса речовин, що скидаються, на об'єм стічних вод, що виражається в таких одиницях як г/л , мг/л або мкг/л .

II. Грошові одиниці

Код ⁽¹⁾	Країна/територія	Валюта
Валюти країн-членів ЄС		
EUR	Єврозона ⁽²⁾	євро (мн. євро)
Екю	Європейська грошова одиниця	Екю (замінено на євро)
GBP	Сполучене Королівство	фунт стерлінгів (незм.)
Інші валюти		
USD	Сполучені Штати ⁽³⁾	долар США
<p>(1) Коди ISO 4217.</p> <p>(2) Включає Австрію, Бельгію, Кіпр, Естонію, Фінляндію, Францію, Німеччину, Грецію, Ірландію, Італію, Люксембург, Мальту, Нідерланди, Португалію, Словаччину, Словенію, Іспанію.</p> <p>(3) Також Американське Самоа, британські Віргінські острови, Східний Тимор, Еквадор, Гуам, Маршаллові острови, Мікронезію, Північні Маріанські Острови, Палау, Пуерто-Ріко, Острови Терке і Кайкос, Малі віддалені острови США та Віргінські острови США.</p>		

III. Коди країн ISO

Код ISO	Країна
Країни-члени ЄС (*)	
BE	Бельгія
DK	Данія
DE	Німеччина
ES	Іспанія
FR	Франція
LU	Люксембург
NL	Нідерланди
AT	Австрія
SE	Словенія
SK	Словаччина
FI	Фінляндія
UK	Сполучене Королівство
Країни, які не є членами ЄС	
US	Сполучені Штати
(*) Порядок протоколів країн-членів базується на алфавітному порядку їхніх географічних назв мовою (мовами) оригіналу.	

IV. Префікси одиниць

Символ	Префікс	Термін	Цифра
T	тера	10^{12}	1 000 000 000 000
G	гіга	10^9	1 000 000 000
M	мега	10^6	1 000 000
k	кіло	10^3	1000
g	гекто	10^2	100
da	дека	10^1	10
-----	-----	1 одиниця	1
d	деци	10^{-1}	0,1
c	санти	10^{-2}	0,01
m	мілі	10^{-3}	0,001
mk	мікро	10^{-6}	0,000 001
n	нано	10^{-9}	0,000 000 001

V.Одиниці вимірювання

Термін	Значення
кВт·год млрд.	кіловат-годин тисяч мільйонів (10^9)
°С	градус Цельсія
см	сантиметр
д	день (доба)
г	грам
ГВт·год	гігават-година
год	година
гПа	гектопаскаль
Дж	джоуль
К	кельвін ($0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$)
ккал	кілокалорія (1 ккал = 4,19 кДж)
кВт	кіловат
кВт·год	кіловат-годин (1 кВт·год = 3,6 МДж)
л	літр
м	метр
Мт	мегатонна
МВт _{ел}	мегават електричний (енергія)
МВт	мегават
нм ³	нормальний кубічний метр (при 101,325кПа, 273 К)
Ррb або часток/млрд.	частин на мільярд (1 ррb = 10^{-9})
ррm або часток/млн	частин на мільйон (1 ррm = 10^{-6})
ррmν	частин на мільйон (за обсягом)
s	другий
т	метрична тонна (1000 кг або 10^6 г)
т/добу	тон на добу
трильйон	мільйон мільйонів (10^{12})
т/рік	тонн на рік
об.-%	відсоток за обсягом
% за масою	відсоток за вагою
Вт	Ватт (1 Вт = 1 Дж/с)
рік	рік
μg або мкг	мікрограм
μm або мкм	мікрометр (1 мкм = 10^{-6} м)
μs	мікросіменс
с	ом, одиниця виміру електричного опору

VI. Хімічні елементи

Символ	Найменування	Символ	Найменування
Al	Алюміній	N	Азот
As	Арсен	Na	Натрій
C	Вуглець	Ni	Нікель
Ca	Кальцій	O	Кисень
Cd	Кадмій	P	Фосфор
Cl	Хлор	Pb	Свинець
Cm	Кюрій	Pt	Платина
Co	Кобальт	S	Сірка
Cr	Хром	Sb	Стибій
Cu	Мідь	Se	Селен
F	Фтор	Si	Силіцій
Fe	Залізо	Sn	Олово
H	Водень	Te	Теллур
Hg	Ртуть	Ti	Титан
K	Калій	V	Ванадій
Mg	Магній	W	Вольфрам
Mn	Манган	Zn	Цинк
Mo	Молібден		

VII. Скорочення та визначення

Скорочення	Визначення
AC	Змінний струм
AISI	Американський інститут заліза і сталі
AOD	Аргоно-кисневе зневуглецювання
AOX	Органічно зв'язані галогени, що розчиняються у воді
AS	Активний шлам
ASK	Сульфід амонію Kreislaufwäscher
BaP	Бензопірен
BF	Доменна піч
BOD	Біохімічне споживання кисню
BOF	Кисневий конвертер
Borneff 6	Сума шести PAH (флуорантен, бенз-к-флуорантена, бензопірену, індено (1,2,3-cd) пірену та бенз (g, h, i) перилену)
Bq	Бекерель
BTX	Бензен, толуол, ксилол
c.	близько
CAS	Хімічна реферативна служба (Chemical Abstracts Service)
CAS-OB	Процес аргонно-кисневого зневуглецювання
CCF	Піч із конвертером циклонного типу
CCGT	Газова турбіна з комбінованим циклом
CCM	Машина безперервного лиття
CCPP	Електростанція з комбінованим циклом
CCS	Уловлювання і зберігання вуглецю
CDQ	Сухе гасіння коксу
CEN	Європейський комітет зі стандартизації
CFD	Обчислювальна динаміка рідини
CHP	Комбіноване тепло і потужність
COD	Хімічне споживання кисню
COG	Коксовий газ
COS	Оксисульфід вуглецю
CRI	Індекс реакційної здатності коксу
CSQ	Стабілізаційне гасіння коксу
CSR	Індекс гарячої міцності коксу

Скорочення	Визначення
CV	Теплотворна здатність
DAV	Середньодобове значення
dBA	A-зважені децибели
DC	Постійний струм
DCI	Пряме вдування вуглецю
DH	Дортмунд-Гердер (Dortmund-Hörder)
Розсіяні викиди	Розсіяні викиди виникають під час регулярних операцій, таких як обробка вугілля та коксу, транспортування вугілля та коксу, шари для змішування вугілля, підйомні труби, видача коксу, гасіння коксу; якщо їх не захопити, вони можуть просочитися крізь дах, люк, вікно або із матеріалів на зберіганні. Мінімізація можлива тільки за допомогою попередження та/або додаткового очищення після того, як вони виявляються у спрямованих викидах (наприклад, за допомогою їх уловлювання);
DIOS	Пряме відновлення залізної руди плавлінням
DOC	Розчинений органічний вуглець
DR	Пряме відновлення
DRI	Залізо прямого відновлення
DSC	Пряме лиття стрічки
DSI	Пряма індукція проби
EAF	Електрична дугова піч
ECO	Економайзер
ECSC	Європейська спільнота з вугілля та сталі
Екю (ECU)	Європейська грошова одиниця
EINECS	Європейська інвентаризація наявних комерційних хімічних речовин
ELPI	Електричний імпактор низького тиску
ELV	Граничне значення викидів
EMS	Системи управління охороною навколишнього середовища
EMAS	Система екологічного менеджменту та аудиту
EN ISO 14001	Європейський стандарт (EN), опублікований Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) щодо стандартів управління навколишнім середовищем.
EOF	Енергетично оптимізована піч
EOS	Спікання, оптимізоване за кількістю викидів
EPA	Управління з охорони довкілля США
ESP	Електрофільтр
ESCS	Електрофільтр зі статичним зарядом
ETP	Електрофільтр для смоли
ЄС-10	Кіпр, Чехія, Естонія, Угорщина, Латвія, Литва, Мальта, Польща, Словаччина та Словенія
ЄС-15	Австрія, Бельгія, Данія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Греція, Ірландія, Італія, Люксембург, Нідерланди, Португалія, Іспанія, Швеція та Великобританія
ЄС-25	ЄС-10 +ЄС-15: Австрія, Бельгія, Кіпр, Чехія, Данія, Естонія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Греція, Угорщина, Ірландія, Італія, Латвія, Литва, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Польща, Португалія, Словаччина, Словенія, Іспанія, Швеція та Великобританія
ЄС-27	Австрія, Бельгія, Болгарія, Кіпр, Чехія, Данія, Естонія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Греція, Угорщина, Ірландія, Італія, Латвія, Литва, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Польща, Португалія, Румунія, Словаччина, Словенія, Іспанія, Швеція та Великобританія
FF	Рукавний фільтр
Тонкодисперсний (дрібний) пил	Тонкодисперсний (дрібний) пил у контексті цього BREF означає дрібні тверді частинки розміром менше 10 мікрметрів
Неорганізовані викиди	Неорганізовані викиди відбуваються протягом нерегулярних операцій, при витоках з батареї, наприклад внаслідок витоків з посудин, дверей печей, фланців або на установках для переробки побічних продуктів. Для їх мінімізації основну увагу слід приділяти належному обслуговуванню. Сполуки РАН (поліциклічні ароматичні вуглеводні) типу бензопірену (BaP) та бензену (бензолу) відіграють важливу роль щодо неорганізованих викидів.
FTIR	Інфрачервона фур'є-спектроскопія
GSA	Адсорбер за принципом випадання газової суспензії

Скорочення	Визначення
HBI	Залізо гарячого брикетування
HCВ	Гексахлорбензол
HNAV	Середнє значення за півгодини
HM	Рідкий чавун
гПа	Гектопаскаль
ISI	Міжнародний інститут заліза і сталі
I-TEQ	Міжнародний еквівалент токсичності
IUPAC	Міжнародний союз фундаментальної та прикладної хімії
KOBM	Продувка киснем Klöckner Maximillanshuette
кВт	Кіловат
LD	Лінц-Донавіц (Linz-Donavitz)
LD-AC	Linz-Donavitz-Arbed-CRM процес
LEEP	Процес спікання з низькими викидами та оптимізацією споживання енергії
Leq	Еквівалентний безперервний рівень звуку
LIBS	Лазерно-іскрова емісійна спектрометрія
LIDAR	Виявлення світла та дальність
LPG	Зріджений нафтовий газ
LS	Рідка сталь
LTE	Рівновага кисневих фурм
LWA	Зважений рівень потужності звуку
LWS	Процес Луар-Вендель-Шпрунк
MEA	Моноетаноламін
MEEP	Електрофільтр із рухомими електродами
MEROS	Максимальне зниження викидів під час спікання
MHF	Багатоподова піч
MLSS	Суміш зважених твердих частинок
NG	Природний газ
NMVOС	Неметанові леткі органічні сполуки
OBM	Процес Maxhuette з продувкою киснем через дно
OCP	Процес із відкритим контуром
PAH	Поліциклічні ароматичні вуглеводні
PCB	Поліхлоровані біфеніли
PCDD/F	Поліхлоровані дибензо-п-діоксини / дібензофурани
PCI	Вдування пилоподібного вугілля
ППК (PLC)	Програмовані логічні пристрої-контролери
PM₁₀, PM_{2,5}	Тверді частинки менше, ніж 10 або 2,5 мікрометріввідповідно до визначення Директиви 2008/50/ЄС про якість повітря
POM	Поліциклічні органічні частинки
CO₂ (POPs)	Стійкі органічні забруднювачі
PTFE	Політетрафторетилен
Q-BOP	Процес Maxhuette з кисневим дном
RAC	Відновлений активований вуглець
RAFT	Адіабатична температура полум'я в зоні окиснення
RDM	Зворотнє моделювання дисперсії
RH	Процес вакуумування сталі
RHF	Обертова подова піч
SCN	Тіоціанат
SCOPE 21	Коксова піч підвищеної якості щодо продуктивності та поліпшення екологічних показників у 21 столітті
SCR	Селективне каталітичне відновлення
SI	Показник міцності
SR	Рідкофазне відновлення
SRF	Піч рідкофазного відновлення
SS	Зважені тверді частинки
STP	Стандартна температура та тиск
TEA	Триетаноламін
TEQ	Кількість еквіваленту токсичності
TEF	Коефіцієнт еквіваленту токсичності
TBM	Металургійний процес продування Тіссена

Глосарій

Скорочення	Визначення
ЗОВ	Загальний органічний вуглець
ТРГ (TWG)	Технічна робоча група
UHP	Робота із надвисокою потужністю
ULCOS	Ультранизьковуглецеве виробництво сталі. Програма, що фінансується ЄС з метою зменшення викидів CO ₂ від виробництва сталі.
VDI	Асоціація німецьких інженерів (Verein Deutscher Ingenieure)
ЛОС або VOC	Леткі органічні сполуки
VOD	Вакуум-кисневе зневуглецювання
w.c.	вод. ст.
Число Воббе	Число Воббе (WI) (нижче або вище) газоподібного палива – це основний показник якості газу за його теплою згорання, зокрема це стосується таких газів як природний газ, скраплений нафтовий газ (LPG) та міський газ і часто визначається у специфікаціях підприємств газопостачання та транспорту. Якщо <i>VC</i> є вищою теплою згорання, чи теплотворною здатністю, а <i>GS</i> – це відносна густина, то число Воббе, <i>IW</i> , визначається як: $IW = VC/(GS)^{1/2}$
WWT	Установка з очищення стічних вод
BOOЗ TEF	Коефіцієнт еквіваленту токсичності Всесвітньої організації охорони здоров'я. Цей коефіцієнт еквіваленту токсичності (TEF) є єдиним на сьогоднішній день, що враховує не лише значення PCDD та PCDF, але й «діоксиноподібні» PCB [219, Ван ден Берг та ін., 1998]

13 ДОДАТКИ

13.1 Додаток І. Визначення у стічних водах елементів, до яких чутлива біота

[208, Ліндфорс та ін., 2006]

Опис

Зразок стічних вод консервується азотною кислотою і перетравлюється в мікрохвильовій печі для розчинення залишків. Розчин попередньо концентрують в ультразвуковому небулайзері та інгалюють до індуктивно зв'язаної плазмової оптичної емісійної спектроскопії (ICP-OES), де вимірюють інтенсивність випромінюваного світла елементів. Як внутрішній стандарт використовуються Sc і Te. Калібрування проводиться на матриці, яка містить воду Milli-Q з додаванням еталонних розчинів. Одночасно визначаються такі елементи:

Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, P, Pb, V, Zn.

Екологічні переваги, яких можна досягнути

Процедура здатна визначити рівні, нижчі за нинішні вимоги законодавства. Межі виявлення деяких елементів, до яких чутлива біота у стічних водах наведено нижче

Таблиця 13.1: Межі для визначення деяких елементів, до яких чутлива біота у стічних водах

Параметр	Межа виявлення (мкг/л)
Al	2
Cd	0,03
Co	0,2
Cr	0,1
Cu	0,6
Fe	0,1
Mn	0,03
Mo	0,2
Ni	0,2
P	1,8
Pb	0,6
V	0,6
Zn	0,06

Цей прийом може вважатися швидкою та ефективною технікою із застосуванням стандартного обладнання. Час від спостереження підвищених рівнів до коригувальних дій порівняно короткий.

Міжсередовищні наслідки

Жодних даних не надано.

Експлуатаційні дані

Жодних даних не надано.

Можливість застосування

Воду з різних джерел можна контролювати, наприклад стічні води, питну воду.

Стимули для впровадження

Стимулом для впровадження є дотримання національного та європейського законодавства.

Економічні дані

Жодних даних не надано.

Приклади установок

Компанія Sandvik Materials Technology, м. Сандвікен, Швеція.

13.2 Додаток II. Викиди діоксинів

[209, ЄК, 2005]

Основними факторами, що впливають на утворення діоксину, є:

- технологічні вхідні елементи (сировинні матеріали)
- тип металургійного процесу
- умови експлуатації процесу, зокрема якість спалювання
- умови охолодження відхідних газів, зокрема наявність котла або інших теплообмінників
- тип систем очищення відхідних газів
- ефекти пам'яті. Труби та теплообмінники можуть зберігати великі відкладення, збільшуючи викиди, а також з часом накопичувати діоксин.

PCDD/F та інші СОЗ

Важливо взяти до уваги, що обидва PCDD/F завжди супроводжуються безліччю інших сполук, що переживають горіння, наприклад бензол, алкілбензоли, нафталін, фенантрен, антрацен, фуран, бензофуран, дибензофуран та багато інших аліфатичних та циклічних сполук. Сама їх кількість є ускладнюючим фактором аналітичних процедур. У [209, ЄК, 2005], приділяється лише обмежена увага цим сполукам, але висвітлено їхню потенційну роль як сурогатів та прекурсорів. Адекватно показано, що структура дибензо-п-діоксину (ДД або DD) легко синтезується з двох молекул фенолу. Те саме стосується їхніх хлорованих споріднених сполук. У подібний спосіб структуру поліхлорованого дибензофурану (ДФ або DF) легко створити завдяки м'якому окисленню PCB. Отже, і хлорофеноли, і PCB є потенційними попередниками утворення PCDD/F. Деякі з цих сполук самі собою є важливими як СОЗ, такі як:

- гексахлорбензол
- PCB
- поліхлоровані нафталіни.

Шляхи викидів PCDD/F

PCDD/F, або навіть практично будь-яка забруднююча речовина, може виникати як викиди в атмосферу, воду та ґрунт або виникати як потоки відходів, що підлягають усуненню або переробці.

Викиди PCDD/F від металургійної промисловості можуть приймати різні форми, такі як:

- відхідні гази, що виникають в керованих викидах димової труби
- відхідні гази, що виникають як розсіяні викиди
- відходи води та шламу
- залишки
- комерційна продукція.

Моніторинг

Режими моніторингу PCDD/F, що є в ЄС, наведені в табл. 13.2.

Таблиця 13.2: Режими моніторингу PCDD/F

Тип	Частота моніторингу	Період вимірювань	Одиниці вимірювання
Регулярний	1 на місяць		
Періодичний/випадковий (моніторинг лише на деяких установках сектору)	6 на рік 3 на рік 2 на рік	1 день 3 дні	Значення TEQ Значення I-TEQ (17 конженерів)
Добровільний (наприклад, галузева угода)	1 на рік 1 раз кожні 3 – 6 років	1 тиждень	5 PCDD + 5 PCDF Відбиток пальця

Джерело: [209, ЄК, 2005]

Методи вимірювання

Деякі приклади методів вимірювання можна знайти у звіті [209, ЄК, 2005].

13.3 Додаток III. WHO-12 PCB (BOO3-12 PCB)

Поліхлоровані біфеніли стосуються класу хлорованих напівлетких органічних сполук, що складаються з 209 конженерів (споріднених сполук). Нумерація споріднених даних у запиті на дані EUROFER відповідає конвенції, прийнятій Міжнародним союзом фундаментальної та прикладної хімії (IUPAC). Рис. 13.1 ілюструє систему нумерації IUPAC а також номенклатуру позиційного хлорованого заміщення. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) визначила групу з 12 PCB, яка характеризується поведінкою, близькою до поведінки діоксинів, а окремим членам групи призначили коефіцієнти еквіваленту токсичності (TEF) порівняно з показниками 2,3, 7,8- тетрахлордибензо-п-діоксину. TEF дозволяють включати ці «ВООЗ-12 PCB» як частину загальної концентрації діоксину ВООЗ-TEQ в процесі викидів та інших зразках навколишнього середовища. У даних, зібраних EUROFER, дані PCDD/F запитувались у більш звичному блоці I-TEQ, тому не включають дані PCB, і можна чітко розмежувати дві групи сполук та порівняти з минулими даними щодо PCDD/F. Передбачається, що використання ВООЗ-TEQ в майбутньому збільшиться .

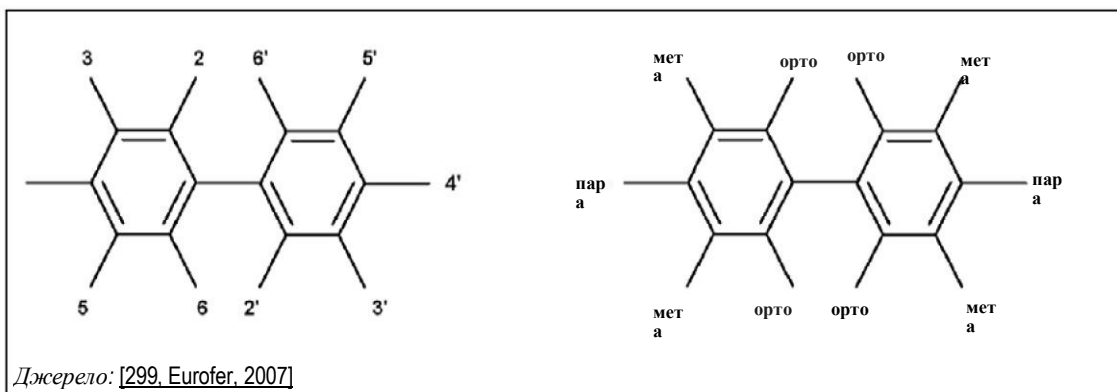


Рис. 13.1. Система нумерації ІЮПАК (IUPAC) та номенклатура PCB

В табл. 13.3. наведено перелік TEF для ВООЗ-12 PCB.

Таблиця 13.3: Таблиця коефіцієнтів токсичної еквівалентності ВООЗ-12 конженерів РСВ

№ IUPAC	Тип	Структура	ВООЗ-ТЕФ
77	не-орто	3,3',4,4' ТеСВ	0,0001
81		3,4,4',5ТеСВ	0,0001
126		3,3',4,4',5ПеВ	0,1
169		3,3',4,4',5,5'НхСВ	0,01
105	моно-орто	2,3,4,4',5 РеСВ	0,0005
114		2,3,4,4',5ПеСВ	0,0005
118		2,3',4,4',5ПеСВ	0,0001
123		2',3,4,4',5ПеСВ	0,0001
156		2,3,3',4,4',5НхСВ	0,0005
157		2,3,3',4,4',5'НхСВ	0,0005
167		2,3',4,4',5,5'НрСВ	0,00001
189		2,3,3',4,4',5,5'НрСВ	0,0001

Джерело: [299, Eurofer, 2007]

13.4 Додаток IV. Приклад порогових значень масових потоків для постійного моніторингу

[236, Німеччина, 2002]

Установки з масовими потоками частинок від 1 до 3 кг/год повинні бути оснащені вимірювальними приладами у відповідних джерелах, які здатні постійно контролювати роботу очисної споруди та встановлені ліміти викидів (якісні вимірювальні прилади).

Установки з масовим потоком частинок понад 3 кг/год повинні бути обладнані вимірювальними приладами у відповідних джерелах, які постійно визначають масові концентрації викидів пилу.

Установки з викидами пилу речовин згідно з розділами 5.2.2 або 5.2.5 класу I або 5.2.7 Технічних вказівок щодо повітря (TA Luft) [[236, Німеччина 2002] повинні бути оснащені вимірювальними приладами у відповідних джерелах, які постійно визначають загальну концентрацію частинок, якщо масовий потік викидів більше ніж у п'ять разів перевищує один із відповідних масових потоків.

На об'єктах, що виділяють газоподібні речовини понад наступні масові потоки, відповідні джерела повинні бути обладнані вимірювальними приладами, які постійно визначають масові концентрації відповідних речовин:

- діоксид сірки 30 кг/год
- оксид азоту і діоксид азоту, позначається як діоксид азоту: 30 кг/год
- окис вуглецю як свинцева речовина для оцінки ефективності процесів горіння: 5 кг/год
- чадний газ, усі інші випадки: 100 кг/год
- фтор і газоподібні неорганічні сполуки фтору, позначається як фтористий водень: 0,3 кг/год
- газоподібні неорганічні сполуки хлору, позначаються як хлороводень: 1,5 кг/год
- хлор: 0,3 кг/год
- сірководень: 0,3 кг/год

Якщо масові концентрації діоксиду сірки вимірюють безперервно, масові концентрації триоксиду сірки слід визначати під час калібрування та включати до розрахунку. Якщо окремі вимірювання показують, що пропорції діоксиду азоту у викидах оксиду азоту становлять менше 10 відсотків, від постійного вимірювання діоксиду азоту слід відмовитись і розрахувати його частку.

Місця з масовими потоками органічних речовин, що позначаються як загальний вуглець, та перевищують значення для

- речовин згідно з розділом 5.2.5 Клас I: 1 кг/год
- речовин згідно з Розділом 5.2.5: 2,5 кг/год

повинні бути обладнані вимірювальними приладами у відповідних джерелах, які постійно визначають загальний вуглець.

Об'єкти з масовими потоками ртуті та її сполук понад 2,5 г/год, що позначаються як Hg, повинні бути оснащені вимірювальними приладами у відповідних джерелах, які постійно визначають масові концентрації ртуті, якщо тільки надійно не доведено, що масові концентрації менше 20 відсотків показників, зазначених у Розділі 5.2.2 Класу I.

Компетентний орган вимагає, щоб споруди, що виділяють речовини, перелічені в Розділі 5.2.2 Класів I і II, або речовини, перелічені в Розділі 5.2.7, оснащувалися безперервними вимірювальними приладами для визначення масових концентрацій, якщо масовий потік перевищує один із відповідних масових потоків у понад п'ять разів і якщо є відповідні вимірювальні прилади.

13.5 Додаток V. Приклад шаблону для збору даних про навколишнє середовище на промислових підприємствах з переробки чорних металів

Таблиця 13.4: Приклад шаблону для збирання даних про навколишнє середовище в секторі IS

Ресурси/Енергія		Продукти/Побічні продукти			Викиди/Відходи						
Найменування	Одиниці вимірювання	Використання	Найменування	Одиниці вимірювання	Кількість	Найменування	Одиниці вимірювання	Кількість	Найменування	Одиниці вимірювання	Кількість
Сировинні матеріали			Продукти			Викиди			Пил		
Вугілля/антрацит			Кокс			Пил (загальний)			Fe (загальний)	% за масою	
Кокс			Агломерат			SO ₂			SiO ₂	% за масою	
Залізна руда			Рідкий чавун			NO _x			CaO	% за масою	
Окатиші			Рідка сталь			CO			Al ₂ O ₃	% за масою	
Вапно			Злитки			CO ₂			MgO	% за масою	
Доломіт			Залишки виробництва			Бензен (бензол)			P ₂ O ₅	% за масою	
Агломерат			Побічні продукти			Бензопірен			MnO	% за масою	
Чавунні чушки			Бензен (бензол)			Піридин			Cr ₂ O ₃	% за масою	
Скрап (брухт)			Смола			Толуол			Na ₂ O	% за масою	
Рідка сталь			Фенолят натрію			Ксилол			K ₂ O	% за масою	
Металева шихта			Сульфат амонія			Смола			Zn	% за масою	
Лігатура			Гранульований/повітряно-охолоджений шлак			F (HF)			Pb	% за масою	
Неметалеві сполуки			Сульфат заліза			Cl (HCl)			Cd	% за масою	
Інші			Оксид заліза			Фенол			Cu	% за масою	
Енергія			Тверді відходи			Метан			Ni	% за масою	
Природний газ			Доменний шлак			HCN			V	% за масою	
Електроенергія			Конвертерний шлак			H ₂ S			Co	% за масою	
Вода			Енергійний попіл та шлак			Амоній			As	% за масою	
Технологічна пара			Шлам чорних металів			CS ₂			Hg	% за масою	
Коксовий газ			Вогнетривкі матеріали			NaOH			Cl	% за масою	
Доменний газ			Сірка			H ₂ SO ₄			F	% за масою	
Кисень			Пил			PCDD/F			S	% за масою	
Кисень (рідкий)						Ненаправлені викиди			C	% за масою	
Аргон									Основність	pH	
Азот									Вологість	% за масою	
Азот (в пляшках)											
Водень											
Стиснене повітря											
Дугтя BF											
Ацетилен											
Інші технічні гази											

Європейська Комісія (European Commission)

EUR 25521 – Об'єднаний дослідницький центр – Інститут перспективних технологічних досліджень Назва: Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів керування (ДД НДТМ) для виробництва чавуну та сталі

Автор (и): Райнер Ремус, Мігель А. Агуадо Монсоне, Серж Рудьє, Луїс Дельгадо Санчо Люксембург: Відділ публікацій Європейського Союзу

2013 – 621 с. – 21.0 x 29.7 см

EUR – Серія наукових та технологічних досліджень – ISSN 1831-9424 (онлайн версія), ISSN 1018-5593 (версія для друку),

ISBN 978-92-79-26475-7 (pdf-версія)

ISBN 978-92-79-26476-4 (версія для друку) doi:10.2791/97469

Анотація

Цей довідковий документ про НДТМ для виробництва чавуну та сталі є частиною серії документів, де представлені результати обміну інформацією між країнами-членами ЄС, відповідними галузями, неурядовими організаціями, які сприяють захисту навколишнього середовища та Комісією, для складання, перегляду та, за необхідності, оновлення довідкових документів НДТМ, передбачених пунктом 1 статті 13 Директиви. Цей документ публікується Європейською Комісією відповідно до статті 13 (6) Директиви. Цей довідковий документ по застосуванню найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для чорної металургії охоплює теми, наведені в Додатку I до Директиви 2010/75/ЄС, а саме:

- економічна діяльність 1.3: виробництво коксу;
- економічна діяльність 2.1: випал та спікання металевих руд (включаючи сульфідну руду);
- економічна діяльність 2.2: виробництво чавуну і сталі (первинна або вторинна плавка), включаючи безперервний розлив, продуктивністю вище 2,5 т/год.

Документ також охоплює деякі види діяльності, які можуть бути безпосередньо пов'язані з цими видами діяльності на одному місці (виробничій локації). Важливими питаннями впровадження Директиви 2010/75/ЄС у виробництві чавуну та сталі є зменшення викидів у повітря; ефективне використання енергії та сировини; мінімізація, відновлення та переробка залишків технологічного процесу; а також ефективні системи екологічного та енергетичного менеджменту.

Цей ДД НДТМ містить 13 розділів. У розділі 1 представлена загальна інформація про металургійний сектор. Розділ 2 надає інформацію та дані про загальні виробничі процеси та методи, які застосовуються в цьому секторі. У розділах 3-8 представлені дані та інформація про конкретні процеси (агломераційні установки, процес виробництва окатишів, коксові печі, доменні печі / печі дуття, киснево-конвертерний процес виготовлення та лиття сталі, виготовлення та лиття сталі в електродугових печах). У розділі 9 представлено висновки щодо НДТМ, як визначено у статті 3 (12) Директиви, представлені для секторів, описаних у главах 2 – 8.

Як внутрішня наукова служба Європейської Комісії, місія Об'єднаного дослідницького центру полягає у наданні політиці ЄС незалежної науково-технічної підтримки на основі фактичних даних протягом усього циклу існування політики.

Тісно співпрацюючи з Генеральними директоратами з питань політики, JRC (ОДЦ) вирішує ключові суспільні проблеми, одночасно стимулюючи інновації шляхом розроблення нових стандартів, методів та інструментів, а також обміну та передачі своїх знань країнам-членам ЄС та міжнародному співтовариству.

Основні напрями політики включають такі частини: довкілля та кліматичні зміни; енергетика і транспорт; сільське господарство та продовольча безпека; охорона здоров'я та захист прав споживачів; інформаційне суспільство та цифровий порядок денний; захищеність та безпека, включаючи ядерну; всі вони підтримуються за допомогою наскрізного та багатоаспектного підходу.