

## Довідкові звіти Об'єднаного дослідницького центру (JRC)

# Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію

Директива щодо промислових викидів 2010/75/EU  
(Комплексне запобігання та контроль забруднень)

Фрауке Шорхт (Frauke Schorcht),  
Іоанна Коурті (Ioanna Kourti),  
Б'янка Марія Скалет (Bianca Maria Scalet),  
Серж Рудье (Serge Roudier),  
Луїс Дельгадо Санчо (Luis Delgado Sancho)

2013



Європейська комісія  
Об'єднаний дослідницький центр  
Інститут перспективних технологічних досліджень

Контактна інформація

Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень  
Адреса: Об'єднаний дослідницький центр, виставковий центр Едіфіціо Експо (Edificio Expo), кальє Інка Гарсіласо (c/ Inca Garcilaso), 3, Севілья, E-41092, Іспанія  
E-mail: 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/>

Ця публікація є Довідковим звітом, підготовленим Об'єднаним дослідницьким центром Європейської комісії.

Правове застереження

Згідно з Рішенням Європейської комісії від 12 грудня 2011 щодо повторного використання документів Європейської комісії (2011/833/EU), поточний Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (BREF) підлягає вільному повторному використанню, окрім частин, на які поширюються будь-які права третіх сторін, що можуть бути присутні у документі (як-от зображення, таблиці, дані, текстовий матеріал або подібні матеріали, права на які потрібно окремо придбати у їх відповідних правовласників для подальшого використання). Європейська комісія не несе відповідальності за будь-які наслідки, що випливають із повторного використання цієї публікації. Будь-яке повторне використання дозволене лише за умови визнання джерела та відсутності спотворення початкового значення чи основної думки.

«Юроп Дірект» (Europe Direct) – це сервіс, який допоможе вам знайти відповіді на ваші питання про Європейський Союз.

Безкоштовний номер телефону (\*): 00 800 6 7 8 9 10 11

(\*) Деякі мобільні телефонні оператори не дають доступу до номерів 00 800, або за зв'язок з такими номерами може стягуватися платіж.

Велику частину додаткової інформації щодо Європейського Союзу можна знайти в Інтернеті.

Доступ до неї можливий через сервер Європи <http://europa.eu/>.

JRC 83006

EUR 26129 EN

ISBN 978-92-79-32944-9 (pdf)

ISSN 1831-9424 (онлайн)

doi:10.2788/12850

Люксембург: Центр публікацій Європейського Союзу, 2013

© Європейський Союз, 2013

Передрук дозволено лише за умови посилання на першоджерело.

Надруковано в Іспанії

Довідковий документ  
з найкращих доступних  
технологій та методів  
управління (НДТМ) для  
виробництва цементу, вапна  
та оксиду магнію

Директива щодо промислових викидів  
2010/75/EU

Комплексне запобігання та контроль  
забруднень.

*Автори:*

Фрауке Шорхт,  
Іоанна Коурті,  
Б'янка Марія Скалет,  
Серж Рудье,  
Луїс Дельгадо Санчо

2013

EUR 26129 EN



## Подяки

Цей звіт був розроблений Європейським бюро з комплексного запобігання та контролю забруднень (EIPPCB), що знаходиться в Об'єднаному дослідницькому центрі Європейської комісії – Інституті перспективних технологічних досліджень (IPTS), під наглядом Сержа Рудьє (Керівника EIPPCB) та Луїса Дельгадо (Luis Delgado) (Керівника підрозділу екологічного виробництва та споживання ресурсів).

3-поміж працівників EIPPCB авторами Документа BREF з виробництва цементу, вапна та оксиду магнію (CLM), адаптованого до положень Директиви щодо промислових викидів (IED), були пані Іоанна Коурті та пані Б'янка Марія Скалет. 3-поміж працівників EIPPCB автором Документа BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію, прийнятого у 2010 році, була пані Фрауке Шорхт.

Цей звіт за проектом був складений у рамках впровадження Директиви щодо промислових викидів (2010/75/EU) і є результатом обміну інформацією, передбаченого Статтею 13 Директиви щодо виробництва цементу, вапна та оксиду магнію.

Основний внесок в обмін інформацією зробили:

- такі країни-члени ЄС: Австрія, Велика Британія, Естонія, Ірландія, Іспанія, Італія, Німеччина, Нідерланди, Португалія, Угорщина, Фінляндія, Франція, Чехія, Швеція;
- SEMBUREAU (Європейська асоціація виробників цементу) – галузева асоціація, у якій представлена більшість європейських виробників цементу;
- EuLA (Європейська асоціація виробників вапна) – галузева асоціація, у якій представлена більшість європейських виробників вапна;
- EUROMINES (Європейська асоціація гірничодобувної промисловості, металевих руд та промислових мінералів) – галузева асоціація, у якій представлені європейські виробники MgO;
- EURITS (Європейське об'єднання відповідального спалювання та переробки спеціальних відходів) – галузева асоціація, у якій представлена більшість підприємств ЄС зі спалювання небезпечних відходів.

Крім того, інформація щодо цементної промисловості була надана постачальником обладнання з Норвегії.

Усі члени команди EIPPCB зробили свій внесок і здійснювали взаємне рецензування.

Цей документ належить до серії запланованих документів, що перелічені нижче (на момент написання не всі документи розроблені):

<b>Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління</b>	<b>Код</b>
Керамічне виробництво	CER
Загальні системи переробки/керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі	CWW
Викиди зі складів	EFS
Енергоефективність	ENE
Обробка чорних металів	FMP
Харчова, питна та молочна промисловість	FDM
Промислові системи охолодження	ICS
Інтенсивне птахівництво та свинарство	IRPP
Виробництво заліза та сталі	IS
Великі спалювальні установки	LCP
Великосерійна неорганічно-хімічна промисловість – виробництво аміаку, кислот та добрив	LVIC-AAF
Великосерійна неорганічно-хімічна промисловість – виробництво твердих та інших речовин	LVIC-S
Великосерійна органічно-хімічна промисловість	LVOC
Утилізація хвостів та відвалів у гірничодобувній діяльності	MTWR
Виробництво скла	GLS
Виробництво хімічної продукції тонкого органічного синтезу	OFC
Кольорова металургія	NFM
<i>Виробництво цементу, вапна та оксиду магнію</i>	<i>CLM</i>
Хлорно-лужне виробництво	CAK
Виробництво полімерів	POL
Виробництво целюлозної маси, паперу та картону	PP
Виробництво неорганічних хімічних речовин спеціального призначення	SIC
Переробка нафти і газу	REF
Бойні та переробка побічних продуктів тваринної промисловості	SA
Ковальська та ливарна промисловість	SF
Поверхнева обробка металів та пластмас	STM
Поверхнева обробка за допомогою органічних розчинників	STS
Дублення шкір та шкір	TAN
Текстильна промисловість	TXT
Спалювання відходів	WI
Переробка відходів	WT
Консервування деревини та дерев'яних виробів за допомогою хімічних речовин	WPC
Виробництво деревних плит	WBP
<b>Довідковий документ</b>	
Економічні та міжсередовищні наслідки	ECM
Загальні принципи моніторингу	MON

Електронні версії ескізних та остаточно оформлених документів наявні у відкритому доступі, їх можна завантажити з сайту <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>.

## ПЕРЕДМОВА

### 1. Статус цього документа

Якщо не зазначено інше, посилання на «Директиву» у цьому документі означає Директиву 2010/75/EU Європейського парламенту та Ради щодо промислових викидів (комплексного запобігання та контролю забруднень) (у новій редакції).

Початковий довідковий документ (BREF) з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва цементу та вапна був прийнятий Європейською комісією у 2001 році. Цей документ отримано в результаті початкового BREF з додаванням інформації про виробництво оксиду магнію. Перегляд розпочався у березні 2005 року.

Довідковий документ з НДТМ для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію входить до складу серії, у якій представлені результати обміну інформацією між країнами-членами ЄС, відповідними галузями промисловості, неурядовими організаціями, що сприяють захисту довкілля, та Комісією, здійсненого з метою складання, перегляду та, за необхідності, оновлення довідкових документів з НДТМ відповідно до вимог Статті 13 (1) Директиви. Цей документ опублікований Європейською комісією відповідно до Статті 13 (6) Директиви.

Як зазначено у Статті 13 (5) Директиви, Виконавче рішення Комісії (2013/163/EU) щодо висновків стосовно НДТМ, які наведені у Частині 4, були прийняті 26 березня і опубліковані 9 квітня 2013 року<sup>1</sup>.

### 2. Учасники обміну інформацією

Згідно з вимогами Статті 13<sup>(3)</sup> Директиви, Комісія організувала форум для сприяння обміну інформацією, до складу якого входять представники країн-членів ЄС, відповідних галузей промисловості та неурядових організацій, що сприяють захисту довкілля (Рішення Комісії від 16 травня 2011 року, організація форуму для обміну інформацією відповідно до Статті 13 Директиви 2010/75/EU щодо промислових викидів (2011/C 146/03), OJ C 146, 17.05.2011, с. 3).

Члени форуму висунули кандидатури технічних експертів, які утворили технічну робочу групу (ТРГ), що стала головним джерелом інформації для перетворення розділів НДТМ документа BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію у висновки стосовно НДТМ для використання у рамках Директиви щодо промислових викидів. Роботою ТРГ керувало Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень (Об'єднаного дослідницького центру Комісії).

### 3. Структура та зміст цього документа

Цей документ складається з трьох основних частин: частина 1 – «Цементна промисловість», частина 2 – «Вапняна промисловість» та частина 3 «Виробництво оксиду магнію» (сухий технологічний метод, що базується на використанні видобутого природного магнезиту).

У розділах 1 та 2 частин 1 – 3 наведена загальна інформація про відповідні сектори промисловості та про промислові технологічні процеси і технології, що використовуються в цьому секторі.

У розділах 3 частин 1 – 3 наведені дані та інформація, що стосуються екологічних показників установок, що використовуються у секторі та експлуатуються на момент написання документа, з точки зору поточних викидів, споживання ресурсів та характеру сировини, споживання води, використання енергії та утворення відходів.

---

<sup>1</sup> OJ L 100, 09.04.2013, с. 1

У розділах 4 частин 1 – 3 детальніше описані технології запобігання або, якщо це недоцільно, зменшення впливу установок цього сектору на довкілля, які були враховані при визначенні НДТМ. Ця інформація охоплює – у тих випадках, коли це доречно – рівні екологічних показників (наприклад, рівні викидів та споживання ресурсів), яких можна досягти шляхом використання цих технологій, пов'язані з ними процедури моніторингу і витрати та міжсередовищні питання, пов'язані з технологіями.

У розділах 5 частин 1 – 3 представлена інформація про «перспективні технології» згідно з їх визначенням у Статті 3 (14) Директиви.

У частині 4 наведені висновки щодо НДТМ згідно зі Статтею 3 (12) Директиви.

Заключні зауваження та рекомендації щодо майбутньої роботи наведені у частині 5.

#### 4. Джерела інформації та визначення НДТМ

Цей документ базується на інформації, зібраній з ряду джерел – зокрема, у ході діяльності ТРГ, яка була організована саме для обміну інформацією згідно зі Статтею 13 Директиви. Ця інформація була впорядкована та оцінена Європейським бюро комплексного запобігання та контролю забруднень (Об'єднаного дослідницького центру Комісії), яке очолювало роботу з визначення НДТМ, керуючись принципами технічної компетентності, прозорості та нейтралітету. З вдячністю відзначаємо роботу ТРГ та всіх інших учасників.

Висновки щодо НДТМ були зроблені за допомогою ітеративного процесу, що складався з таких кроків:

- визначення ключових питань охорони довкілля для галузі;
- оцінка технологій, які є найбільш актуальними для вирішення цих ключових питань;
- визначення найкращих рівнів екологічних показників на основі доступних даних у Європейському Союзі та по всьому світу;
- вивчення умов, за яких були досягнуті ці рівні екологічних показників, таких як витрати, міжсередовищні наслідки та основні рушійні сили, що впливали на впровадження технологій;
- вибір найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ), пов'язаних з ними рівнів викидів (та їх рівнів екологічних показників) та відповідних процедур моніторингу для цього сектору згідно зі Статтею 3 (10) та Додатку III до Директиви.

Для кожного з цих кроків і для способу представлення інформації у цьому документі ключову роль відіграло експертне судження Європейського бюро з комплексного запобігання та контролю забруднень і відповідної ТРГ.

Економічні дані, якщо вони доступні, наведені разом з описами технологій, викладеними у розділах 4 частин 1 – 3. Вони дають приблизне уявлення про величину витрат та вигод. Проте фактичні витрати та вигоди, пов'язані з застосуванням технологій, можуть суттєво залежати від конкретної ситуації на установці, про яку йде мова, тож їх не можна повністю оцінити в цьому документі. Якщо дані про витрати відсутні, висновки про рентабельність технологій робляться на основі спостережень за існуючими установками.

#### 5. Перегляд Довідкових документів з НДТМ (BREF)

НДТМ – це динамічне поняття, тож документи BREF безперервно переглядаються. Наприклад, можуть з'явитися нові заходи та технології, оскільки наука та технологічні засоби постійно розвиваються, і в галузях промисловості успішно впроваджуються нові або перспективні процеси. З метою відображення таких змін та їх наслідків для НДТМ цей документ буде періодично переглядатися та, за необхідності, відповідним чином оновлюватися.



Процес перегляду BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію розпочався у 2005 році в рамках Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень 2008/1/EC на заключному засіданні ТРГ, проведеному у вересні 2008 року, на якому були погоджені висновки щодо НДТМ та нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ (BAT-AEL). BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію був прийнятий Європейською Комісією і опублікований у 2010 році в рамках Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень.

У лютому 2012 року Європейська комісія вирішила продовжити роботу над BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію і перетворити його в документ, зроблений за яким висновки про НДТМ можна буде використовувати для реалізації Директиви щодо промислових викидів (2010/75/EU). Ескізні висновки щодо НДТМ були випущені для проведення консультацій з ТРГ у лютому 2012 року. У травні 2012 року було проведене засідання ТРГ, метою якого було обговорити ескізні висновки щодо НДТМ і переконатися, що вони точно відображають технічний зміст висновків, прийнятих у рамках Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень. У цьому процесі не розглядалася нова інформація для розділів, присвячених виробництву цементу чи вапна, а натомість була врахована обмежена додаткова інформація стосовно викидів оксидів сірки у виробництві оксиду магнію.

Поточний документ містить висновки щодо НДТМ, перетворені таким чином, щоб їх можна було впровадити у рамках Директиви 2010/75/EU.

## **6. Контактна інформація**

Усі коментарі та пропозиції слід надсилати до Європейського бюро з комплексного запобігання та контролю забруднень, що знаходиться в Інституті перспективних технологічних досліджень, за такою адресою:

Європейська комісія  
Інститут перспективних технологічних досліджень  
Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень  
Виставковий центр Едіфісіо Експо  
кальє Інка Гарсіласо, 3  
Севілья, Е-41092, Іспанія  
Телефон: +34 95 4488 284  
Факс: +34 95 4488 426  
Ел. пошта: [JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu](mailto:JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu)  
Веб-сайт: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>



---

---



# Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію

ПЕРЕДМОВА.....	i
СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	xxi
<b>1 ЦЕМЕНТНА ПРОМИСЛОВІСТЬ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Загальна інформація про цементну промисловість.....	1
1.2 Технологічні процеси та технології, що застосовуються у виробництві цементу.....	9
1.2.1 Сировинні матеріали та їх видобуток.....	11
1.2.2 Зберігання та підготовка сировинних матеріалів.....	13
1.2.2.1 Зберігання сировинних матеріалів.....	13
1.2.2.2 Помел сировинних матеріалів.....	13
1.2.2.2.1 Помел сировинних матеріалів при виробництві портландцементного клінкеру за сухим та напівсухим способами.....	14
1.2.2.2.2 Помел сировинних матеріалів при виробництві портландцементного клінкеру за мокрим та напівмокрим способами <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
1.2.2.2.3 Гомогенізація та зберігання сировинної муки або шламу.....	15
1.2.3 Зберігання та підготовка палива.....	15
1.2.3.1 Зберігання викопних видів палива..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
1.2.3.2 Підготовка викопних видів палива.....	16
1.2.4 Використання відходів.....	17
1.2.4.1 Загальні аспекти.....	18
1.2.4.2 Використання відходів у якості сировини.....	19
1.2.4.3 Використання відходів у якості палива.....	22
1.2.4.3.1 Види палива з відходів.....	22
1.2.4.3.1.1 Тверді види палива з відходів.....	23
1.2.4.3.1.2 Рідкі види палива з відходів.....	24
1.2.4.3.2 Вимоги до якості відходів та вхідний контроль.....	24
1.2.4.3.2.1 Вміст металів у відходах.....	26
1.2.4.3.3 Зберігання та операції поводження з відходами.....	26
1.2.5 Випал портландцементного клінкеру.....	26
1.2.5.1 Випал у печі.....	28
1.2.5.2 Довгі обертові печі.....	29
1.2.5.3 Обертові печі обладнані запічними теплообмінними пристроями.....	29
1.2.5.3.1 Технологія колосникового теплообмінника.....	29
1.2.5.3.2 Технологія циклонного теплообмінника.....	30
1.2.5.3.3 Шахтно-циклонні теплообмінники.....	31
1.2.5.3.4 Теплообмінники з чотирьохступеневою системою циклонів .... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
1.2.5.4 Обертові печі з циклонним теплообмінником та декарбонізатором.....	31
1.2.5.4.1 Система байпас..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
1.2.5.5 Шахтні печі.....	35
1.2.5.6 Відхідні гази печей.....	35
1.2.5.6.1 Відключення за рівнем CO.....	35
1.2.5.7 Клінкерні холодильники.....	36
1.2.5.7.1. Обертові холодильники.....	36
1.2.5.7.1.1. Барабанні холодильники.....	36
1.2.5.7.1.2. Планетарні (рекуператорні) холодильники.....	36
1.2.5.7.2. Колосникові холодильники.....	37
1.2.5.7.2.1. Холодильники з рухомим колосником.....	37
1.2.5.7.2.2. Холодильники зі зворотно-поступальним колосником.....	37
1.2.5.7.2.3. Колосникові холодильники третього покоління.....	38
1.2.5.7.3. Трубчасті гравітаційні холодильники.....	38
1.2.5.8 Когенерація..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
1.2.6 Помел та зберігання цементу.....	39
1.2.6.1. Складування клінкеру.....	39
1.2.6.2. Помел цементу.....	40
1.2.6.2.1. Облік та дозування матеріалу, який подається у млин..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
1.2.6.2.2. Помел цементу.....	40
1.2.6.2.3. Помел мінеральних добавок.....	41
1.2.6.2.4. Розділення за гранулометричним складом.....	42
1.2.6.2.5. Зменшення вмісту хроматів хрому (VI).....	42

1.2.6.3.	Зберігання цементу .....	43
1.2.7	Пакування та відвантаження .....	43
1.3	Поточні рівні споживання ресурсів та викидів .....	44
1.3.1.	Споживання води .....	45
1.3.2.	Споживання сировинних матеріалів .....	46
1.3.2.1.	Споживання відходів у якості сировини .....	46
1.3.3.	Використання енергії .....	48
1.3.3.1.	Потреба в тепловій енергії .....	48
1.3.3.2.	Потреба в електроенергії .....	50
1.3.3.3.	Споживання палива з відходів .....	50
1.3.4.	Викиди у атмосферне повітря .....	56
1.3.4.1.	Пил (тверді частинки) .....	58
1.3.4.1.1.	Викиди пилу з організованих джерел .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.4.1.2.	Викиди дрібнодисперсного пилу фракцій PM <sub>10</sub> та PM <sub>2,5</sub> .....	60
1.3.4.1.3.	Викиди пилу з неорганізованих джерел .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.4.2.	Оксиди азоту .....	62
1.3.4.3.	Діоксид сірки .....	68
1.3.4.4.	Оксиди вуглецю (CO <sub>2</sub> , CO) .....	71
1.3.4.4.1.	Вуглекислий газ (CO <sub>2</sub> ) .....	71
1.3.4.4.2.	Монооксид вуглецю (CO) .....	72
1.3.4.5.	Загальні органічні сполуки (ЗОВ – загальний органічний вуглець) .....	73
1.3.4.6.	Поліхлоровані дибензопарадіоксини (ПХДД) та дибензофурані (ПХДФ) .....	76
1.3.4.7.	Метали та їх сполуки .....	79
1.3.4.7.1.	Ртуть та її сполуки .....	84
1.3.4.8.	Хлороводень та фтороводень (HCl та HF) .....	86
1.3.4.8.1.	Газоподібні неорганічні сполуки хлору .....	86
1.3.4.8.2.	Газоподібні неорганічні сполуки фтору .....	89
1.3.4.9.	Аміак (NH <sub>3</sub> ) .....	92
1.3.4.10.	Бензол, толуол, етилбензол та ксилен (BTEX) .....	93
1.3.4.11.	Поліароматичні вуглеводні (ПАВ) .....	94
1.3.4.12.	Інші органічні забруднюючі речовини .....	94
1.3.4.13.	Вплив використання відходів на динаміку викидів та енергоефективність .....	94
1.3.4.14.	Вплив використання відходів на якість продукції .....	96
1.3.5.	Технологічні втрати/відходи .....	96
1.3.6.	Викиди (скиди) у водні об'єкти .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.7.	Шум .....	97
1.3.8.	Запахи .....	98
1.3.9.	Моніторинг .....	98
1.3.9.1.	Моніторинг параметрів відхідних газів та викидів забруднюючих речовин .....	98
1.4	Технології, які потрібно розглянути при визначенні НДТМ .....	100
1.4.1	Споживання сировинних матеріалів .....	102
1.4.2	Зменшення споживання енергії (енергоефективність) .....	102
1.4.2.1	Зменшення використання теплової енергії .....	102
1.4.2.1.1.	Пічні системи .....	103
1.4.2.1.2.	Властивості сировини .....	105
1.4.2.1.3.	Властивості палива .....	106
1.4.2.1.4.	Система байпас .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.2.1.5.	Зменшення вмісту клінкеру у цементі .....	108
1.4.2.2.	Зменшення споживання електроенергії .....	108
1.4.2.3.	Вибір технологічного процесу .....	109
1.4.2.4.	Регенерація енергії з печей та холодильників / комбіноване виробництво тепла та електроенергії .....	110
1.4.3	Загальні технології .....	112
1.4.3.1.	Оптимізація контролю технологічного процесу .....	112
1.4.3.2.	Вибір палива та сировини .....	114
1.4.3.3.	Використання відходів у якості палива .....	115
1.4.4	Викиди пилу (твердих частинок) .....	116
1.4.4.1.	Технології для операцій, що супроводжуються утворенням пилу .....	116
1.4.4.2.	Технології для майданчиків зберігання насипом та кагатів (відкриті склади) .....	119
1.4.4.3.	Зменшення організованих викидів пилу .....	120
1.4.4.3.1.	Електрофільтри .....	121
1.4.4.3.2.	Рукавні фільтри .....	123
1.4.4.3.3.	Комбіновані фільтри .....	124
1.4.5	Газоподібні сполуки .....	125
1.4.5.1	Зниження викидів NO <sub>x</sub> .....	125
1.4.5.1.1.	Охолодження полум'я .....	128

1.4.5.1.2	Пальники з низьким виділенням NO <sub>x</sub> .....	129
1.4.5.1.3	Ступінчасте горіння .....	130
1.4.5.1.4	Технологія випалу клінкеру з частковим дозуванням палива в середню частину печі.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.5.1.5	Використання мінералізаторів випалу клінкеру....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.5.1.6	Оптимізація технологічного процесу для зниження викидів (NO <sub>x</sub> ) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.5.1.7	Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ).....	134
1.4.5.1.8	Селективне каталітичне відновлення (СКВ) .....	140
1.4.5.2	Зниження викидів SO <sub>2</sub> .....	143
1.4.5.2.1	Використання абсорбентів .....	145
1.4.5.2.2	Мокрий скрубєр.....	146
1.4.5.2.3	Активоване вугілля.....	148
1.4.5.3	Зниження викидів вуглецю оксидів (CO) та зменшення кількості відключень електрофільтрів через підвищення вмісту у відхідних газах CO ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.5.4	Зниження викидів загального органічного вуглецю (ЗОВ).....	152
1.4.5.5	Зниження викидів хлороводню (HCl) та фтороводню (HF) .....	153
1.4.6	Зниження викидів поліхлорованих дифензопарадіоксинів (ПХДД) та поліхлорованих дифензофуранів (ПХДФ).....	154
1.4.7	Зниження викидів металів .....	155
1.4.8	Приклади даних про витрати на різні технології зниження викидів з димовими газами та первинних технологій, які можна використовувати для зниження викидів .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.8.1	Приклади даних про витрати на технології зниження викидів пилу.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.8.2	Приклади даних про витрати на технології зниження викидів NO <sub>x</sub> .....	158
1.4.8.3	Приклади даних про витрати на технології зниження викидів SO <sub>x</sub> .....	160
1.4.9	Технологічні втрати / відходи .....	162
1.4.10	Шум.....	163
1.4.11	Загальні міркування щодо неприємних запахів .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.12	Інструменти управління навколишнім середовищем.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5	Перспективні технології у цементній промисловості .....	168
1.5.1	Технологія виготовлення цементу на основі псевдозріженого шару.....	168
1.5.2	Ступінчасте спалювання у поєднанні з СНКВ.....	169
1.5.3	Очищення димових газів цементної печі сухим гідрокарбонатом натрію та його повторне хімічне використання .....	169
<b>2</b>	<b>ВАПНЯНА ПРОМИСЛОВІСТЬ .....</b>	<b>171</b>
2.1	Загальна інформація про вапняну промисловість .....	171
2.1.1	Вапно та його застосування .....	171
2.1.2	Виробництво вапна у світі.....	172
2.1.3	Географічний розподіл та загальні економічні міркування для Європи – ключові показники .....	172
2.1.3.1	Річний обсяг виробництва.....	172
2.1.3.2	Ключові проблеми захисту навколишнього середовища та сталого розвитку .....	173
2.1.3.3	Типи вапна та доломітового вапна.....	174
2.1.3.4	Вапняні установки.....	175
2.2	Технологічні процеси та технології, що застосовуються у виробництві вапна .....	180
2.2.1	Загальний опис технологічного процесу виробництва .....	181
2.2.2	Сировинні матеріали та видобування вапняку.....	182
2.2.3	Підготовка, очищення та зберігання вапняку .....	183
2.2.3.1	Підготовка вапняку .....	183
2.2.3.2	Зберігання вапняку.....	184
2.2.3.3	Промивання вапняку .....	184
2.2.4	Зберігання та підготовка палива .....	185
2.2.5	Використання відходів .....	188
2.2.5.1	Загальні аспекти .....	188
2.2.5.2	Технічні аспекти.....	189
2.2.5.3	Типи палива з відходів, що використовуються .....	191
2.2.5.4	Контроль якості твердого палива з відходів .....	193
2.2.6	Виробництво негашеного вапна та доломіту .....	193
2.2.6.1	Кальцинування вапняку – хімічна реакція.....	193
2.2.6.2	Кальцинування вапняку у печі .....	195
2.2.6.3	Обробка негашеного вапна .....	197
2.2.6.3.1	Виробництво роздрібненого меленого негашеного вапна .....	197
2.2.6.4	Виробництво гашеного та/або гідратованого вапна.....	198
2.2.6.4.1	Виробництво гідратованого вапна .....	198

2.2.6.4.2	Виробництво вапняного молока та вапняного тіста .....	199
2.2.7	Типи печей випалу вапна – технології та конструкція .....	199
2.2.7.1	Шахтна піч зі змішаним живленням або шахтна пересипна піч (ШПЗЖ) .....	202
2.2.7.2	Прямоточна регенеративна піч (ПРП) .....	203
2.2.7.3	Кільцеві шахтні печі (КШП) .....	206
2.2.7.4	Інші печі (Ш) .....	209
2.2.7.4.1	Інші одношахтні печі .....	209
2.2.7.4.2	Шахтні печі з подвійною похилою камерою .....	209
2.2.7.4.3	Багатокамерні шахтні печі .....	210
2.2.7.4.4	Печі з рухомим колосником .....	210
2.2.7.4.5	Кеглеподібні печі .....	210
2.2.7.4.6	Печі для кальцинування у газовому зависі (КГЗ) .....	210
2.2.7.4.7	Печі з обертовим подом .....	211
2.2.7.5	Довгі обертові печі (ДОП) .....	211
2.2.7.6	Обертові печі з підігрівачем (ОПП) .....	214
2.2.8	Зберігання та вантажні операції .....	217
2.2.8.1	Зберігання .....	217
2.2.8.1.1	Зберігання негашеного вапна .....	217
2.2.8.1.2	Зберігання гідратованого вапна .....	218
2.2.8.1.3	Зберігання вапняного молока .....	218
2.2.8.2	Переміщення .....	219
2.2.9	Інші види обробки вапна .....	219
2.2.9.1	Виробництво гідравлічних сортів вапна .....	219
2.2.9.2	Виробництво кальцинованого доломіту .....	219
2.2.9.3	Виробництво випаленого доломітового вапна за допомогою двопрохідного процесу .....	220
2.2.10	Загальні міркування щодо печей випалу вапна під контролем інших галузей .....	220
2.2.10.1	Печі випалу вапна в чорній металургії .....	220
2.2.10.2	Печі випалу вапна у галузі виробництва крафт-целюлози .....	221
2.2.10.3	Печі випалу вапна у цукровій промисловості .....	221
2.3	Поточні рівні споживання ресурсів та викидів .....	222
2.3.1	Споживання вапняку .....	222
2.3.2	Використання енергії .....	222
2.3.2.1	Кальцинування вапняку .....	222
2.3.2.2	Гідратація вапна .....	224
2.3.2.3	Помел вапна .....	224
2.3.3	Викиди у повітря .....	224
2.3.3.1	Пил (тверді частки) .....	226
2.3.3.1.1	Організовані джерела викидів .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.3.1.2	Неорганізовані джерела викидів .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.3.2	Оксиди азоту .....	229
2.3.3.3	Діоксид сірки .....	230
2.3.3.4	Оксиди вуглецю (CO <sub>x</sub> ) .....	233
2.3.3.4.1	Вуглекислий газ (CO <sub>2</sub> ) .....	233
2.3.3.4.2	Монооксид вуглецю (CO) .....	235
2.3.3.5	Органічні сполуки / загальний органічний вуглець (ЗОВ) .....	237
2.3.3.6	Поліхлоровані дибензопарадіоксини (ПХДД) та поліхлоровані дибензофурани (ПХДФ) .....	239
2.3.3.7	Хлороводень та фтороводень (HCl та HF) .....	239
2.3.3.8	Сірководень (H <sub>2</sub> S) .....	240
2.3.3.9	Метали .....	241
2.3.3.10	Вплив використання відходів на динаміку викидів .....	243
2.3.3.10.1	Приклади викидів у разі використання відпрацьованого мастила .....	243
2.3.3.10.2	Приклади викидів з обертових печей у випадку використання твердих відходів .....	244
2.3.4	Технологічні втрати / відходи .....	245
2.3.5	Використання та очищення води .....	246
2.3.6	Шум .....	246
2.3.7	Неприємні запахи .....	246
2.3.8	Моніторинг .....	247
2.3.8.1	Безперервні вимірювання .....	247
2.3.8.2	Періодичні вимірювання .....	247
2.4	Технології, які потрібно розглянути при визначенні НДТМ .....	249
2.4.1	Споживання вапняку .....	251
2.4.2	Зменшення споживання енергії (енергоефективність) .....	251
2.4.3	Оптимізація керування технологічним процесом .....	253
2.4.4	Вибір палива (у тому числі палива з відходів) .....	254



2.4.5	Викиди пилу (твердих часток) .....	256
2.4.5.1	Технології для операцій, що супроводжуються утворенням пилу .....	256
2.4.5.2	Технології для майданчиків зберігання насипом та кагатів (відкриті склади) .....	257
2.4.5.3	Зменшення викидів пилу з організованих джерел .....	258
2.4.5.3.1	Електрофільтри (ЕСП).....	259
2.4.5.3.2	Рукавні фільтри .....	261
2.4.5.3.3	Мокрі пиловловлювачі .....	264
2.4.5.3.4	Відцентрові сепаратори / циклони .....	267
2.4.5.3.5	Приклади даних про витрати на різні технології очищення димових газів .....	267
2.4.6	Газоподібні сполуки .....	271
2.4.6.1	Зниження викидів NO <sub>x</sub> .....	271
2.4.6.1.1	Оптимізація технологічного процесу .....	272
2.4.6.1.2	Ступінчасте подавання повітря .....	273
2.4.6.1.3	Пальники з низьким виділенням NO <sub>x</sub> .....	274
2.4.6.1.4	Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ).....	275
2.4.6.1.5	Селективне каталітичне відновлення (СКВ) .....	278
2.4.6.2	Зниження викидів SO <sub>2</sub> .....	279
2.4.6.3	Зменшення викидів CO .....	280
2.4.6.4	Зниження викидів загального органічного вуглецю (ЗОВ).....	281
2.4.6.5	Зниження викидів хлороводню (HCl) та фтороводню (HF) .....	281
2.4.7	Зниження викидів поліхлорованих дібензопарадіоксинів (ПХДД) та поліхлорованих дібензофуранів (ПХДФ).....	282
2.4.8	Зниження викидів металів.....	285
2.4.9	Технологічні втрати / відходи .....	286
2.4.9.1	Загальні міркування щодо повторного використання технологічних втрат твердих речовин / відходів у якості сировини .....	286
2.4.10	Шум.....	287
2.4.11	Загальні міркування щодо неприємних запахів .....	289
2.4.12	Інструменти управління навколишнім середовищем.....	289
2.5	Перспективні технології у вапняній промисловості .....	290
2.5.1	Кальцинування у псевдозрідженому шарі .....	290
2.5.2	Піч зваженого кальцинування / установка підігрівання у зваженому стані .....	290
2.5.3	Керамічні фільтри .....	291
2.5.4	Допалювання димових газів від шахтних печей зі змішаним живленням .....	291
<b>3</b>	<b>ГАЛУЗЬ ВИРОБНИЦТВА ОКСИДУ МАГНІЮ (СУХИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МЕТОД НА ОСНОВІ ВИДОБУТОГО ПРИРОДНОГО МАГНЕЗИТУ).....</b>	<b>293</b>
3.1	Загальні характеристики .....	293
3.1.1	Вступ .....	293
3.1.2	Магnezитова промисловість в Європі та у всьому світі.....	293
3.1.2.1	Типи продукції з оксиду магнію (магnezії) .....	297
3.1.2.1.1	Магnezія.....	297
3.1.2.1.1.1	Спечена, або намертво обпалена магnezія (НОМ).....	298
3.1.2.1.1.2	Каустична кальцинована магnezія (ККМ) .....	298
3.1.2.1.1.3	Плавлена магnezія (ПМ) .....	298
3.1.3	Використання магnezії .....	298
3.2	Технологічні процеси та технології, що застосовуються .....	301
3.2.1	Сировина та її підготовка .....	301
3.2.1.1	Магnezит.....	301
3.2.2	Види палива.....	302
3.2.3	Загальний опис процесу виробництва магnezії з магnezиту (природної спеченої / намертво обпаленої магnezії) .....	302
3.2.3.1	Процеси обпалювання .....	303
3.2.3.1.1	Процес прямого обпалювання (одноступеневе обпалювання).....	303
3.2.3.1.1.1	Підготовка «необробленого спеченого матеріалу» .....	303
3.2.3.1.2	Процес двоступеневого обпалювання .....	305
3.2.3.2	Типи печей – технології та конструкція .....	306
3.2.3.2.1	Обертові печі .....	307
3.2.3.2.1.1	Обертові печі з підігрівачем .....	307
3.2.3.2.1.2	Довгі обертові печі .....	307
3.2.3.2.2	Шахтні печі.....	308
3.2.3.2.2.1	Шахтні печі з обертовою пластиною.....	308
3.2.3.2.2.2	Шахтні печі з обертовим колосником .....	309
3.2.3.2.2.3	Двошахтна піч .....	309
3.2.4	Виробництво пвленої магnezії .....	310
3.3	Поточні рівні споживання ресурсів та викидів .....	311
3.3.1	Споживання сировини (необробленого магnezиту) та води .....	311
3.3.2	Споживання енергії .....	312

3.3.3	Викиди .....	313
3.3.3.1	Викиди у повітря.....	313
3.3.3.2	Технологічні втрати / відходи.....	314
3.3.3.3	Скиди у воду.....	315
3.3.3.4	Шум.....	315
3.3.4	Моніторинг .....	316
3.4	Технології, які потрібно розглянути при визначенні НДТМ.....	317
3.4.1	Загальні міркування щодо споживання сировини .....	319
3.4.2	Загальні міркування щодо води .....	319
3.4.3	Зменшення споживання енергії (енергоефективність) .....	319
3.4.4	Оптимізація керування технологічним процесом.....	320
3.4.5	Вибір палива .....	321
3.4.6	Викиди пилу (твердих часток).....	322
3.4.6.1	Технології для операцій, що супроводжуються утворенням пилу .....	322
3.4.6.2	Зменшення організованих викидів пилу.....	323
3.4.6.2.1	Електрофільтри (ЕСП).....	324
3.4.6.2.2	Відцентрові сепаратори / циклони .....	324
3.4.6.2.3	Мокрі пиловловлювачі.....	325
3.4.6.2.4	Рукавні фільтри.....	326
3.4.7	Газоподібні сполуки.....	327
3.4.7.1	Зниження викидів NO <sub>x</sub> .....	327
3.4.7.2	Зниження викидів CO.....	329
3.4.7.3	Зниження викидів SO <sub>2</sub> .....	330
3.4.8	Загальні міркування щодо технологічних втрат / відходів.....	331
3.4.9	Шум.....	331
3.4.10	Інструменти управління навколишнім середовищем .....	332
3.5	Перспективні технології .....	333
<b>4</b>	<b>ВИСНОВКИ ЩОДО НДТМ.....</b>	<b>335</b>
	СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ .....	335
	ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ.....	336
	ВИЗНАЧЕННЯ .....	336
	ЗАГАЛЬНІ МІРКУВАННЯ .....	338
4.1	Загальні висновки щодо НДТМ .....	339
4.1.1	Системи управління навколишнім середовищем (EMS) .....	339
4.1.2	Шум.....	340
4.2	Висновки щодо НДТМ для цементної промисловості .....	341
4.2.1	Загальні первинні технології .....	341
4.2.2	Моніторинг .....	341
4.2.3	Споживання енергії та вибір технологічного процесу .....	342
4.2.3.1	Вибір технологічного процесу.....	342
4.2.3.2	Споживання енергії.....	343
4.2.4	Використання відходів.....	344
4.2.4.1	Контроль якості відходів .....	344
4.2.4.2	Завантаження відходів у піч .....	345
4.2.4.3	Керування технікою безпеки у разі використання небезпечних відходів .....	345
4.2.5	Викиди пилу.....	346
4.2.5.1	Неорганізовані джерела викидів.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.5.2	Організовані джерела викидів в результаті пилких операцій.....	347
4.2.5.3	Викиди пилу у результаті процесів випалювання в печі .....	348
4.2.5.4	Викиди пилу у результаті процесів охолодження та роздрібнення.....	348
4.2.6	Газоподібні сполуки.....	349
4.2.6.1	Зниження викидів NO <sub>x</sub> .....	349
4.2.6.2	Викиди SO <sub>x</sub> .....	350
4.2.6.3	Викиди CO та відключення за рівнем CO.....	351
4.2.6.3.1	Зменшення частоти відключень за рівнем CO.....	351
4.2.6.4	Викиди загального органічного вуглецю (ЗОВ).....	352
4.2.6.5	Викиди хлороводню (HCl) та фтороводню (HF) .....	352
4.2.7	Викиди ПХДД/Ф.....	353
4.2.8	Викиди металів .....	353
4.2.9	Технологічні втрати / відходи.....	354
4.3	Висновки щодо НДТМ для вапняної промисловості.....	355
4.3.1	Загальні первинні технології .....	355
4.3.2	Моніторинг .....	356
4.3.3	Споживання енергії.....	357
4.3.4	Споживання вапняку.....	358
4.3.5	Вибір палива .....	359
4.3.5.1	Використання палива з відходів .....	359
4.3.5.1.1	Контроль якості відходів.....	359

4.3.5.1.2	Завантаження відходів у піч .....	359
4.3.5.1.3	Керування технікою безпеки у разі використання небезпечних відходів.....	360
4.3.6	Викиди пилу .....	360
4.3.6.1	Неорганізовані джерела викидів .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.6.2	Організовані джерела викидів у результаті пилкових операцій, відмінних від процесів обпалювання в печі .....	361
4.3.6.3	Викиди пилу у результаті процесів випалювання в печі .....	362
4.3.7	Газоподібні сполуки .....	363
4.3.7.1	Первинні технології для зниження викидів газоподібних сполук .....	363
4.3.7.2	Зниження викидів NO <sub>x</sub> .....	363
4.3.7.3	Викиди SO <sub>x</sub> .....	364
4.3.7.4	Викиди CO та відключення за рівнем CO .....	366
4.3.7.4.1	Викиди CO.....	366
4.3.7.4.2	Зменшення частоти відключень за рівнем CO .....	367
4.3.7.5	Викиди загального органічного вуглецю (ЗОВ) .....	367
4.3.7.6	Викиди хлороводню (HCl) та фтороводню (HF).....	368
4.3.8	Викиди ПХДД/Ф .....	368
4.3.9	Викиди металів.....	369
4.3.10	Технологічні втрати / відходи .....	369
4.4	Висновки щодо НДТМ для галузі виробництва оксиду магнію .....	370
4.4.1	Моніторинг.....	370
4.4.2	Споживання енергії .....	371
4.4.3	Викиди пилу .....	372
4.4.3.1	Неорганізовані джерела викидів .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4.3.2	Організовані джерела викидів у результаті пилкових операцій, відмінних від процесів обпалювання в печі .....	372
4.4.3.3	Викиди пилу, що утворюються в результаті процесів обпалювання в печі.....	373
4.4.4	Газоподібні сполуки .....	374
4.4.4.1	Загальні первинні технології для зниження викидів газоподібних сполук.....	374
4.4.4.2	Зниження викидів NO <sub>x</sub> .....	374
4.4.4.3	Викиди CO та відключення за рівнем CO .....	375
4.4.4.3.1	Викиди CO.....	375
4.4.4.3.2	Зменшення частоти відключень за рівнем CO .....	375
4.4.4.4	Викиди SO <sub>x</sub> .....	376
4.4.5	Технологічні втрати / відходи .....	377
4.4.6	Використання відходів у якості палива та/або сировини .....	377
	<b>ОПИС ТЕХНОЛОГІЙ.....</b>	<b>378</b>
4.5	Опис технологій для цементної промисловості .....	378
4.5.1	Викиди пилу .....	378
4.5.2	Зниження викидів NO <sub>x</sub> .....	379
4.5.3	Викиди SO <sub>x</sub> .....	381
4.6	Опис технологій для вапняної промисловості .....	382
4.6.1	Викиди пилу .....	382
4.6.2	Зниження викидів NO .....	383
4.6.3	Викиди SO <sub>x</sub> .....	383
4.7	Опис технологій для галузі виробництва магnezії (сухий технологічний метод).....	384
4.7.1	Викиди пилу .....	384
4.7.2	Викиди SO <sub>x</sub> .....	385
<b>5</b>	<b>ЗАКЛЮЧНІ ЗАУВАЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МАЙБУТНЬОЇ РОБОТИ.....</b>	<b>386</b>
5.1	Цементний сектор .....	387
5.2	Сектор виробництва оксиду магнію.....	392
5.3	Консультація з Форумом та наступна процедура офіційного прийняття Висновків щодо НДТМ.....	395
<b>6</b>	<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>396</b>
6.1	Законодавство ЄС щодо охорони навколишнього середовища, застосовне до виробництва цементу та вапна у країнах ЄС-27 .....	396
6.2	Додатки: виробництво цементу.....	397
6.2.1	Класифікація палива з відходів за групами CEMBUREAU, зіставлена з класифікацією Європейського каталогу відходів (EWC).....	397
6.2.2	Виробництво цементу – дані для конкретних заводів.....	402
6.2.2.1	Приклади типів відходів, що використовуються, їх вплив на динаміку викидів та діапазони концентрацій речовин у відходах (вхідні критерії) .....	402
6.2.2.1.1	Приклади діапазонів концентрацій речовин у відходах / вхідних критеріїв для відходів.....	409
6.2.2.2	Приклади споживання енергії .....	415
6.2.2.3	Приклади даних про викиди.....	416
6.2.3	Виробництво цементу – комбіноване виробництво тепла та електроенергії / регенерація надлишкового тепла .....	419

6.2.3.1	Комбіноване виробництво електроенергії за допомогою традиційного процесу на основі паросилового циклу – цементний завод у поселенні Сліте, Швеція .....	419
6.2.3.2	Комбіноване виробництво тепла та електроенергії за допомогою органічного циклу Ренкіна (ORC) – цементний завод у поселенні Ленгфурт, Німеччина .....	420
6.2.4	Виробництво цементу – приклади зниження викидів NO <sub>x</sub> за допомогою високоефективної технології СНКВ .....	422
6.2.4.1	Приклад технології СНКВ, що використовується у Швеції .....	422
6.2.4.2	Приклад технології СНКВ, що використовується у Німеччині .....	426
6.2.5	Виробництво цементу – приклад зниження викидів NO <sub>x</sub> за допомогою технології СКВ .....	427
6.2.6	Виробництво цементу – вказівки щодо керування відключеннями за рівнем СО .....	432
6.2.6.1	Цілі скорочення перебоїв у роботі – відключення за рівнем СО .....	432
6.2.6.2	Стратегія проєктно-конструкторських робіт з мінімізації рівнів СО .....	433
6.2.6.3	Система моніторингу рівнів СО .....	433
6.2.6.4	Заходи, яких потрібно вживати у випадку відключення за рівнем СО .....	434
6.2.6.5	СО та СН <sub>4</sub> у рукавних фільтрах .....	434
6.3	Додатки: виробництво вапна .....	435
6.3.1	Виробництво вапна – розподіл концентрацій металів у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	435
6.3.2	Виробництво вапна – дані для конкретних заводів .....	443
6.3.2.1	Приклади характеристик сировини .....	443
6.3.2.2	Використання відходів у якості палива – приклади прийнятної вмісту забруднюючих речовин .....	443
6.3.2.3	Приклади даних про споживання ресурсів та викиди .....	445
6.3.3	Виробництво вапна – приклад роботи з відпрацьованим мастилом у шахтній печі (ІІ) .....	452
6.3.4	Виробництво вапна – приклад контролю якості твердого палива з відходів, що спалюється в обертових печах .....	456
6.3.5	Виробництво вапна – приклад денітрифікації (DeNO <sub>x</sub> ) за допомогою технології СНКВ в обертових печах з підігрівачем (ОПП) .....	459
	<b>СЛОВНИК ТЕРМІНІВ .....</b>	<b>462</b>
	<b>ПОСИЛАННЯ .....</b>	<b>470</b>

## Перелік рисунків

Рисунок 1.1.	Виробництво цементу у ЄС-27 та у світі з 1950 року по 2006 рік .....	1
Рисунок 1.2.	Оціночна зайнятість у цементній промисловості в ЄС з 1975 року по 2005 рік.....	2
Рисунок 1.3	Виробництво цементу з урахуванням експортованого клінкеру та споживання цементу у ЄС-25.....	3
Рисунок 1.4.	Загальний огляд процесу виготовлення цементу.....	10
Рисунок 1.5.	Приклад критого сховища для сировини.....	13
Рисунок 1.6.	Діаграма стану для третинної системи CaO, SiO <sub>2</sub> та Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> для цементного клінкеру та золених компонентів різних видів сировини та палива .....	21
Рисунок 1.7.	Небезпечні відходи – просочена тирса .....	24
Рисунок 1.8.	Спеціально підготовлене паливо з відходів – наприклад, з паперу, пластмас, текстилю.....	24
Рисунок 1.9.	Спеціально підготовлені побутові відходи, що використовуються як паливо в цементних печах.....	24
Рисунок 1.10.	Схема підігрівача / попереднього кальцинатора / печі з колосниковим холодильником .....	27
Рисунок 1.11.	Приклад багатоканального пальника.....	28
Рисунок 1.12.	Колосниковий підігрівач.....	29
Рисунок 1.15.	Температурні профілі газу та твердих речовин у пічній системі з циклонним підігрівачем... ..	33
Рисунок 1.18.	Приклад планетарного холодильника.....	37
Рисунок 1.19.	Баланс мас для виробництва 1 кг цементу за допомогою сухого процесу .....	45
Рисунок 1.20.	Відходи, використані у якості сировини в 20 країнах ЄС-27.....	47
Рисунок 1.21.	Використання енергії палива у цементній промисловості країн ЄС-25 в 2004 році .....	49
Рисунок 1.22.	Використання різних типів небезпечних відходів та відходів, що не є небезпечними, як палива в цементних печах у країнах ЄС-27 .....	54
Рисунок 1.23.	Діапазони значень викидів, отриманих шляхом безперервного вимірювання вмісту пилу в очищених газах з 253 обертових печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+.....	59
Рисунок 1.24.	Значення викидів пилу, отриманих шляхом 180 точкових вимірювань в очищених газах з обертових печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ .....	59
Рисунок 1.25.	Викиди NO <sub>x</sub> (у перерахунку на NO <sub>2</sub> ) з цементних печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ за 2004 рік, згруповані за коефіцієнтом заміни.....	64
Рисунок 1.26.	Розподіл виміряних значень, виражених як рівні NO <sub>x</sub> і згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни .....	64
Рисунок 1.27.	Діапазони викидів NO <sub>x</sub> , яких вдалося досягти шляхом застосування охолодження полум'я на кількох цементних заводах у країнах ЄС-23+.....	66
Рисунок 1.28.	Діапазони викидів NO <sub>x</sub> , яких вдалося досягти на кількох цементних заводах у країнах ЄС-23+ без застосування охолодження полум'я .....	66
Рисунок 1.29.	Викиди NO <sub>x</sub> , яких вдалося досягти на кількох цементних заводах шляхом застосування СНКВ для відновлення NO <sub>x</sub> .....	67
Рисунок 1.30.	Діапазони викидів NO <sub>x</sub> , яких вдалося досягти на кількох цементних заводах без застосування СНКВ.....	67
Рисунок 1.31.	Схема потоків сірки у цементній печі з підігрівачем / попереднім кальцинатором .....	68
Рисунок 1.32.	Виміряні значення вмісту SO <sub>2</sub> в очищених газах від цементних заводів у країнах ЄС-27 та ЄС-23+.....	70
Рисунок 1.33.	Розподіл виміряних значень, виражених як рівні SO <sub>2</sub> і згрупованих за коефіцієнтами теплової заміни .....	71
Рисунок 1.34.	Значення концентрацій викидів CO, виміряні в очищених газах з 29 німецьких обертових печей у 2004 році.....	73
Рисунок 1.35.	Значення викидів ЗОВ, отримані шляхом безперервного вимірювання, в очищених газах цементних печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ .....	75
Рисунок 1.36.	Розподіл результатів безперервних вимірювань, виражених як рівні ЗОВ і згрупованих за коефіцієнтами теплової заміни .....	75
Рисунок 1.37.	Значення концентрацій викидів загального органічного вуглецю, виміряні в очищених газах з 27 німецьких обертових печей у 2004 році .....	76
Рисунок 1.38.	Викиди ПХДД/Ф у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ в 2004 році, згруповані за коефіцієнтом теплової заміни .....	78
Рисунок 1.39.	Розподіл результатів точкових вимірювань, згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни і виражених як рівні викидів ПХДД/Ф з цементних печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+.....	78
Рисунок 1.40.	Викиди ПХДД/Ф, виміряні в очищених газах від 39 німецьких обертових печей у 2004 році.....	79
Рисунок 1.41.	Шлях руху металів у цементних печах з підігрівачами (у сухому процесі) .....	80
Рисунок 1.42.	Значення викидів кадмію і талію, отримані шляхом 262 точкових вимірювань $\sum$ (Cd, Tl) у країнах ЄС-27 та ЄС-23+.....	81
Рисунок 1.43.	Розподіл виміряних значень, виражених як рівні $\sum$ (Cd, Tl) і згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни .....	82
Рисунок 1.44.	Значення викидів, отримані шляхом точкових вимірювань $\sum$ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) у країнах ЄС-27 та ЄС-23+.....	82
Рисунок 1.45.	Розподіл виміряних значень, виражених як рівні $\sum$ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) і згрупованих за коефіцієнтами теплової заміни .....	83
Рисунок 1.46.	Значення викидів ртуті, отримані шляхом 306 точкових вимірювань вмісту Hg у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ .....	85

Рисунок 1.47.	Значення викидів ртуті, отримані шляхом 306 точкових вимірювань вмісту Hg у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ .....	85
Рисунок 1.48.	Значення викидів HCl, отримані шляхом безперервних вимірювань вмісту HCl в очищених газах 98 цементних печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ .....	87
Рисунок 1.49.	Розподіл результатів безперервних вимірювань рівнів HCl, згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни .....	87
Рисунок 1.50.	Значення викидів, отримані у результаті 233 точкових вимірювань в очищених газах обертових печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ .....	88
Рисунок 1.51.	Розподіл результатів точкових вимірювань вмісту HCl, виражених як рівні HCl і згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни .....	88
Рисунок 1.52.	Викиди газоподібних неорганічних сполук хлору, виражених як HCl, виміряні в очищених газах від 38 німецьких обертових печей у 2004 році .....	89
Рисунок 1.53.	Значення викидів, отримані шляхом безперервного вимірювання викидів HF з очищеними газами від обертових печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ .....	90
Рисунок 1.54.	Розподіл результатів безперервних вимірювань викидів HF, виражених як рівні HF і згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни .....	90
Рисунок 1.55.	Значення викидів HF, отриманих шляхом точкових вимірювань в очищених газах обертових печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ .....	91
Рисунок 1.56.	Розподіл результатів точкових вимірювань вмісту HF, виражених як рівні HF і згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни .....	91
Рисунок 1.57.	Викиди газоподібних неорганічних сполук фтору, виражених як HF, виміряні в очищених газах від 38 німецьких обертових печей у 2004 році .....	92
Рисунок 1.58.	Викиди аміаку зі шведського цементного заводу, обладнаного скрублером SO <sub>x</sub> .....	93
Рисунок 1.59.	Концентрації викидів бензолу, виміряні для 17 німецьких обертових печей .....	94
Рисунок 1.60.	Приклад рукавного фільтра та фільтрувального матеріалу, що використовується на цементному заводі у Великій Британії .....	124
Рисунок 1.61.	Комбінований фільтр для збору пилу .....	124
Рисунок 1.62.	Методи вприскування, що використовуються для охолодження полум'я в виробництві цементу у країнах ЄС-23+ .....	128
Рисунок 1.63.	Характеристики установок з охолодженням полум'я у країнах ЄС-23+ .....	129
Рисунок 1.64.	Характеристики цементних заводів, на яких застосовується СНКВ, у країнах ЄС-23+ .....	135
Рисунок 1.65.	Носії азоту/реагенти NH <sub>2</sub> -X, що використовуються для СНКВ у країнах ЄС-23+ .....	136
Рисунок 1.66.	Приклад установки СКВ .....	141
Рисунок 1.67.	Приклад окремого каталізатора, що використовується у технології СКВ .....	141
Рисунок 1.68.	Приклад модульного розташування, що використовується у технології СКВ .....	141
Рисунок 1.69.	Основні особливості роботи мокрого скрубера .....	147
Рисунок 1.70.	Безперервне вдосконалення у моделі системи управління навколишнім середовищем .....	165
Рисунок 1.71.	Цементна піч з псевдозрідженим шаром .....	168
Рисунок 2.1.	Виробництво вапна та доломіту в країнах ЄС-27 у 2004 році .....	173
Рисунок 2.2.	Виробництво вапна промислового призначення за типом печі у країнах ЄС-27 в 2004 році .....	176
Рисунок 2.3.	Виробництво доломітового вапна промислового призначення за типом печі у країнах ЄС-27 в 2004 році .....	177
Рисунок 2.4.	Виробництво випаленого доломітового вапна промислового призначення за типом печі у країнах ЄС-27 в 2004 році .....	177
Рисунок 2.5.	Огляд процесу виготовлення вапна .....	180
Рисунок 2.6.	Схема фундаментальних елементів виробництва вапна .....	181
Рисунок 2.7.	Огляд процесу виготовлення вапна .....	182
Рисунок 2.8.	Схема потоків матеріалів при промиванні вапняку та очищенні промивальної води .....	185
Рисунок 2.9.	Види палива, що використовувалися у процесі обпалювання вапна у печі в країнах ЄС-27 у 2005 році .....	186
Рисунок 2.10.	Схема прикладу дозувальної системи шахтної печі .....	187
Рисунок 2.11.	Приклад дозувальної системи шахтної печі .....	188
Рисунок 2.12.	Кількість вапна, виробленого на палива з відходів у різних європейських країнах .....	189
Рисунок 2.13.	Розподіл печей випалу вапна, що працюють на паливі з відходів, у різних європейських країнах .....	190
Рисунок 2.16.	Зміна реактивності залежно від температури обпалювання та типу вапняку .....	194
Рисунок 2.17.	Морфологія м'яко, помірно та сильно випаленого вапна .....	195
Рисунок 2.18.	Загальні принципи кальцинування вапна .....	196
Рисунок 2.19.	Схема гідратора для гасіння вапна .....	198
Рисунок 2.20.	Принцип роботи шахтної печі зі змішаним живленням .....	202
Рисунок 2.21.	Шахтна піч зі змішаним живленням .....	202
Рисунок 2.22.	Принцип роботи ПРП .....	204
Рисунок 2.23.	Приклад ПРП .....	204
Рисунок 2.24.	Основний принцип роботи та потік газу у ПРП .....	204
Рисунок 2.25.	Кільцева шахтна піч .....	207
Рисунок 2.26.	Приклад кільцевої шахтної печі, що використовується у виробництві вапна .....	207
Рисунок 2.27.	Принцип роботи кільцевих шахтних печей (КПШ) .....	208
Рисунок 2.28.	Шахтна піч з подвійною похилою камерою .....	209
Рисунок 2.29.	Технологічна схема кальцинування у газовому зависі .....	211
Рисунок 2.30.	Принцип роботи довгих обертових печей .....	212

Рисунок 2.31.	Приклад довгої обертової печі, що використовується у виробництві вапна .....	214
Рисунок 2.32.	Обертова піч з підігрівачем (ОПП) .....	215
Рисунок 2.33.	Принцип роботи обертової печі з підігрівачем (ОПП) .....	216
Рисунок 2.34.	Приклад обертової печі з підігрівачем.....	216
Рисунок 2.35.	Викиди пилу, виміряні для різних типів печей випалу вапна, у яких використовувалися різні типи технологій зниження викидів, у країнах ЄС-27 (точкові вимірювання у перерахунку на значення, усереднені за півгодини).....	227
Рисунок 2.36.	Викиди NO <sub>x</sub> з різних типів печей випалу вапна, виміряні у країнах ЄС-27 (точкові вимірювання у перерахунку на середні значення за півгодини).....	229
Рисунок 2.37.	Виміряні викиди SO <sub>2</sub> з різних типів печей випалу вапна, що працюють на вихопному паливі, у країнах ЄС-27 (точкові вимірювання у перерахунку на середні значення за півгодини).....	231
Рисунок 2.38.	Виміряні викиди SO <sub>2</sub> з різних типів печей випалу вапна, що працюють на вихопному паливі та паливі з відходів, у країнах ЄС-27 (точкові вимірювання у перерахунку на середні значення за півгодини) .....	232
Рисунок 2.39.	Викиди CO з різних типів печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	235
Рисунок 2.40.	Хімічні реакції та споживання енергії у шахтній печі зі змішаним живленням (реакція Будау) .....	237
Рисунок 2.41.	Викиди ЗОВ з різних типів печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	238
Рисунок 2.42.	Викиди HCl з різних печей випалу вапна у країнах ЄС-27.....	240
Рисунок 2.43.	Схема традиційного електрофільтра (ЕСП).....	260
Рисунок 2.44.	Схема рукавного фільтра з імпульсним очищенням.....	262
Рисунок 2.45.	Схема взятого для прикладу багатоступеневого мокрого скрубера відхідних газів .....	265
Рисунок 2.46.	Інвестиційні витрати на електрофільтри та рукавні фільтри залежно від потужності печі – країни ЄС-27 .....	268
Рисунок 2.47.	Моделювання витрат на знепилення залежно від граничних значень викидів пилу для обертової печі (ОП) з електрофільтром – країни ЄС-27 .....	268
Рисунок 2.48.	Моделювання витрат на знепилення залежно від граничних значень викидів пилу для ПРП з рукавним фільтром – країни ЄС-27.....	269
Рисунок 2.49.	Моделювання витрат на знепилення залежно від діапазонів викидів пилу для ПРП з рукавним фільтром в Італії у 2007 році.....	269
Рисунок 2.50.	Зниження викидів NO <sub>x</sub> залежно від температури .....	276
Рисунок 2.51.	Схема контролю викидів ПХДД/Ф у вертикальних печах випалу вапна .....	283
Рисунок 2.52.	Схема контролю викидів ПХДД/Ф в обертових печах (ДОП, ОПП).....	284
Рисунок 2.53.	Піч із псевдозрідженим шаром .....	290
Рисунок 2.54.	Приклад схеми технології допалювання.....	291
Рисунок 3.1.	Світові джерела оксиду магнію та країни, у яких він виробляється .....	294
Рисунок 3.2.	Виробництво необпаленого магнезиту у країнах ЄС-25 та у всьому світі .....	294
Рисунок 3.3.	Світове виробництво модифікацій оксиду магнію у 2003 році .....	296
Рисунок 3.4.	Споживання магнезії за секторами у 2003 році по всьому світу .....	299
Рисунок 3.5.	Світова потреба у магнезії для виробництва вогнетривких матеріалів, що використовуються у сталеливарній промисловості.....	300
Рисунок 3.6.	Схема технологічного процесу для природного шляху виробництва магнезії.....	303
Рисунок 3.7.	Приклад схеми технологічного процесу виробництва магнезії сухим технологічним методом на заводі з виробництва НОМ.....	305
Рисунок 3.8.	Шлях грубозернистого та дрібнозернистого магнезиту у виробництві магнезії.....	306
Рисунок 3.9.	Принцип роботи обертових печей з підігрівачем, що використовуються у виробництві магнезії .....	307
Рисунок 3.10.	Принцип роботи довгих обертових печей, що використовуються у виробництві магнезії... ..	308
Рисунок 3.11.	Принцип роботи шахтних печей, що використовуються у виробництві магнезії .....	309
Рисунок 3.12.	Принцип роботи двошахтних печей, що використовуються у виробництві магнезії.....	310
Рисунок 3.13.	Порівняння видів палива за питомими витратами та вмістом сірки.....	322
Рисунок 6.1.	Схема двоетапної водяної системи регенерації тепла для комбінованого виробництва тепла та електроенергії на цементному заводі у поселенні Сліте, Швеція.....	419
Рисунок 6.2.	Схема пентанової системи регенерації відхідного тепла для комбінованого виробництва тепла та електроенергії на заводі у поселенні Ленгфурт, Німеччина .....	421
Рисунок 6.3.	Схема процесу виготовлення цементу на заводі у поселенні Сліте (Швеція) .....	422
Рисунок 6.4.	Схема вприскування розчину NH <sub>3</sub> для СНКВ на цементному заводі у поселенні Сліте, Швеція .....	423
Рисунок 6.5.	Схема та план розташування форсунок для вприскування розчину NH <sub>3</sub> для СНКВ на цементному заводі у місті Шведде, Швеція .....	423
Рисунок 6.6.	Викиди NO <sub>x</sub> та споживання водоаміачного розчину на цементних заводах у Сліте та Шведде, що в Швеції, з 1995 по 2005 рік .....	423
Рисунок 6.7.	Викиди NH <sub>3</sub> та споживання водоаміачного розчину для двох цементних печей на цементному заводі у поселенні Сліте, що в Швеції, з 1994 по 2005 рік .....	425
Рисунок 6.8.	Високоєфективне СНКВ та місце вприскування водоаміачного розчину через трубки у позиціях №21 – 26.....	426
Рисунок 6.9.	Схема зразкової установки СКВ у Німеччині («Зольнхофер Портланд-Цементверке»).....	428
Рисунок 6.10.	Розподіл концентрацій арсену у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27.....	435
Рисунок 6.11.	Розподіл концентрацій кадмію у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27.....	436
Рисунок 6.12.	Розподіл концентрацій кобальту у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	436

---

Рисунок 6.13.	Розподіл концентрацій хрому у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	437
Рисунок 6.14.	Розподіл концентрацій міді у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27.....	437
Рисунок 6.15.	Розподіл концентрацій ртуті у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	438
Рисунок 6.16.	Розподіл концентрацій мангану у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	438
Рисунок 6.17.	Розподіл концентрацій нікелю у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	439
Рисунок 6.18.	Розподіл концентрацій свинцю у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27.....	439
Рисунок 6.19.	Розподіл концентрацій стибію у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	440
Рисунок 6.20.	Розподіл концентрацій селену у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	440
Рисунок 6.21.	Розподіл концентрацій олова у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	441
Рисунок 6.22.	Розподіл концентрацій телуру у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	441
Рисунок 6.23.	Розподіл концентрацій талію у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	442
Рисунок 6.24.	Розподіл концентрацій ванадію у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	442
Рисунок 6.25.	Розподіл концентрацій цинку у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 .....	443
Рисунок 6.26.	Схема циркуляції відпрацьованого мастила – від доставки до шахтної печі (Ш) .....	454
Рисунок 6.27.	Насосна станція №2 з фільтром та контейнером для відходів очищення фільтра .....	454
Рисунок 6.28.	Вимірювально-дозувальна система з пневматичними клапанами .....	454
Рисунок 6.29.	Розташування точок вприскування та під'єднання системи СНКВ на вапняному заводі у поселенні Фландерсбах, Німеччина .....	460



## Перелік таблиць

Таблиця 1.1.	Світове виробництво цементу за географічними регіонами у 2006 році .....	2
Таблиця 1.2.	Кількість цементних заводів у ЄС-27 .....	4
Таблиця 1.3.	Постачання цементу на внутрішній ринок країн ЄС-25 за типом цементу .....	4
Таблиця 1.4.	Європейський стандарт на різні типи цементів та їх склад у країнах ЄС-27	5
Таблиця 1.5.	Хімічний склад сірого цементу .....	7
Таблиця 1.6.	Приклади хімічного складу білого цементного клінкеру .....	7
Таблиця 1.7.	Споживання палива, виражене у відсотках генерування тепла цементною промисловістю у країнах ЄС-27	8
Таблиця 1.8.	Хімічний аналіз сировини та цементного сировинної муки для виробництва цементного клінкеру	11
Таблиця 1.9.	Метали у сировині та сировинній муці .....	12
Таблиця 1.10.	Приклади хімічного складу сировини для виробництва білого цементного клінкеру .....	12
Таблиця 1.11.	Хімічний аналіз металів у вугіллі .....	15
Таблиця 1.12.	Типи відходів, що найчастіше використовуються як сировина в європейській цементній промисловості	20
Таблиця 1.13.	Перелік прикладів відходів, що використовуються як сировина в цементних печах у країнах ЄС-25, згрупованих за їх хімічним складом .....	20
Таблиця 1.14.	Різні типи відходів, що використовуються як паливо для цементних печей у країнах ЄС-27 в 2003 та 2004 роках .....	22
Таблиця 1.15.	Споживання сировини у виробництві цементу .....	46
Таблиця 1.16.	Відходи, використані у якості сировини, у перерахунку на хімічні елементи, які застосовувалися для виготовлення цементу в країнах ЄС-27 у 2003 та 2004 роках .....	47
Таблиця 1.17.	Приклади кількості теплової енергії, потрібної для висушування сировинної муки .....	48
Таблиця 1.18.	Використання енергії палива у виробництві цементу в країнах ЄС-27 .....	48
Таблиця 1.19.	Порівняння технологій помелу за основними характеристиками .....	50
Таблиця 1.20.	Приклади теплоти згорання різних типів відходів, що використовуються як паливо у країнах ЄС-27	52
Таблиця 1.21.	Використання різних типів відходів, як палива в цементних печах, у країнах ЄС-27 в 2003 та 2004 роках .....	53
Таблиця 1.22.	Заміна викопного палива паливом з відходів у виробництві цементу в країнах ЄС-23+ .....	55
Таблиця 1.23.	Дані про діапазони викидів з європейських цементних печей .....	57
Таблиця 1.24.	Приклади типів систем, що використовуються для відсмоктування пилу, експлуатаційних даних та потреби в енергії .....	60
Таблиця 1.25.	Приклади частоти відключень за рівнем СО на німецькому цементному заводі .....	60
Таблиця 1.26.	Дослідження розподілу дрібнодисперсного пилу у загальній кількості пилу від німецьких цементних заводів .....	61
Таблиця 1.27.	Приклади концентрацій пилу в неочищених газах згідно з моделлю RAINS .....	61
Таблиця 1.28.	Приклади технологій зменшення викидів пилу разом з даними про ефективність зниження викидів згідно з моделлю RAINS .....	62
Таблиця 1.29.	Діапазони концентрацій важких металів в очищених газах від систем цементних печей, виміряних у період з 1996 по 1998 рік .....	83
Таблиця 1.31.	Огляд технологій контролю викидів пилу у процесі виробництва цементу .....	121
Таблиця 1.32.	Основні характеристики різних фільтрувальних матеріалів та розцінки на них .....	125
Таблиця 1.33.	Технології зниження викидів NO <sub>x</sub> , що використовуються в цементній промисловості у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ .....	126
Таблиця 1.34.	Технології зниження викидів NO <sub>x</sub> , що виникають у процесах виготовлення цементу .....	127
Таблиця 1.35.	Повідомлені параметри, викиди та витрати, пов'язані з СКВ .....	142
Таблиця 1.36.	Огляд технологій для контролю та зниження викидів SO <sub>2</sub> .....	144
Таблиця 1.37.	Технології зниження викидів SO <sub>2</sub> , що використовувалися у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ у 2008 році .....	144
Таблиця 1.38.	Приклади первинних технологій для запобігання відключенням за рівнем СО в електрофільтрах	151
Таблиця 1.39.	Приклади даних про витрати на технології зниження викидів пилу .....	157
Таблиця 1.40.	Приклади витрат на технології зниження викидів NO <sub>x</sub> .....	159
Таблиця 1.41.	Приклади витрат на технології зниження викидів SO <sub>x</sub> .....	161
Таблиця 2.1.	Важно, універсальний матеріал – деякі випадки промислового застосування .....	171
Таблиця 2.2.	Найточніша оцінка світового виробництва негашеного вапна та доломіту у 2006 році, включно з виробництвом вапна під контролем інших галузей промисловості .....	172
Таблиця 2.3.	Розподіл вапна промислового призначення за секторами у країнах ЄС-27 в 2004 році .....	173
Таблиця 2.4.	Динаміка використання вапняку та доломіту як сировини у 2003 – 2030 роках .....	174
Таблиця 2.5.	Номенклатура вапна, номери ЕС та CAS .....	175
Таблиця 2.6.	Кількість вапняних заводів, що не перебували під контролем інших галузей промисловості, з обсягом виробництва понад 50 т/добу у країнах-членах ЄС-27 – усього станом на 2003 рік .....	175
Таблиця 2.7.	Кількість вапняних печей, що експлуатувалися в ЄС-27 у 2004 році, за типом печі .....	176

Таблиця 2.8.	Кількість вапняних печей для виробництва вапна та доломітового вапна (без урахування печей під контролем інших галузей промисловості) у країнах ЄС-27 в 2003 році .....	178
Таблиця 2.9.	Розподіл видів палива, що використовувалися для опалювання вапна в країнах ЄС-27 у 2003 році	178
Таблиця 2.10.	Типові домішки та слідові елементи у вапняку .....	183
Таблиця 2.11.	Види палива, що використовувалися в різних печах випалу вапна у 2003 році у країнах ЄС-27 .....	1
	86	
Таблиця 2.12.	Типи палива з відходів, що використовуються в різних європейських країнах .....	191
Таблиця 2.13.	Компоненти рідких та твердих видів палива з відходів .....	191
Таблиця 2.14.	Паливо з відходів, що використовуються в різних типах печей .....	192
Таблиця 2.15.	Експлуатаційні параметри різних типів печей випалу вапна .....	200
Таблиця 2.16.	Зв'язок між печами та типами вапна, що зазвичай виготовляються в цих печах .....	200
Таблиця 2.17.	Індикаторні технічні характеристики вапна за групами споживачів .....	201
Таблиця 2.18.	Основні технічні характеристики шахтних печей зі змішаним живленням .....	203
Таблиця 2.19.	Технічні характеристики прямоочних регенеративних печей .....	206
Таблиця 2.20.	Технічні характеристики кільцевих шахтних печей .....	208
Таблиця 2.21.	Технічні характеристики довгих обертових печей (ДОП) .....	213
Таблиця 2.22.	Технічні характеристики обертових печей з підігрівачем (ОПП) .....	217
Таблиця 2.23.	Типові рівні споживання тепла та електроенергії різними типами печей для виробництва вапна та доломітового вапна у країнах ЄС-27 .....	223
Таблиця 2.24.	Приклади типових викидів з печей випалу вапна у Європі .....	226
Таблиця 2.25.	Коефіцієнти викидів CO <sub>2</sub> з різних типів печей у вапняній промисловості .....	234
Таблиця 2.26.	Середні викиди ПХДД/Ф з різних типів печей у країнах ЄС-27 .....	239
Таблиця 2.27.	Типові викиди HCl та HF з печей випалу вапна різних типів у країнах ЄС-27 .....	239
Таблиця 2.28.	Кількість заводів, на яких було досягнуто різного зниження викидів металів, у країнах ЄС-27	242
Таблиця 2.29.	Результати типового аналізу якості відпрацьованого мастила, що використовується у німецьких шахтних печах .....	243
Таблиця 2.30.	Окремі вимірювання викидів з німецької шахтної печі, у якій використовується відпрацьоване мастило .....	243
Таблиця 2.31.	Безперервні вимірювання викидів з німецьких обертових печей, у яких використовується тверде паливо, виконані у 2006 році .....	245
Таблиця 2.32.	Періодичні вимірювання викидів з німецьких обертових печей, у яких використовується тверде паливо, виконані у 2006 році .....	245
Таблиця 2.33.	Інформація про кожну технологію .....	249
Таблиця 2.34.	Можливості вдосконалення печей випалу вапна з точки зору енергоефективності .....	252
Таблиця 2.35.	Огляд технологій контролю викидів пилу у процесі виробництва вапна .....	259
Таблиця 2.36.	Інвестиції та витрати на технології зниження викидів пилу .....	270
Таблиця 2.37.	Пропорції різних статей витрат, що входять до складу експлуатаційних витрат на технології зниження викидів .....	271
Таблиця 2.38.	Огляд технологій зниження рівня NO <sub>x</sub> у вапняній промисловості .....	272
Таблиця 2.39.	Теоретичні експлуатаційні параметри процесу СНКВ .....	276
Таблиця 2.40.	Теоретичні температурні діапазони та ступені відновлення, необхідні для процесу СКВ .....	278
Таблиця 2.41.	Склад димових газів за результатами моніторингу протягом кількох годин .....	292
Таблиця 3.1.	Світове виробництво необпаленого магнезиту (карбонату магнію) з 2000 по 2005 рік .....	295
Таблиця 3.2.	Світове виробництво спеченого оксиду магнію / магнезії у 2003 році .....	296
Таблиця 3.3.	Виробники спеченої магнезії у країнах ЄС-27 .....	297
Таблиця 3.4.	Виробництво магнезиту та магнезії за сухим технологічним методом у ЄС-25 в 2003 році .....	297
Таблиця 3.5.	Кількість магнезії та вуглекислого газу після розкладання .....	311
Таблиця 3.6.	Вихід магнезії та вуглекислого газу з магнезиту .....	312
Таблиця 3.7.	Потреба в паливі для виробництва однієї тонни магнезії (MgO) .....	312
Таблиця 3.8.	Приклади залежності між розміром зерен та вмістом сірки у сировині .....	313
Таблиця 3.9.	Концентрації компонентів викидів, що виникають у галузі виробництва оксиду магнію у країнах ЄС-27	314
Таблиця 3.10.	Інформація про кожну технологію .....	317
Таблиця 4.1.	Відповідні рівні споживання енергії для НДТМ у разі будівництва нових заводів та значних модернізацій заводів, на яких використовуються печі з багатоступеневим підігріванням та попереднім кальцинуванням, що працюють за сухим способом .....	342
Таблиця 4.2.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів NO <sub>x</sub> з димовими газами у процесах випалювання в печі та/або підігрівання / попереднього кальцинування у цементній промисловості .....	349
Таблиця 4.3.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для проскоку NH <sub>3</sub> в димових газах при застосуванні СНКВ .....	350
Таблиця 4.4.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів SO <sub>x</sub> з димовими газами у процесах випалювання в печі та/або підігрівання / попереднього кальцинування у цементній промисловості .....	351
Таблиця 4.5.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для металів, що викидаються з димовими газами у процесах випалювання в печі .....	353

Таблиця 4.6.	Відповідні рівні споживання для НДТМ, що встановлені для споживання теплової енергії у галузі виробництва вапна та доломітового вапна .....	358
Таблиця 4.7.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для організованих викидів пилю у результаті пилюких операцій, відмінних від процесів обпалювання в печі ....	361
Таблиця 4.8.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів пилю, що викидаються з димовими газами у процесах випалювання в печі .....	362
Таблиця 4.9.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів NOx з димовими газами у процесах обпалювання в печі у вапняній промисловості .....	364
Таблиця 4.10.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів SOx з димовими газами у процесах обпалювання в печі у вапняній промисловості .....	366
Таблиця 4.11.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для CO, що викидається з димовими газами у процесах обпалювання в печі .....	366
Таблиця 4.12.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для ЛОС, що викидається з димовими газами у процесах обпалювання в печі .....	368
Таблиця 4.13.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів HCl та HF з димовими газами у процесах обпалювання в печі при використанні відходів.....	368
Таблиця 4.14.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для металів, що викидаються з димовими газами у процесах обпалювання в печі при використанні відходів .....	369
Таблиця 4.15.	Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів SOx з димовими газами у процесах обпалювання в печі у галузі виробництва магнезії.....	376
Таблиця 6.1.	Класифікація палива з відходів за групами CEMBUREAU, зіставлена з класифікацією Європейського каталогу відходів (EWC).....	397
Таблиця 6.2.	Типи та кількості відходів та палива з відходів, що використовувалися в німецьких цементних печах у 2004 році .....	402
Таблиця 6.3.	Кількості різних типів палива з відходів, що використовуються в німецькій цементній промисловості .....	402
Таблиця 6.4.	Приклади допустимих значень різних параметрів при використанні промислових відходів та розчинників.....	403
Таблиця 6.5.	Експлуатаційні параметри німецької цементної печі, що працює на паливі з відходів (середні значення даних за триденний період) .....	404
Таблиця 6.6.	Результати моніторингу викидів з німецької цементної печі, у якій використовувалося паливо з відходів .....	405
Таблиця 6.7.	Специфікація якості на паливо з відходів, що виготовляється в Естонії.....	406
Таблиця 6.8.	Аналіз характеристик на естонському цементному заводі .....	407
Таблиця 6.9.	Вимоги до якості відходів на естонському цементному заводі .....	408
Таблиця 6.10.	Споживання палива з відходів, що використовується на естонському цементному заводі ..	408
Таблиця 6.11.	Граничні значення для відходів, що використовуються, встановлені різними дозволами та нормами в Австрії, Швейцарії та Німеччині .....	409
Таблиця 6.12.	Приклади граничних значень для палива з відходів у різних країнах/регіонах за індивідуальними дозволами.....	410
Таблиця 6.13.	Приклади граничних значень для відходів, які плануються використовувати у якості сировини в різних країнах/регіонах .....	411
Таблиця 6.14.	Приклади типових діапазонів концентрацій металів у паливі з відходів .....	411
Таблиця 6.15.	Приклади вхідних критеріїв для використання належних відходів, що застосовуються в німецьких цементних печах .....	412
Таблиця 6.16.	Приклади дозвільних критеріїв (максимальні значення) для речовин у відходах, що використовуються на австрійських цементних заводах.....	412
Таблиця 6.17.	Приклади дозвільних критеріїв (медіана та значення 80-ого перцентилі) для речовин у відходах, що використовуються на австрійських цементних заводах .....	413
Таблиця 6.18.	Приклади вхідних критеріїв для речовин у належних видах палива з відходів, що використовуються на цементних заводах, за французькими дозволами .....	414
Таблиця 6.19.	Приклади вхідних критеріїв для речовин у належних видах палива з відходів, що використовуються на цементних заводах в Іспанії та Польщі .....	414
Таблиця 6.20.	Технічні вимоги до вхідних критеріїв для зразка відходів .....	415
Таблиця 6.21.	Споживання палива в австрійській цементній промисловості .....	415
Таблиця 6.22.	Приклади різних рівнів викидів з естонського цементного заводу за 2006 рік у порівнянні з допустимими рівнями викидів.....	416
Таблиця 6.23.	Приклади викидів дрібнодисперсного пилю фракцій PM10 та PM2,5, виміряних на цементних заводах в Ірландії .....	417
Таблиця 6.24.	Кількість забруднюючих речовин у стічних водах від естонського цементного заводу.....	418
Таблиця 6.25.	Базові припущення за установкою СКВ у Німеччині.....	430
Таблиця 6.26.	Порівняння витрат на технології зниження викидів NOx – СНКВ та СКВ – за розрахунками Німецького агентства охорони навколишнього середовища (UBA) для німецького заводу .....	430
Таблиця 6.27.	Розрахунки витрат для зниження викидів NOx за допомогою СКВ на німецькому цементному заводі потужністю 1 500 т/добу.....	431
Таблиця 6.28.	Приклади первинних технологій для запобігання відключенням за рівнем CO в електрофільтрах 434	
Таблиця 6.29.	Приклад складу сировини, що використовується на угорському заводі виробництва вапна	443

---

Таблиця 6.30.	Типовий вміст забруднюючих речовин, прийнятний для розчинників і відпрацьованого масла, тваринного жиру та тваринної муки (кісткової муки), що використовуються на німецьких заводах виробництва вапна .....	444
Таблиця 6.31.	Приклади дозвільних критеріїв (медіанне та максимальне значення) для речовин у різних видах палива з відходів, що використовуються на німецьких цементних заводах .....	445
Таблиця 6.32.	Експлуатаційні параметри та питома потреба в енергії для австрійських печей випалу вапна у 2004 році .....	445
Таблиця 6.33.	Споживання енергії різними типами печей випалу вапна в Іспанії .....	446
Таблиця 6.34.	Типові приклади викидів з печей випалу вапна у Німеччині .....	447
Таблиця 6.35.	Приклади викидів NO <sub>x</sub> , виявлених у результаті спостережень в країнах-членах ЄС .....	448
Таблиця 6.36.	Викиди з австрійських печей випалу вапна .....	449
Таблиця 6.37.	Викиди пилу, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , CO та CO <sub>2</sub> з кількох фінських вапняних заводів, на яких використовувалися різні типи печей випалу вапна, за період з 1998 по 2006 рік .....	450
Таблиця 6.38.	Викиди металів з фінського заводу виробництва вапна .....	452
Таблиця 6.39.	Перелік відходів, які можна використовувати в цих німецьких печах випалу вапна .....	456
Таблиця 6.40.	Медіанні та максимальні концентрації металів для кожного типу палива з відходів .....	457
Таблиця 6.41.	Мінімальна та максимальна нижча теплота згорання для кожного типу палива з відходів ..	457
Таблиця 6.42.	Приклади технологій контролю якості відходів .....	458

## СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Цей документ BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію охоплює такі види діяльності в рамках Додатку I Директиви 2010/75/EU:

- 3.1. Виробництво цементу, вапна та оксиду магнію:
  - (a) виробництво цементного клінкеру в обертових печах виробничою потужністю понад 500 тонн на добу або в інших печах виробничою потужністю понад 50 тонн на добу;
  - (b) виробництво вапна в печах виробничою потужністю понад 50 тонн на добу;
  - (c) виробництво оксиду магнію в печах виробничою потужністю понад 50 тонн на добу.

Стосовно згаданого вище пункту 3.1 (c), у цьому BREF розглядається лише виробництво оксиду магнію (MgO) за допомогою технологічного методу, що базується на використанні видобутого природного магнезиту (карбонату магнію – MgCO<sub>3</sub>).

Зокрема, цей документ охоплює такі технологічні процеси та види діяльності:

- виробництво цементу, вапна та оксиду магнію (сухим технологічним методом);
- зберігання та підготовка сировинних матеріалів;
- зберігання та підготовка палива;
- використання відходів у якості сировини та/або палива, вимоги до якості, контроль та підготовка;
- продукція – зберігання та підготовка;
- пакування та відвантаження.

Зміст цього BREF не охоплює такі види діяльності:

- виробництво оксиду магнію за допомогою мокрого технологічного методу з використанням хлориду магнію як вихідного матеріалу – ця діяльність розглядається у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S);
- виробництво доломітового вапна з наднизьким вмістом вуглецю (тобто суміші оксидів кальцію та магнію, виготовленої шляхом майже повної декарбонізації доломіту (CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>). Остаточний вміст CO<sub>2</sub> у продукції менший, ніж 0,25%, а насипна щільність значно менша, ніж 3,05 г/см<sup>3</sup>);
- шахтні печі для виробництва цементного клінкеру;
- види діяльності, не пов'язані безпосередньо з первинною діяльністю, як от видобування з кар'єрів.

Нижче перелічені інші довідкові документи, які є суттєвими для секторів промисловості, розглянутих у цьому документі:

Довідкові документи	Вид діяльності
Викиди зі складів (EFS)	Зберігання та поводження з сировиною та продукцією
Загальні принципи моніторингу (MON)	Моніторинг викидів та споживання ресурсів
Переробка відходів (WT)	Галузі переробки відходів
Енергоефективність (ENE)	Загальна енергоефективність
Економічні та міжсередовищні наслідки (ECM)	Економічні та міжсередовищні наслідки застосування технологій

Зміст цього BREF не охоплює питання, які стосуються лише техніки безпеки на робочому місці або безпеки продукції, оскільки дія Директиви не поширюється на ці питання. Вони обговорюються лише в тих випадках, коли вони впливають на питання, що входять до змісту Директиви.



---

---





# 1 ЦЕМЕНТНА ПРОМИСЛОВІСТЬ

## 1.1 Загальна інформація про цементну промисловість

Цемент – це дрібно помелений неметалевий неорганічний порошок, який у суміші з водою утворює пасту, що тужавіє і твердіє. Таке гідравлічне твердіння зумовлене головним чином утворенням гідросилікатів кальцію в результаті реакції між водою, що використовується для замішування, та компонентами цементу. У випадку глиноземних цементів під час їх гідравлічного твердіння утворюються гідроалюмінати кальцію.

Цемент – це основний матеріал, що використовується у зведенні будівель та цивільному будівництві. У Європі використання цементу та бетону (суміші цементу, заповнювачів, піску та води) у великих будівельних роботах відоме ще з античних часів. Портландцемент – найбільш широкоживаний цемент у бетонному будівництві – був запатентований у 1824 році. Випуск продукції у цементній промисловості безпосередньо пов'язаний зі станом будівельного бізнесу у цілому, а отже, є чітким індикатором загальної ситуації в економіці.

Як видно з Рисунка 1.1, світове виробництво цементу стабільно зростало з 1950 року – головним чином за рахунок росту виробництва у країнах, що розвиваються, особливо в Азії, на яку припадає основна частка у зростанні світового виробництва цементу в 1990-х роках.

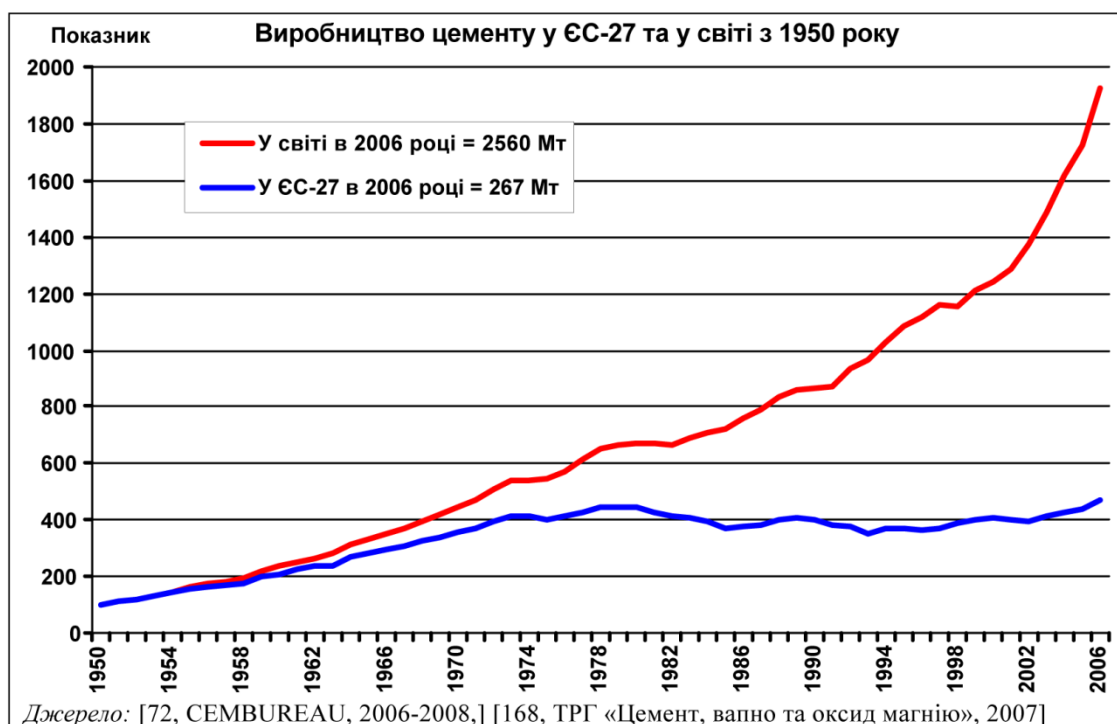


Рисунок 1.1. Виробництво цементу у ЄС-27 та у світі з 1950 року по 2006 рік

У 2006 році світове виробництво цементу становило 2 540 мільйонів тонн. У Таблиці 1.1 показано розподіл цементного виробництва за географічними регіонами.

Таблиця 1.1. Світове виробництво цементу за географічними регіонами у 2006 році

Регіон	Одиниця вимірювання	2006	Регіон	Одиниця вимірювання	2006
Китай	%	47,4	США	%	3,9
Індія	%	6,2	Інші країни Америки	%	5,8
Японія	%	2,7	Африка	%	4,0
Інші країни Азії	%	13,2	СНД	%	3,4
ЄС-27	%	10,5	Океанія	%	0,4
Інші країни Європи	%	2,5			

Джерело: [72, SEMBUREAU, 2006-2008]

Виробники цементу у Європейському Союзі збільшили випуск цементу на особу в рік з 1700 тонн у 1970 році до 3500 тонн у 1991 році. Це збільшення продуктивності зумовлене впровадженням виробничих установок більшого масштабу. На них використовується сучасна автоматизація операцій, тож вони потребують менше персоналу, який, проте, повинен бути більш кваліфікованим. Кількість осіб, зайнятих у цементній промисловості в Європейському Союзі (ЄС-27), складала близько 54 000 у 2005 році. На Рисунку 1.2 показана оціночна кількість працівників, зайнятих у цементній промисловості, у ЄС з 1975 року по 2005 рік, разом з показниками зайнятості у ЄС-25. У показниках за роки до 1991 року не враховані працівники з колишньої Німецької Демократичної Республіки.

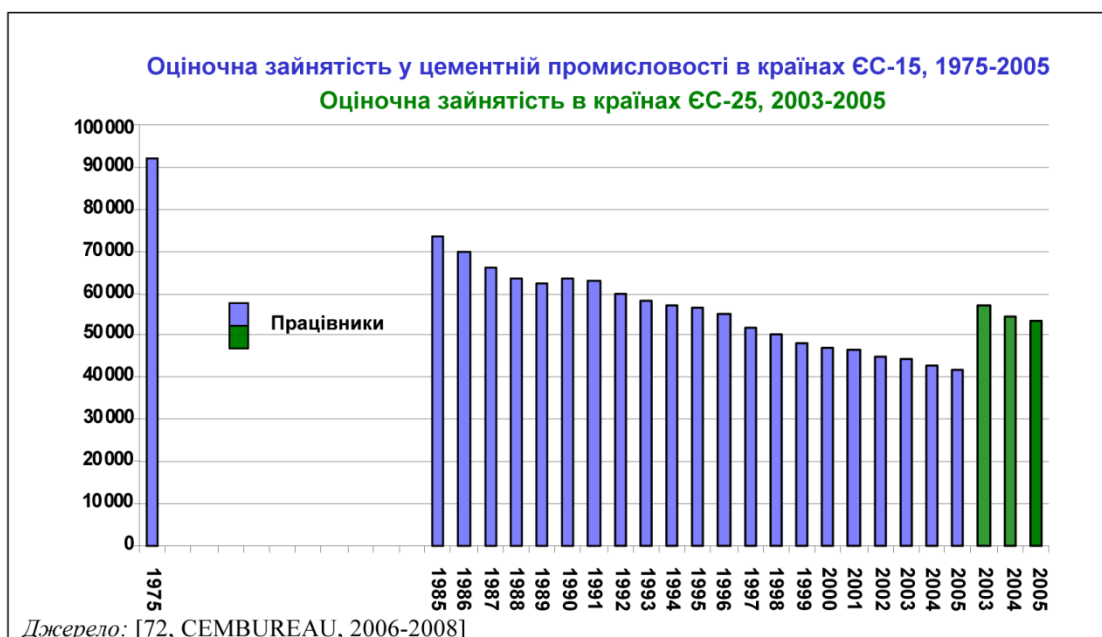
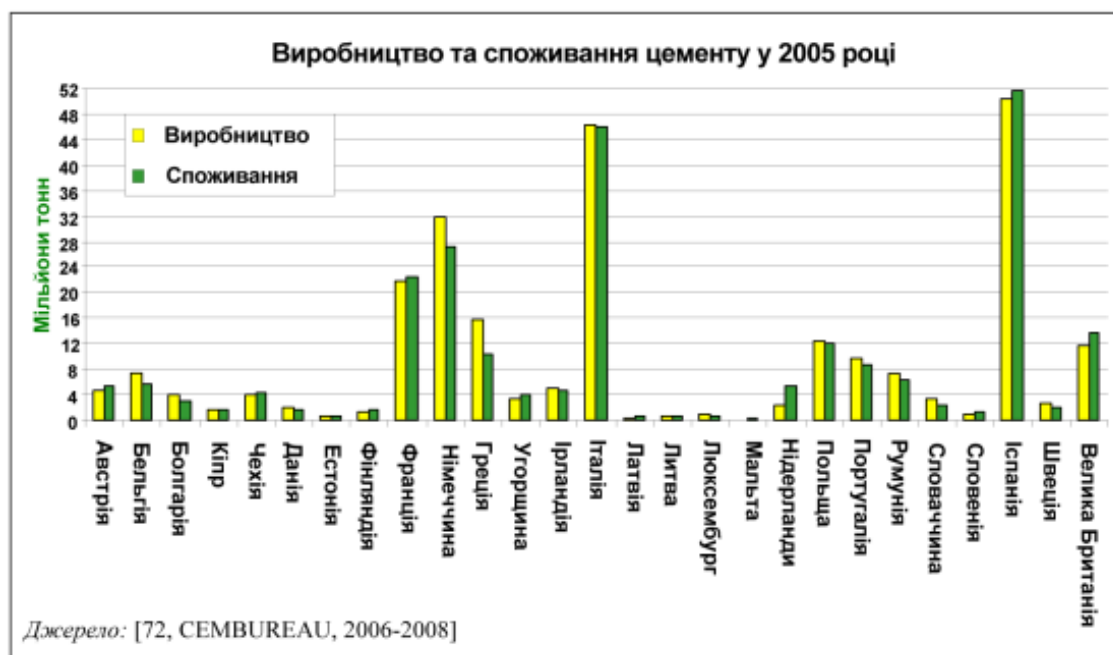


Рисунок 1.2. Оціночна зайнятість у цементній промисловості в ЄС з 1975 року по 2005 рік

У 2006 році виробництво цементу в ЄС-25 у сумі складало 267,5 мільйонів тонн, а споживання – 260,6 мільйонів тонн. 38 мільйонів тонн цементу імпортувалися, а 32 мільйони тонн – експортувалися. У цих цифрах врахована торгівля між країнами ЄС.

Виробництво та споживання цементу в ЄС-25 у 2005 році показане на Рисунку 1.3



**Рисунок 1.3** Виробництво цементу з урахуванням експортованого клінкеру та споживання цементу у ЄС-25

П'ять найбільших виробників цементу у світі – це Lafarge, Holcim, Cemex, Heidelberg Cement та Italcementi. Окрім виробництва цементу, ці компанії також вкладають капітал у кілька інших секторів будівельних матеріалів, таких як заповнювачі, бетонні вироби, гіпсокартон, тощо.

У Європейському Союзі виробники доставляють цемент своїм клієнтам головним чином автомобільним транспортом, проте за звичайних умов торгівлі відстань, на яку його можна доставити автомобільним транспортом, обмежена витратами на автомобільний транспорт та порівняно низькою ціною продажу одиниці цементу. Загалом вважається, що максимальна відстань, на яку цемент можна економно перевезти автомобільним транспортом, складає від 200 до 300 км. Проте, якщо цементний завод розташований біля води (моря або внутрішніх водних шляхів), перевезення на довші відстані більш поширене. Крім того, легкий доступ до залізничної мережі дає змогу за певних обставин перевозити цемент на більші відстані. Втім, світова торгівля цементом також існує, і в деяких випадках з економічної точки зору більш доцільно постачати цемент по всьому світу. Найявність цементних терміналів (наприклад, плавучих терміналів) посприяла збільшенню імпорту цементу на ринки ЄС з країн за межами ЄС. Міжнародна конкуренція є головним чином загрозою для окремих заводів, і в Європейському Союзі зростання імпорту зі Східної Європи погіршує умови на місцевих ринках. За оцінками, у 2007 році Греція, Італія, Португалія, Іспанія, південна Франція та Велика Британія у цілому вважалися зонами, відкритими для імпорту. На ці зони припадає 60 % виробництва цементу в ЄС за об'ємом. До цього впливу також вразливі Данія, Норвегія та Швеція. У 2005 році в ЄС було імпортовано 15,5 мільйона тонн цементу з країн, у яких не діють обмеження на викиди вуглецю – порівняно з 13,5 мільйона тонн у 2004 році.

У ЄС-27 налічується 268 установок, що виробляють цементний клінкер та готовий цемент. Крім того, є ще два цементні заводи (печі) без млинів та 90 установок помелу (цементних млинів) без печей (цементні млини без печей не розглядаються у цьому документі), як видно з Таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Кількість цементних заводів у ЄС-27

Країна-член ЄС		Цементні заводи – з печами –	Цементні заводи – лише з цементними млинами –
Бельгія <sup>1</sup>	BE	5	4
Болгарія	BG	5	-
Чехія	CZ	6	1
Данія	DK	1	-
Німеччина	DE	38	20
Естонія	EE	1	-
Ірландія	IE	4	-
Греція	EL	8	-
Іспанія	ES	37	13
Франція	FR	33	6
Італія	IT	59	35
Кіпр	CY	2	-
Латвія	LV	1	-
Литва	LT	1	-
Люксембург ( <sup>1</sup> )	LU	1	1
Угорщина	HU	4	-
Мальта	MT		
Нідерланди	NL	1	2
Австрія	AT	9	3
Польща	PL	11	1
Португалія	PT	6	2
Румунія	RO	8	1
Словенія	SI	2	-
Словаччина	SK	6	-
Фінляндія	FI	2	-
Швеція	SE	3	-
Велика Британія	UK	14	1
Усього		268	90
<sup>(1)</sup> Включно з одним клінкерним заводом			
Джерело: [72, CEMBUREAU, 2006-2008]			

У країнах ЄС-27 усього є 377 печей, проте у 2007 році не всі вони працювали. В останні роки типовий розмір печі склав приблизно 3 000 тонн клінкеру на добу, і, хоча існуючі печі дуже різняться за розміром та віком, дуже мало печей мають потужність менше 500 тонн на добу.

У 2007 році близько 90 % цементу у Європі вироблялося у печах, що працюють за сухим способом, ще 7,5 % продукції припадали на печі, що працюють за напівсухим та напівмокрим способом, а 2,5 % європейського цементу була виготовлена у печах, що працюють за мокрим способом. Вибір процесу виробництва залежить головним чином від характеру наявної сировини.

Для загальнобудівельного цементу у Європейському стандарті (EN 197-1) перелічено 27 різних типів цементу, що належать до п'яти груп. Крім того, існує асортимент цементів спеціального призначення, що виготовляються для конкретних випадків застосування. Європейські стандарти на цемент, що виготовляється у ЄС-27, наведені у Таблиці 1.4, а у Таблиці 1.3 вказана частка у відсотках кожного типу цементу, що постачався на внутрішні ринки країн ЄС-25 у 2005 році. Крім того, у Таблиці 1.5 наведені типові варіанти складу сірого цементу.

Таблиця 1.3. Постачання цементу на внутрішній ринок країн ЄС-25 за типом цементу

Тип цементу	Одиниця вимірювання	2005
СЕМ II – портландцемент, композитний	%	58,6
СЕМ I – портландцемент	%	27,4
СЕМ III – цемент з доменних шлаків / шлаковий цемент	%	6,4
СЕМ IV – пуцолановий цемент	%	6,0
СЕМ V – композитний цемент та інші цементи	%	1,6
Джерело: [72, CEMBUREAU, 2006-2008]		

Таблиця 1.4. Європейський стандарт на різні типи цементів та їх склад у країнах ЄС-27

Осно- вні типи	Позначення 27 видів продукції (типів загальнобудівельного цементу)		Склад (відсоток за масою <sup>(1)</sup> )										Допоміжні компоненти у незначних кількостях
			Основні компоненти										
			Клінкер	Шлак з доменних печей	Кремне- земний пил	Пуцолан		Зола-винос		Обпалений сланець	Вапняк		
						Природ- ний	Природний кальцинований	Кремне- земна	Каль- цієва		L <sup>(3)</sup>	LL <sup>(4)</sup>	
К	S	D <sup>(2)</sup>	P	Q	V	W	T	L <sup>(3)</sup>	LL <sup>(4)</sup>				
CEM I	Портландцемент	CEM I	95 – 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
CEM II	Шлаковий портландцемент	CEM II/A-S	80 – 95	6 – 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/B-S	65 – 79	21 – 35	-	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
	Портландцемент на основі кремнеземного пилу	CEM II/A-D	90 – 94	-	6 – 10	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
	Пуцолановий портландцемент	CEM II/A-P	80 – 94	-	-	6 – 20	-	-	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/B-P	65 – 79	-	-	21 – 35	-	-	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/A-Q	80 – 94	-	-	-	6 – 20	-	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/B-Q	65 – 79	-	-	-	21 – 35	-	-	-	-	-	0 – 5
	Портландцемент на основі золи-виносу	CEM II/A-V	80 – 94	-	-	-	-	6 – 20	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/B-V	65 – 79	-	-	-	-	21 – 35	-	-	-	-	0 – 5
		CEM II/A-W	80 – 94	-	-	-	-	-	6 – 20	-	-	-	0 – 5
		CEM II/B-W	65 – 79	-	-	-	-	-	21 – 35	-	-	-	0 – 5
	Портландцемент на основі обпаленого сланцю	CEM II/A-T	80 – 94	-	-	-	-	-	-	6 – 20	-	-	0 – 5
		CEM II/B-T	65 – 79	-	-	-	-	-	-	21 – 35	-	-	0 – 5
	Вапняковий портландцемент	CEM II/A-L	80 – 94	-	-	-	-	-	-	-	6 – 20	-	0 – 5
		CEM II/B-L	65 – 79	-	-	-	-	-	-	-	21 – 35	-	0 – 5

Основні типи	Позначення 27 видів продукції (типів загальнобудівельного цементу)	Склад (відсоток за масою <sup>(1)</sup> )										
		Основні компоненти										Допоміжні компоненти у незначних кількостях
		Клінкер	Шлак з доменних печей	Кремнеземний пил	Пуцолан		Зола-винос		Обпалений сланець	Вапняк		
					Природний	Природний кальцинований	Кремнеземна	Кальцієва		L <sup>(3)</sup>	LL <sup>(4)</sup>	
К	S	D <sup>(2)</sup>	P	Q	V	W	T	L <sup>(3)</sup>	LL <sup>(4)</sup>			
СЕМ II	СЕМ II/A-LL	80 – 94	-	-	-	-	-	-	-	-	6 – 20	0 – 5
	СЕМ II/B-LL	65 – 79	-	-	-	-	-	-	-	-	21 – 35	0 – 5
	Композитний портландцемент	СЕМ II/A-M	80 – 94	6 – 20								0 – 5
		СЕМ II/B-M	65 – 79	21 – 35								0 – 5
	СЕМ III	Цемент на основі шлаку з доменних печей	СЕМ III/A	35 – 64	36 – 65	-	-	-	-	-	-	-
СЕМ III/B			20 – 34	66 – 80	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
СЕМ III/C			5 – 19	81 – 95	-	-	-	-	-	-	-	0 – 5
СЕМ IV	Пуцолановий цемент <sup>(5)</sup>	СЕМ IV/A	65 – 89	-	11 – 35				-	-	-	0 – 5
		СЕМ IV/B	45 – 64	-	36 – 55				-	-	-	0 – 5
СЕМ V	Композитний цемент <sup>(5)</sup>	СЕМ V/A	40 – 64	18 – 30	-	18 – 30		-	-	-	-	0 – 5
		СЕМ V/B	20 – 38	31 – 50	-	31 – 50		-	-	-	-	0 – 5

<sup>(1)</sup> Значення у цій таблиці вказані для суми основних компонентів та допоміжних компонентів, що додаються у незначних кількостях.  
<sup>(2)</sup> Частка кремнеземного пилу обмежується 10 %.  
<sup>(3)</sup> Вміст вапняку – 0,50 % загального органічного вуглецю.  
<sup>(4)</sup> Вміст вапняку – 0,20% загального органічного вуглецю.  
<sup>(5)</sup> У композитних портландцементів СЕМ II/A-M та СЕМ II/B-M, у пуцоланових цементах СЕМ IV/A та СЕМ IV/B і в композитних цементах СЕМ V/A та СЕМ V/B основні компоненти, відмінні від клінкеру, повинні бути заявлені у позначенні цементу.  
Джерело: [149, Європейський комітет зі стандартизації – стандарти CEN/EN 197-1, 2000]

Таблиця 1.5. Хімічний склад сірого цементу

	Номенклатура IUPAC <sup>(1)</sup>	Номер CAS	Номер EC	Молекулярна формула, метод Хілла	Молекулярна маса	Типова концентрація (ваговий %)	Діапазон концентрацій (ваговий %)
<b>Інформація про склад: основні компоненти</b>							
A	Аліт	12168-85-3	235-336-9	3CaO•SiO <sub>2</sub>	228	65	40 – 80
B	Беліт	10034-77-2	233-107-8	2CaO•SiO <sub>2</sub>	172	15	10 – 50
C	Трикальцієвий алюмінат	12042-78-3	234-932-6	3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	270	10	0 – 15
D	Чотирикальцієвий алюмоферит	12068-35-8	235-094-4	4CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	486	10	0 – 20
<b>Інформація про склад: домішки та добавки</b>							
E ( <sup>2</sup> )	Оксид кальцію	1305-78-8	215-138-9	CaO		1	0 – 3
F	Оксид магнію	1309-48-4	215-171-9	MgO		2	0 – 5
G	Дикалійсульфат	10233-01-9	233-558-0	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		1	0 – 2
H	Динатрійсульфат	7757-82-6	231-820-9	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		0,5	0 – 1
Кількість не вказаних домішок: Загальна концентрація не вказаних домішок:				<1 вагового %			
Добавки				Немає			
<sup>(1)</sup> Номенклатура Міжнародного союзу фундаментальної та прикладної хімії. <sup>(2)</sup> Оксид кальцію зустрічається у вільній формі під назвою «негашене вапно». CaO також зустрічається у зв'язаній формі у чотирьох основних фазах А-В-С-Д. ПРИМІТКА. Цементи, що містять портландцементний клінкер, при реакції з водою можуть виділяти розчинні хромати у слідових кількостях. Заходи для запобігання шкідливим дерматологічним наслідкам описані у Директиві Європейської комісії 2005/53/ЄС від 16 вересня 2005 року, що вносить поправки у Директиву Ради 91/414/ЄЕС, поширюючи її зміст на хлорталоніл, хлортолурун, циперметрин, дамінозид і тіофанат-метил, що розглядаються у якості активних речовин. <i>Джерело:</i> [103, CEMBUREAU, 2006]							

Окрім сірого портландцементу, виготовляються й інші специфікації цементу, як-от білий цемент. Окрім кольору, цей тип цементу має такі ж властивості, як сірий цемент. У виробництві білого цементу використовуються лише ті матеріали, які не псують колір цього спеціального типу цементу. У Таблиці 1.6 наведено кілька прикладів параметрів, що відповідають білому цементу на американському та європейському ринках. На ці параметри впливає місцевий попит на цемент конкретної білизни. Крім того, з таблиці видно, що, у порівнянні з асортиментом сірого цементу, білий цемент значно відрізняється за вмістом Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Таблиця 1.6. Приклади хімічного складу білого цементного клінкеру

Характеристики		Білий цемент
Хімічний склад (%)	SO <sub>2</sub>	22,5 – 23,8
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,3 – 6,2
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,19 – 0,4
	CaO	66,3 – 68,0
	MgO	0,48 – 1,0
	SO <sub>3</sub>	0,65 – 2,8
	F	0,24 – 0,85
	K <sub>2</sub> O	0,12 – 0,14
Втрати при прожарюванні (%)		0,50 – 1,7
Na <sub>2</sub> O		0,17
Потенційний мінералогічний склад (%)	C <sub>3</sub> S (3 CaO SiO <sub>2</sub> )	69,89
	C <sub>2</sub> S (2 CaO SiO <sub>2</sub> )	19
	C <sub>3</sub> A (3 CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	8,08
	C <sub>4</sub> AF (4 CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1
Тонина помелу за Блейном (м <sup>2</sup> /кг)		464
<i>Джерело:</i> [103, CEMBUREAU, 2006], [118, Німеччина, 2007], [119, Соболев (Sobolev), 2001]		

Однією з найважливіших характеристик цього типу цементу є його білизна. Білизна цього цементу описується різними технічними характеристиками залежно від різних національних стандартів [118, Німеччина, 2007], [119, Соболев, 2001].

Цементна промисловість – це енергоємна галузь промисловості, у якій на енергію припадає близько 40 % експлуатаційних витрат, тобто витрат без урахування капітальних витрат, але з урахуванням витрат на електроенергію. У якості основного твердого викопного палива традиційно використовується вугілля. Також використовується широкий спектр інших твердих, рідких чи газоподібних видів викопного палива, таких як нафтовий кокс, лігніт, природний газ та нафта (важкий, середній або легкий мазут). Окрім цих типів викопного палива, у цементній промисловості вже понад 15 років у великих кількостях використовуються палива з відходів та біомаси.

Таблиця 1.7. Споживання палива, виражене у відсотках генерування тепла цементною промисловістю у країнах ЄС-27

Вид палива	Одиниця вимірювання	2006
Вугілля (викопне)	%	18,7
Нафтовий кокс та вугілля (викопне) <sup>(1)</sup>	%	15,9
Мазут, у тому числі сорту HVFO <sup>(2)</sup>	%	3,1
Лігніт та інші тверді види палива (викопні)	%	4,8
Природний газ (викопний)	%	1,0
Паливо з відходів	%	17,9
ПРИМІТКА. Без урахування таких країн: Ірландія, Кіпр, Литва, Словенія ПРИМІТКА. Оціночні дані взяті для таких країн: Італія, Португалія, Швеція (1) за даними країн-членів ЄС-23+ (2) HVFO = котельний мазут високої в'язкості Джерело: [72, СЕМБUREAU, 2006-2008], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]		

Основні викиди з цементних заводів, які викликають найбільшу занепокоєність і створюють проблеми, що потребують вирішення, представлені такими речовинами, як пил, оксиди азоту (NO<sub>x</sub>) та діоксид сірки (SO<sub>2</sub>). Також потрібно враховувати такі види викидів, як леткі органічні сполуки (ЛОС), поліхлоровані дибензопарадіоксини (ПХДД) та дибензофурані (ПХДФ), а також хлороводень (HCl). За особливих обставин також може бути необхідно враховувати викиди оксидів вуглецю (CO, CO<sub>2</sub>), фтороводню (HF), аміаку (NH<sub>3</sub>), бензолу, толуолу, етилбензолу та ксилену (BTEX), поліароматичних вуглеводнів (ПАВ), металів та їх сполук, створення шуму та запахів.

На заміну звичайним видам сировини та палива, що використовуються у процесі виробництва цементу, приходять придатні для цього види відходів та/або біомаси.

Цементна промисловість – це також капіталомістка галузь. Вартість нового цементного заводу еквівалентна приблизно трирічному обороту: через це цементна промисловість вважається однією з найбільш капіталомістких галузей. Прибутковість цементної промисловості (визначена за прибутком до оподаткування і перед виплатою відсотків) зазвичай складає близько 10 % від обороту.



## 1.2 Технологічні процеси та технології, що застосовуються у виробництві цементу

Основна хімічна технологія, на якій базується процес виробництва цементу, починається з розкладання карбонату кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ) за температури близько  $900\text{ }^\circ\text{C}$  з утворенням оксиду кальцію ( $\text{CaO}$ , вапно) та вивільненням вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) у газоподібній формі; цей процес відомий під назвою «кальцинування». Далі йде процес клінкероутворення, у якому оксид кальцію реагує за високої температури (зазвичай  $1400\text{--}1500\text{ }^\circ\text{C}$ ) з кремнеземом, глиноземом та оксидами заліза, утворюючи силікати, алюмінати та ферити кальцію, з яких складається клінкер. Після цього клінкер помелюється або подрібнюється разом з гіпсом та іншими добавками, утворюючи цемент.

Існує чотири основні технологічні методи виробництва цементу: сухий, напівсухий, напівмокрый та мокрий.

- У сухому процесі компоненти сировини помелюються та сушаться, утворюючи сировинну муку у вигляді сипкого порошку. Суха сировинна мука подається у підігрівач чи піч для попереднього кальцинування, або, рідше, у довгу піч, що працює за сухим способом.
- У напівсухому процесі суха сировинна мука гранулюється за допомогою води і подається у колосниковий підігрівач перед піччю або у довгу піч, обладнану хрестовинами.
- У напівмокрому процесі шлам спочатку висушується у фільтрах-пресах. З отриманого у результаті фільтраційного кека видавлюються гранули, які потім подаються у колосниковий підігрівач або у сушарку для фільтраційного кека, де з них виготовляється сировинна мука.
- У мокрому процесі компоненти сировини (часто з високим вмістом вологи) помелюються у воді з утворенням шламу, який можна перекачувати насосом. Після цього шлам подається безпосередньо у піч або спочатку у сушарку для шламу.

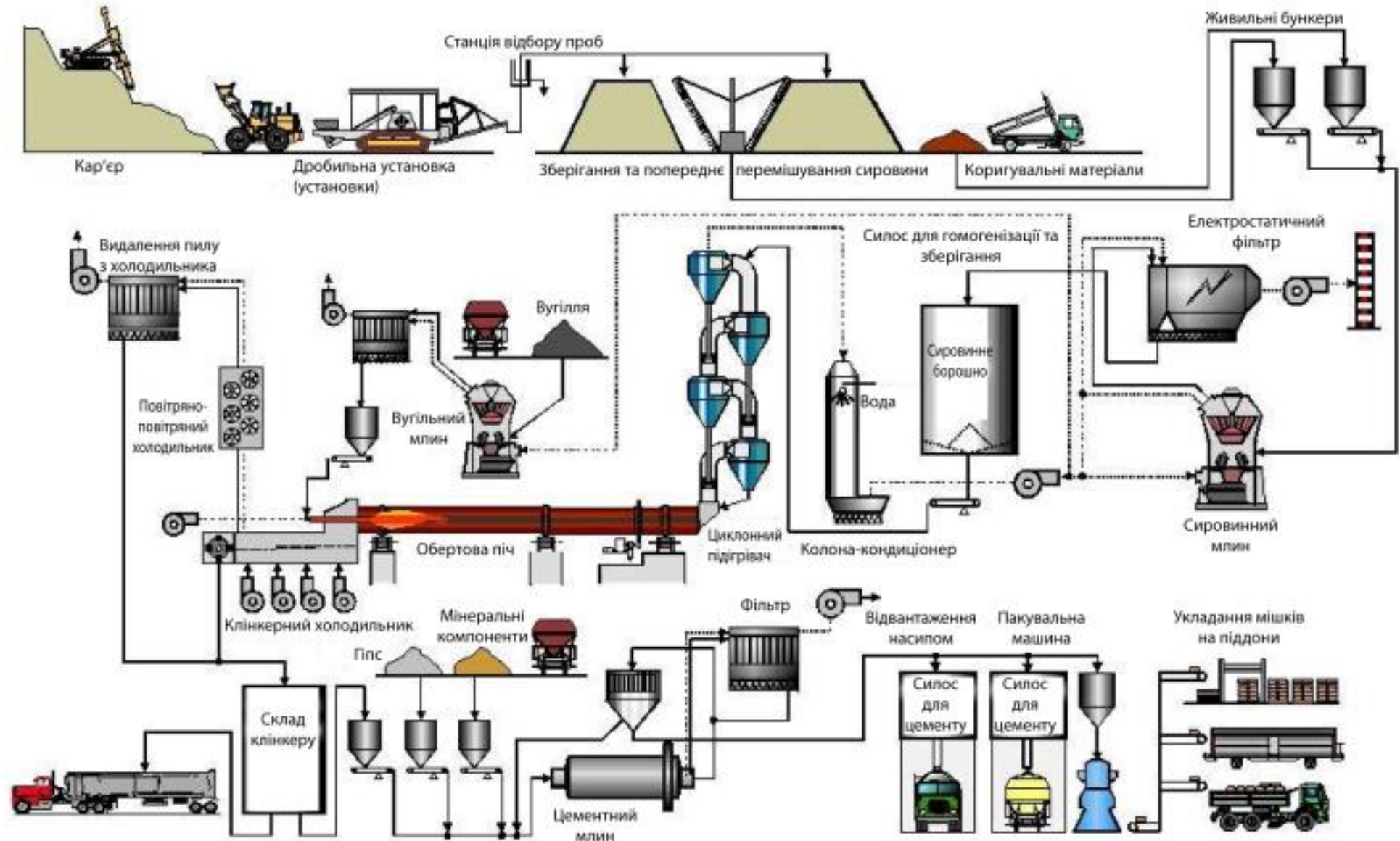
Вибір технологічного процесу великою мірою залежить від стану сировини (суха вона чи волога). Значна частка світового виробництва клінкеру досі базується на мокрих технологічних процесах. Проте у Європі понад 90 % виробництва базується на сухих технологічних процесах завдяки доступності сухої сировини. У мокрих процесах споживається більше енергії, тож вони дорожчі. Заводи, на яких використовуються напівсухі технологічні процеси, у більшості випадків переходять на сухі технології, як тільки виникає потреба в їх розширенні або значній модернізації. Заводи, на яких використовуються мокрі або напівмокрі процеси, зазвичай мають доступ лише до вологої сировини – така ситуація склалася в Данії та Бельгії, а також певною мірою у Великій Британії.

Для всіх технологічних процесів властиві такі спільні підпроцеси:

- зберігання та підготовка сировинних матеріалів;
- паливо – зберігання та підготовка;
- використання відходів у якості сировини та/або палива, вимоги до якості, контроль та підготовка;
- пічні системи – процеси випалювання у печі та технології зменшення викидів;
- продукція – зберігання та підготовка;
- пакування та відвантаження.

Процес виготовлення білого цементу подібний до процесу виробництва сірого портландцементу. Цей процес складається з таких етапів, як вибір сировини, її зберігання та підготовка, зберігання та підготовка палива, випалювання клінкеру у пічній системі, відбілювання/охолодження та помелу в умовах, що з високою точністю контролюються на кожному етапі процесу з метою уникнення забруднення та небажаних змін у характеристиках продукції. Проте основною технологічною відмінністю цього процесу є охолодження у поєднанні з відбілюванням. Ці процеси використовуються і потрібні для підвищення білизни цього особливого типу цементу та для забезпечення однорідного кольору.

Типова технологічна схема цементного заводу зображена на Рисунку 1.4.



Джерело: [103, SEMBUREAU, 2006]

Рисунок 1.4. Загальний огляд процесу виготовлення цементу

## 1.2.1 Сировинні матеріали та їх видобуток

Джерелом карбонату кальцію є вапняні поклади, що зустрічаються у природі – як-от вапняк, мергель чи крейда. Кремнезем, оксид заліза та глинозем містяться в багатьох рудах та мінералах, таких як пісок, сланець, глина та залізна руда.

Добування майже всіх видів природної сировинної продукції потребує шахтних або кар'єрних розробок. Ці матеріали найчастіше добувають відкритим способом у кар'єрах. Такий видобуток зазвичай передбачає буріння породи, підривні роботи, риття котлованів, вивезення та дроблення. Корисна інформація про видобуток у шахтах/кар'єрах наведена у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для утилізації хвостів та відвалів у гірничодобувній діяльності [47, Європейська комісія, 2004].

Основні види сировинних матеріалів, як-от вапняк, крейда, мергель та сланець або глина, видобуваються з кар'єрів. У більшості випадків кар'єр знаходиться поблизу заводу. Після первинного дроблення сировинні матеріали відвозяться на цементний завод для зберігання та подальшої підготовки. Інші види сировинних матеріалів, як-от боксит, залізна руда, шлак з доменних печей або формувальний пісок, завозяться з інших місць.

Сировинні матеріали повинні мати належні характеристики, містити потрібні хімічні елементи і компоненти, необхідні для обпалювання клінкеру, та відповідати вимогам до них, оскільки вони можуть впливати на технологічний процес виробництва та якість клінкеру. У Таблиці 1.8 наведені приклади діапазонів показників, отриманих у результаті хімічного аналізу, та характеристик сировинних матеріалів і цементної сировинної муки для виробництва цементного клінкеру. Окрім основних компонентів, ця сировина також містить ряд металів, перелічених у Таблиці 1.9.

**Таблиця 1.8. Хімічний аналіз сировинних матеріалів та цементної сировинної муки для виробництва цементного клінкеру**

Компоненти	Вапняк, вапняковий мергель, крейда	Глина	Пісок	РПЗ <sup>(1)</sup>	Джерело Fe	Сировинна мука
	(масовий %)					
SiO <sub>2</sub>	0,5 – 50	33 – 78	80 – 99	40 – 60	0,5 – 30	12 – 16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1 – 20	7 – 30	0,5 – 7	20 – 30	0,2 – 4	2 – 5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2 – 5,9	4,0 – 15	0,0 – 4	5 – 15	50 – 93	1,5 – 2,5
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02 – 0,15	0,090	0,051	0,127	0,1 – 4	0,0 – 0,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> та Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1 – 10	2 – 15	0,5 – 2		19 – 95	≤ 2
CaO	20 – 55	0,2 – 25	0,1 – 3	2 – 10	0,1 – 34	40 – 45
MgO	0,2 – 6	0,3 – 5	0,3 – 0,5	1,0 – 3	0,5 – 7	0,3 – 5
K <sub>2</sub> O	0 – 3,5	0,4 – 5	0,2 – 3	1 – 5	0,1 – 1	0,1 – 1,5
Na <sub>2</sub> O	0,0 – 1,5	0,1 – 1,5	0,0 – 1	0,2 – 1,5	0,1 – 1	0,1 – 0,5
SO <sub>3</sub> <sup>(2)</sup>	0,0 – 0,7	0,0 – 4	0,0 – 0,5	0,0 – 1	0 – 3	0 – 1,5
Cl	0,0 – 0,6	0,0 – 1	Слідова кількість		0,0 – 0,5	0,0 – 0,3
TiO <sub>2</sub>	0,0 – 0,7	0,2 – 1,8	0,0 – 0,5	0,5 – 1,5	0,0 – 3	0,0 – 0,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0 – 0,8	0,0 – 1,0	0,0 – 0,1	0,5 – 1,5	0,0 – 1	0,0 – 0,8
ZrO <sub>2</sub>		0,02				
CaCO <sub>3</sub>	96					
Втрати при прожарюванні (CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O), ВПП 950 <sup>(3)</sup>	2 – 44	1 – 20	≤ 5	6,74	0,1 – 30	32 – 36

<sup>(1)</sup> Розпорошена паливна зола.  
<sup>(2)</sup> Загальний вміст сірки, виражений у SO<sub>2</sub>.  
<sup>(3)</sup> ВПП 950 = втрати при прожарюванні.

Джерело: [60, VDI (Асоціація німецьких інженерів) 2094, Німеччина, 2003], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [90, Угорщина, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006]

Таблиця 1.9. Metали у сировині та сировинній муці

Елементи		Глина та аргіліт	Вапняк, мергель та глина	Сировинна мука
		мг/кг СР <sup>(1)</sup>		
Стибій	Sb	Дані відсутні	1 – 3	< 3
Арсен	As	13 – 23	0,2 – 20	1 – 20
Берилій	Be	2 – 4	0,05 – 2	0,1 – 2,5
Свинець	Pb	10 – 40	0,3 – 21	4 – 25
Кадмій	Cd	0,02 – 0,3	0,04 – 0,7	0,04 – 1
Хром	Cr	20 – 109	1,2 – 21	10 – 40
Кобальт	Co	10 – 20	0,5 – 5	3 – 10
Мідь	Cu	Дані відсутні	3 – 12	6 – 60
Манган	Mn	Дані відсутні	≤ 250	100 – 360
Нікель	Ni	11 – 70	1,5 – 21	10 – 35
Ртуть	Hg	0,02 – 0,15	< 0,01 – 0,13	0,01 – 0,5
Селен	Se	Дані відсутні	1 – 10	< 10
Телур	Te	Дані відсутні	< 4	< 4
Талій	Tl	0,7 – 1,6	0,05 – 1,6	0,11 – 3
Ванадій	V	98 – 170	4 – 80	20 – 102
Олово	Sn	Дані відсутні	< 1 – 5	< 10
Цинк	Zn	59 – 115	10 – 40	20 – 47

(<sup>1</sup>) СР: суха речовина.  
Джерело: [60, VDI 2094, Німеччина, 2003]

Замість звичайної сировини також можуть використовуватися відходи. Інформація про використання відходів у якості сировини наведена у розділі 1.2.4.2.

Необхідною умовою для виробництва білого цементу є наявність сировинних матеріалів високої чистоти – наприклад, джерел Si, Ca та Al без домішок. Сировинні матеріали – наприклад, вапняк високої частоти, різні види білої глини, каолін, кварцовий пісок, польовий шпат та діатоміт – вибирається з низьким вмістом металів, таких як залізо та манган. Оксиди металів впливають на білизну продукту і є одним із визначальних факторів. Для виробництва високомаркового білого цементу вкрай важливим є хімічний склад сировинних матеріалів, приклади якого наведені у Таблиці 1.10. Проте пропорції цих компонентів також повинні задовольняти вимогам процесу випалювання. Для покращення обпалюваності іноді використовуються мінералізатори. У якості мінералізаторів, що використовуються з цією метою, добре відомі флюси, такі як фториди (як правило, CaF<sub>2</sub>) [119, Соболев, 2001], [120, Іспанія, 2007].

Таблиця 1.10. Приклади хімічного складу сировинних матеріалів для виробництва білого цементного клінкеру

Види сировинних матеріалів	Хімічні сполуки сировинних матеріалів (%)						
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Вапняк	< 0,15	< 0,015					
Глина	≤ 1,0	Слідова кількість	65 – 80	< 0,8			
Каолін (належного різновиду)	0,4 – 1,0	0	70 – 73	0 – 0,80	18 – 20		
Кварцовий пісок (чистий)	≤ 0,2		< 96				
Інші породи <sup>(1)</sup>	< 0,5	< 3,0		< 0,2		< 30 м. д.	< 0,05

(<sup>1</sup>) Італія  
Джерело: [119, Соболев, 2001], [120, Іспанія, 2007], [138, Італія, 2007]

## 1.2.2 Зберігання та підготовка сировинних матеріалів

Підготовка сировинних матеріалів дуже важлива для наступних операцій у пічній системі – вона повинна забезпечити як правильний хімічний склад сировини, що подається в систему, так і достатньо дрібний розмір часток сировини.

### 1.2.2.1 Зберігання сировинних матеріалів

Потреба у використанні критого сховища залежить від кліматичних умов та кількості дрібних фракцій у сировинних матеріалах, що вивозиться з дробильної установки. Для заводу потужністю 3 000 тонн/добу ці споруди можуть вміщати від 20 000 до 40 000 тонн матеріалу. Приклад критого сховища для сировинних матеріалів показаний на Рисунку 1.5.



*Джерело: [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006]*

**Рисунок 1.5. Приклад критого сховища для сировинних матеріалів**

Сировинні матеріали, що подаються у пічну систему, повинні бути настільки хімічно однорідними, наскільки це доцільно на практиці. Це забезпечують шляхом регулювання потоку сировинних матеріалів, що подається в установку помелу сировинних матеріалів. Якщо матеріал з кар'єру неоднорідний за якістю, для здійснення його початкового перемішування матеріал потрібно скласти у ряди або штабелі по довжині (або по окружності) складу і виймати його, відбираючи з кагатів поперечні перерізи. Якщо матеріал з кар'єру доволі однорідний, можна використовувати простіші системи укладання в штабелі та відбору матеріалу.

Сировинні матеріали, що використовуються у порівняно невеликих кількостях, – наприклад, мінеральні добавки, – можна натомість зберігати в силосах чи бункерах. Усі види сировинних матеріалів з властивостями, які потенційно можуть шкодити здоров'ю населення та довкіллю, необхідно зберігати та підготовляти згідно з конкретними вимогами до окремого матеріалу.

### 1.2.2.2 Помел сировинних матеріалів

Для досягнення рівномірного хімічного складу важливо точно відмірювати та дозувати за вагою компоненти, що подаються у млин. Це необхідно для стабільної роботи печі та отримання високоякісної продукції. Відмірювання та дозування також є важливими факторами з точки зору енергоефективності системи помелу. У якості обладнання для відмірювання та дозування сировинних матеріалів, що подаються у млини, в більшості випадків використовується пластинчатий живильник, а дещо менш популярним є стрічковий ваговий дозатор.

У виробництві білого цементу операції подрібнення слід виконувати дуже обережно, щоб у сировинні матеріали не потрапили різні шматки або невеликі кількості металів, які можуть її забарвити. Крім того, щоб уникнути забруднення сировинної суміші залізом, важливо правильно вибрати молільні тіла та футеровку млина. У критично важливих деталях обладнання використовуються спеціальні сорти сталі або керамічні матеріали. Для підвищення білизни застосовується контроль вологості сировинної суміші, а час помелу скорочується за допомогою прискорювальних / поверхнево-активних добавок, які можуть відрізнитися від доступних на ринку інтенсифікаторів помелу [120, Іспанія, 2007]. У деяких випадках на кінцевому етапі процесу підготовки сировинної суміші рекомендується використовувати гранулювальне обладнання – особливо у випадках, коли випалювання здійснюється в печі з псевдозрідженим шаром [119, Соколов, 2001].

### **1.2.2.2.1 Помел сировинних матеріалів при виробництві портландцементного клінкеру за сухим та напівсухим способами**

Різні види сировинних матеріалів у регульованих пропорціях розмелюються і змішуються, утворюючи однорідну суміш з потрібним хімічним складом. У пічних системах, що працюють за сухим та напівсухим способом, компоненти сировинних матеріалів розмелюються і висушуються у дрібний порошок: для цього використовуються переважно відхідні гази печі та/або відхідне повітря з холодильника. Для сировинних матеріалів з порівняно високим вмістом вологи та для пускових процедур може знадобитися допоміжна топка, яка надаватиме додаткове тепло.

До типових систем сухого помелу, що використовуються в цій галузі, належать:

- трубні млини з центральним виходом;
- повітроструминні трубні млини;
- вертикальні валкові млини;
- горизонтальні валкові млини (наразі працює лише кілька таких установок).

Інші системи помелу використовуються меншою мірою. Це:

- трубні млини з торцевим виходом у замкненому контурі;
- млини з самостиранням матеріалу;
- роликові преси з дробарками (сушарками) або без них.

Тонина помелу та гранулометричний склад продукту, що виходить із системи помелу сировинних матеріалів, має велике значення для наступного процесу обпалювання. Цільове значення, встановлене для цих параметрів, досягається шляхом регулювання сепаратора, який використовується для класифікації продукту, що виходить із помельної установки. Для сухої класифікації використовуються повітряні сепаратори. Сепаратори найновішого покоління, тобто сепаратори з короткозамкненим ротором, мають кілька переваг, а саме:

- менше питоме споживання енергії системою помелу (менше надмірного помелу);
- збільшена пропускна здатність системи (ефективність розділення часток);
- більш сприятливий гранулометричний склад та краща однорідність продукту.

### **1.2.2.2.2 Помел сировинних матеріалів при виробництві портландцементного клінкеру за мокрим та напівмокрим способами**

Мокий помел використовується лише у поєднанні з пічними системами, що працюють за мокрим та напівмокрим способом. Компоненти сировинних матеріалів помелюються з додаванням води, утворюючи шлам. З огляду на досягнення необхідного подрібнення часток шламу та дотримання сучасних вимог до якості, оптимальним варіантом такої системи є молільні системи з замкненим контуром.

Мокрий процес зазвичай вибирають тоді, коли вміст вологи у сировинних матеріалах перевищує 20 % за масою. Липкі види сировинних матеріалів, які за своєю суттю містять багато вологи, – як-от крейда, мергель або глина, – м'які, тож у якості першого ступеня підготовки їх можна розмолоти у бовтанці. Вода та подрібнений матеріал подаються у бовтанку і розбиваються у шлам під впливом зсувних та ударних зусиль, що створюються обертовими розпушувачами. Коли матеріал стає достатньо дрібним, він проходить крізь сита у стінці бовтанки і перекачується насосом на склад.

Для досягнення необхідної тонини помелу шламу його зазвичай потрібно додатково розмолоти у трубному млині, особливо якщо до нього додається додаткова сировина, як-от пісок.

Для зменшення споживання палива піччю додавання води під час помелу сировини регулюється таким чином, щоб додана кількість води була мінімальною необхідною для забезпечення потрібного потоку шламу та характеристик, що визначають його здатність до перекачування насосом (від 32 до 40 вагових %). Хімічні добавки можуть діяти як розріджувачі шламу, дозволяючи використовувати менше води.

### 1.2.2.2.3 Гомогенізація та зберігання сировинної муки або шламу

Сировинна мука або шлам після процесу сухого помелу потребують подальшого перемішування/гомогенізації для досягнення оптимальної консистенції сировинної суміші перед подаванням у пічну систему будь-якого типу. Сировинна мука гомогенізується і зберігається у силосах, а сировинний шлам – у баках або силосах.

Для транспортування сировинної муки до силосів, де воно зберігається, використовуються пневматичні та механічні конвеєрні системи. Механічні конвеєри зазвичай потребують більших інвестиційних витрат, ніж пневматичні конвеєрні системи, проте для них властиві значно менші експлуатаційні витрати. Найбільш поширеною транспортною системою є система, у якій аерожолоб або шнековий/ланцюговий конвеєр поєднується зі стрічковим ковшовим елеватором.

## 1.2.3 Зберігання та підготовка палива

Для генерування тепла та енергії, необхідних для протікання процесу, можуть використовуватися різні види палива (як викопні, так і отримані з відходів). Різні види викопного палива використовуються головним чином для випалювання цементу в печі, як-от:

- тверді види палива – наприклад, нафтовий кокс та лігніт, а у деяких випадках бітумний сланець;
- рідкі види палива – наприклад, мазут, у тому числі котельний мазут високої в'язкості (HVFO);
- газоподібні види палива – наприклад, природний газ.

Основними золовими компонентами цих палив є сполуки кремнезему та глинозему. Крім того, зола може містити метали у слідових кількостях. Вони входять до складу клінкеру разом із сировинними матеріалами. Це потрібно враховувати в розрахунку пропорцій сировинних матеріалів, тому бажано використовувати паливо зі сталим, хоча й не обов'язково низьким, вмістом золи. Приклади хімічного аналізу металів у вугіллі, що використовується в Німеччині, наведені у Таблиці 1.11.

Таблиця 1.11. Хімічний аналіз металів у вугіллі

Елементи		Кам'яне вугілля / буре вугілля мг/кг СР <sup>(1)</sup>
Стибій	Sb	0,4 – 2
Арсен	As	1 – 50
Берилій	Be	< 0,1 – 3,3
Свинець	Pb	1,5 – 273
Кадмій	Cd	< 0,1 – 10
Хром	Cr	1,5 – 81
Кобальт	Co	< 1 – 40
Мідь	Cu	1 – 100
Манган	Mn	82 – 250
Нікель	Ni	< 1 – 100
Ртуть	Hg	0,1 – 3,3
Селен	Se	0,6 – 2
Телур	Te	0,2 – 1
Талій	Tl	0,1 – 5,5
Ванадій	V	1 – 200
Олово	Sn	0,8 – 2,3
Цинк	Zn	6 – 220
<sup>(1)</sup> СР: суха речовина		
Джерело: [60, VDI 2094, Німеччина, 2003]		

Головними викопними паливами, що використовуються в європейській цементній промисловості, є нафтовий кокс та вугілля. Природний газ та нафту зазвичай недоцільно використовувати через великі витрати, проте вибір палива залежить від місцевої ситуації (наприклад, наявності вітчизняного вугілля). Проте, з огляду на високі температури та тривалий час перебування матеріалу у пічній системі, цей процес має значний потенціал для розкладання органічних речовин (див. розділ 1.2.4.1). Це дає змогу використовувати велике різноманіття дешевших видів палива, зокрема, різних видів відходів. Використання відходів зростає в останні кілька років (див. розділ 1.2.4).

Для зведення втрат тепла до мінімуму цементні печі працюють на найнижчих доцільних рівнях надлишкового кисню. Тому паливо для них потрібно відмірювати дуже рівномірно та надійно, а також подавати його в піч у такому вигляді, який забезпечує легке та повне згорання палива. Ці умови виконуються при використанні будь-яких рідких та газоподібних палив. У разі використання пилоподібного твердого палива для виконання цих умов вкрай важливою є правильна конструкція бункерів, конвеєрів та живильників. Основна порція поданого в систему палива (65 – 85 %) зазвичай складається з легкозаймистого палива, а решта 15 – 35 % можуть подаватися у вигляді грубо подрібленого матеріалу чи великими шматками.

Для виробництва білого цементу паливо слід вибирати дуже ретельно, щоб паливна зола не містила елементів, які можуть потрапити у склад клінкеру, а отже, змінити бажаний колір білого цементу. У 2007 році вибрані види палива з відходів у незначній кількості використовувалися у виробництві білого цементу.

### **1.2.3.1 Зберігання викопних видів палива**

Сире вугілля та нафтовий кокс зберігаються подібно до сировинних матеріалів, тобто, у більшості випадків, на критих складах. Довготермінові запаси зберігаються під відкритим небом у великих ущільнених кагатах. Такі кагати можна засівати травою, щоб запобігти ерозії під впливом дощової води та вітру. Влаштування дренажу в землю зі складів під відкритим небом виявилось проблемою. Проте під кагатами можна влаштувати гідроізолювану бетонну підлогу, яка дасть змогу збирати і прибирати воду, що стікає з кагату. При зберіганні вугілля з порівняно великим вмістом летких речовин потрібно дотримуватися загальноприйнятих належних практик стосовно ущільнення та висоти кагатів, щоб виключити ризик спонтанного займання у випадку тривалого зберігання.

Вугільний пил та пилоподібний нафтовий кокс зберігаються виключно в силосах. З міркувань безпеки (тобто з огляду на небезпеку вибуху, зумовленого тліючим вогнем та пробоями статичної електрики), ці силоси повинні бути виконані як силоси з масовим потоком і обладнані стандартними запобіжними пристроями.

Мазут зберігається у вертикальних сталевих баках. Ці баки іноді ізолюються: ізоляція допомагає підтримувати температуру мазуту, за якої його можна перекачувати насосом (від 50 до 60 °C). Вони також можуть бути обладнані точками всмоктування з підігрівом для локального підтримання належної температури мазуту.

Природний газ не зберігається на цементному заводі. Функцію сховища газу виконує міжнародна газорозподільна мережа високого тиску.

### **1.2.3.2 Підготовка викопних видів палива**

Підготовка викопного твердого палива (дроблення, помел та сушіння) зазвичай виконується на об'єкті. Вугілля та нафтовий кокс подрібнюються в пил до тонини, що приблизно дорівнює тонині сировинної муки, на установках помелу за допомогою обладнання, подібного до установок помелу сировинних матеріалів. Тонина помелу пилоподібного палива має велике значення – якщо частки надто дрібні, температура полум'я може бути надто високою, а якщо частки надто грубі, можливе неповне згорання. Якщо тверде паливо має слабку леткість або містить мало летких часток, воно потребує тоншого помелу. Якщо з печі або холодильника не можна отримати достатньо гаряче повітря для сушіння, може бути необхідно передбачити допоміжну топку. Необхідно передбачити додаткові функції для захисту обладнання від пожеж та вибухів.



Використовується три основні типи систем для подрібнення та помелу вугілля:

- повітродструминні трубні млини;
- вертикальні валкові або відцентрові кульові млини;
- молоткові млини.

Помелене тверде паливо можна подавати безпосередньо в піч для спалювання, проте у сучасних установках воно зазвичай зберігається в силосах: це дає змогу використовувати більш термічно ефективні пальники (випалювання з опосередкованим нагріванням) з невеликою кількістю первинного повітря.

Системи для помелу, зберігання та спалювання твердого палива повинні проектуватися та експлуатуватися таким чином, щоб виключити ризик вибуху чи пожежі. Першочергові вимоги до них – забезпечувати належне регулювання температури повітря та виключити можливість накопичення дрібного матеріалу у глухих кутах, які зазнають впливу тепла.

Підготовка мазуту: Для того, щоб мазут можна було відміряти та спалити, його нагрівають до температури 120 – 140 °С: при цьому його в'язкість зменшується до 10 – 20 сСт, а тиск збільшується до 20 – 40 бар.

Підготовка природного газу: Перед спалюванням тиск газу потрібно знизити з тиску у газопроводі, тобто 30 – 80 бар, до тиску у заводській мережі, що становить 3 – 10, а потім додатково знизити до тиску живлення пальника, що складає близько 1 бара (надлишковий тиск). Перший етап зниження тиску здійснюється на вузлі передавання газу, де також вимірюється споживання газу. Щоб обладнання не замерзло внаслідок ефекту Джоуля-Томпсона, природний газ підігрівається перед його проходженням через редуційний клапан.

Як варіант, тиск можна знизити шляхом пропускання газу через газорозширювальну турбіну, під'єднану до електрогенератора. Таким чином можна регенерувати частину енергії, необхідної для стиснення газу.

#### 1.2.4 Використання відходів

У європейській цементній промисловості регенерується значна кількість палива, отриманого з відходів, яке замінило викопні види палива більш ніж на 80 % на окремих заводах. Завдяки цьому цементна промисловість робить додатковий внесок у зниження викидів парникових газів та зменшення використання природних ресурсів.

Заборона на захоронення неперероблених відходів на звалищах, прийнята у деяких країнах-членах ЄС, призвела до того, що в експлуатацію вводиться все більше заводів з механічної та механічно-біологічної переробки відходів. Внаслідок цього все гостріше постає питання про оброблення попередньо перероблених фракцій відходів. Після належної переробки окремі фракції відходів можуть відповідати вимогам до екологічно прийняттого повторного використання на цементних заводах. Цементна промисловість країн ЄС-27 вже багато років займається регенерацією вибраних потоків відходів. Ця галузь промисловості, яка традиційно споживає значну кількість невідновлюваних природних ресурсів, бере активну участь у використанні відходів для збереження цих ресурсів, не виробляючи при цьому залишкового сміття [103, CEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007].

Оскільки переробка відходів не розглядається у цьому документі, корисну інформацію про переробку відходів можна знайти у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для переробки відходів. Крім того, потрібно враховувати вимоги існуючих Європейських та національних норм – зокрема, при сумісному спалюванні відходів.

### 1.2.4.1 Загальні аспекти

Первинні сировинні матеріали та/або викопні палива, що використовуються у виробництві цементу, можна замінити різними видами відходів і таким чином посприяти збереженню природних ресурсів. По суті, процес випалювання клінкеру, з огляду на його характеристики, дозволяє застосовувати екологічно вигідні способи перетворення відходів в енергію та переробки матеріалів. Ключові характеристики технологічного процесу з точки зору переробки відходів можна підсумувати наступним чином:

- максимальна температура – приблизно 2000 °C (основна система випалювання, температура полум'я) в обертових печах;
- час перебування газу в печі – близько 8 секунд за температур понад 1200 °C в обертових печах;
- температура матеріалу – близько 1450 °C у зоні спікання обертової печі;
- окисна газова атмосфера в обертовій печі;
- час перебування газу у вторинній системі випалювання – понад 2 секунди за температур понад 850 °C; час перебування в попередньому кальцинаторі значно довший, і температури в ній вищі;
- температури твердих речовин – 850 °C у вторинній системі випалювання та/або кальцинаторі;
- рівномірні умови згорання за коливань навантаження внаслідок високих температур за достатньо тривалого часу перебування в печі;
- розкладання органічних забруднюючих речовин під дією високих температур за достатньо тривалого часу перебування в печі;
- поглинання газоподібних сполук, таких як HF, HCl, SO<sub>2</sub>, лужними реагентами;
- висока здатність до утримання зв'язаних з твердими частками важких металів;
- короткий час перебування відхідних газів у діапазоні температур, які, як відомо, призводять до новоутворення дибензопарадіоксинів (ПХДД) / дибензофуранів (ПХДФ);
- повна утилізація золи-виносу в якості компонентів клінкеру, а отже, одночасна переробка матеріалу (наприклад, також у якості компонента сировини) та регенерація енергії;
- відходи, характерні для конкретного продукту, не утворюються, оскільки матеріал повністю використовується у клінкерній матриці; проте деякі заводи Європи утилізують обхідний пил;
- хімічно-мінералогічне включення нелетких важких металів у клінкерну матрицю [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [76, Німеччина, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

Дослідження показали, що в обертових печах матеріал та клінкер краще абсорбують небезпечні речовини, ніж в інших типах печей – наприклад, у шахтних печах [75, Естонія, 2006], [76, Німеччина, 2006].

Велике розмаїття різних видів відходів використовуються у якості сировини та/або палива. Перш ніж обмірковувати можливість використання відходів, слід врахувати різні базові принципи, як-от правильний вибір відходів та поглиблена процедура аналізу відходів та їх попередньої переробки. Переробка цих відходів повинна здійснюватися таким чином, щоб витримувати стандарти якості клінкеру, оскільки зола-винос повністю уловлюється клінкером. На питання, який вид відходів, зрештою, можна використовувати на конкретному заводі, не можна дати однозначної відповіді.

Міркування та рішення повинні базуватися на таких факторах, як характер процесу виробництва клінкеру та умовах роботи, склад сировини та палива, точки живлення, технологія очищення димових газів, що використовується, наявні проблеми з керування відходами та вимоги існуючих Європейських і національних норм.

У загальному випадку відходи, що приймаються у якості палива та/або сировини, повинні збільшувати ефективність цементної печі за такими показниками:

- питома теплота згорання за рахунок відходів;
- цінність матеріалу відходів.

Крім того, потрібно врахувати об'єми та категорії відходів, а також їх фізичний та хімічний склад, характеристики та забруднюючі речовини. Отримані з відходів види палива, що

використовуються в цементній промисловості, виготовляються виключно з вибраних потоків відходів, які зазвичай потребують попередньої переробки – наприклад, подрібнення, перемішування, помел та гомогенізації, а також належного контролю якості. Підготовка відходів зазвичай здійснюється на заводах з переробки відходів.

*Точки живлення для подавання відходів у піч*

Відходи, що використовуються у якості сировини, зазвичай подаються в пічну систему тим же шляхом, що й звичайна сировина – наприклад, через звичайну лінію подавання сировинної муки.

Як описано у розділі 1.2.5.1, для подавання палива у цементну піч можна використовувати різні точки живлення. Ці точки живлення також можна використовувати для внесення відходів у процес виробництва цементу у вигляді палива та/або сировини. Слід зазначити, що дуже важливим є шлях подавання палива в піч, оскільки він може впливати на викиди. Серед цих точок живлення, як правило, є лише один шлях, яким димові гази, що утворюються з палива, можуть проходити через зону найвищої температури в печі, а саме – їх подавання через основний пальник. Для інших точок живлення температура та час перебування в печі залежать від конструкції печі та роботи печі, як описано вище.

Відходи, що подаються через основний пальник, будуть розкладатися у первинній зоні випалювання за високих температур до 2000 °С. Багатоканальні пальники розраховані на використання різних типів палива, у тому числі й палива з відходів. Відходи, що подаються у допоміжний пальник, підігрівач чи попередній кальцинатор, спалюються за нижчих температур, яких не завжди достатньо для розкладання галогенізованих органічних речовин. Леткі компоненти матеріалу, що подається зверху печі або у вигляді грудкового палива, можуть випаровуватися. Ці компоненти не проходять через первинну зону випалювання і не можуть розкластися або бути зв'язаними у цементному клінкері. Тому використання відходів, що містять леткі метали (ртуть, кадмій, талій) або леткі органічні сполуки, за їх неправильного використання може призвести до збільшення викидів ртуті, кадмію, талію або органічних викидів (наприклад, ЛОС). Слід звернути увагу на такі відходи, що містять компоненти, здатні переходити у леткий стан за низьких температур перед зоною кальцинування (наприклад, вуглеводні, розчинники, відпрацьовані мастила). Їх потрібно подавати у зони пічної системи з достатньо високою температурою.

*Забезпечення енергоефективності шляхом використання відходів*

Підприємства цементної промисловості вже досягли значного покращення енергоефективності з точки зору використання палив у процесах виготовлення цементу і продовжують розробляти альтернативні засоби вдосконалення. Проте до якості палива з відходів висувається дуже важлива вимога – питома теплота згоряння палива, необхідна для покращення енергоефективності та позитивного внеску у тепловий процес, який дозволяє виконувати кальцинування [76, Німеччина, 2006], [89, Європейська організація регенованого палива (ERFO), 2005], [103, CEMBUREAU, 2006].

*Вплив використання відходів на викиди*

Інформація про вплив використання відходів на динаміку викидів наведена у розділі 1.3.4.13, а інформація про його вплив на якість продукції наведена у розділі 1.3.4.14 цього документа.

Моніторинг параметрів та викидів у випадку, коли відходи використовуються як паливо та/або сировина, описано у розділі 1.3.9. Крім того, у розділі 6.2.2 цього документа наведено дані для конкретних заводів – наприклад, про використання відходів.

#### **1.2.4.2 Використання відходів у якості сировини**

Велике значення має хімічна придатність відходів, що використовуються у якості сировини – вони повинні містити компоненти, необхідні для виробництва клінкеру. До хімічних сполук, потрібних насамперед, належать вапно, кремнезем, глинозем та залізо, а також сірка, луги та інші сполуки, які можна поділити на різні групи за їх хімічним складом.

При використанні відходів у якості сировини, як-от у процесі випалювання клінкеру, відбувається заміна сірки та оксидів, що містяться у відходах, які використовуються в якості сировини. До цих сполук належать оксид кальцію (CaO), кремнезем (SiO<sub>2</sub>), глинозем (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) або оксид заліза (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) для відповідних компонентів сировини. Для часткової заміни природних видів сировини можна використовувати золу з електростанцій (золу-винос), шлак з доменних печей та інші залишки технологічних процесів. У Таблиці 1.12 наведено типи відходів, які найчастіше використовувалися як сировина у виробництві цементу в Європі у 2006 році.

**Таблиця 1.12. Типи відходів, що найчастіше використовуються як сировина в європейській цементній промисловості**

Зола-винос	Шлак з доменних печей	Кремнеземний пил
Шлак	Паперова целюозна маса	Піритова зола
Відпрацьований формувальний пісок	Мастило, забруднене ґрунтом	
Штучний гіпс (утворений у процесі знесірчення димових газів та виробництва ортофосфорної кислоти)		
Джерело: [8, CEMBUREAU, 2001], [91, CEMBUREAU, 2006]		

Інші відходи постачаються у вигляді так званих «добавок, що додаються при подрібненні» на установки помелу. Зола-винос може використовуватися у якості як сировини для виробництва клінкеру (головним чином завдяки вмісту в ній глинозему), так і добавки, що додається при подрібненні, для цементу. Золю-виносом можна замінити до 50 % портландцементного клінкеру, проте вона може містити ртуть. Крім того, правильні різновиди промислового гіпсу придані для використання у якості сульфатного компонента. Огляд відходів, що використовуються в якості сировини, згрупованих за їх хімічним складом, наведений у Таблиці 1.13.

**Таблиця 1.13. Перелік прикладів відходів, що використовуються як сировина в цементних печах у країнах ЄС-25, згрупованих за їх хімічним складом**

Група сировини	Приклади відходів, що використовуються у якості сировини
Група Ca	Промислове вапно (відходи вапняку) Вапняне молоко Карбідний шлак Шлам з установок очищення питної води
Група Si	Відпрацьований формувальний пісок Пісок
Група Fe	Шлак з доменних печей та конвертерний шлак Піритова зола Синтетичний гематит Червоний шлак
Група Al	Промисловий шлак
Група Si-Al-Ca	Зола-винос Шлаки Дрібні фракції з дробарок Ґрунт
Група S	Промисловий гіпс
Група F	CaF <sub>2</sub> Фільтрувальний шлак
Джерело: [76, Німеччина, 2006], [91, CEMBUREAU, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006]	

Як і зола з викопних видів палива, зола палива, виготовленого з відходів, вносить у цементний клінкер мінеральні компоненти. На діаграмі стану для третинної системи, зображеній на Рисунку 1.6, показано склад різних видів золи-виносу та відходів, що використовуються у якості сировини, для яких наведено вміст основних компонентів – CaO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Як видно з рисунка, клінкер має заданий склад, який є критично важливим для забезпечення характеристичних гідравлічних властивостей цементу. Це означає, що всі види сировинних матеріалів та золи-виносу необхідно ретельно підбирати за мінеральним складом та інтенсивністю подавання для отримання потрібної композиції клінкеру.

Відходи, що використовуються в якості сировини, вносяться у процес випалювання клінкеру або в кальцинатор через маршрут надходження сировинної муки чи через завантажувальний отвір печі та/або через кальцинатор. На етапі підігрівання у підігрівачі органічні речовини можуть вивільнитися з матеріалу, завантаженого в піч, внаслідок низьких температур, яких не завжди достатньо для розкладання галогенізованих органічних речовин. При переробці такої сировини з відходів необхідно перевіряти її на можливість викидів летких органічних сполук і відповідним чином вибирати точку живлення – наприклад, пальник печі.

Наприклад, відпрацьований формувальний пісок з високим вмістом летких сполук слід подавати в завантажувальний отвір печі. Залишкова органічна в'язуча речовина, що використовується в системах лиття у форми з хімічно зв'язаного піску, може розкладатися в підігрівачі. Проте короткий час перебування матеріалу у низькотемпературній фазі підігрівача гарантує, що леткі сполуки з нього не виділяються. За допомогою попередньої обробки відпрацьованого формувального піску – наприклад, відділення пилу – можна зменшити вміст у ньому важких металів. За рахунок використання промислового гіпсу та золи-виносу в установку помелу подається гіпс. Відновлювана питома теплота згорання багатой на вуглець золи (тобто такої, що може містити до 20 % вуглецю) може використовуватися в процесі виготовлення цементного клінкеру [76, Німеччина, 2006], [91, SEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

Вимоги, які потрібно враховувати при виборі та використанні відходів у якості сировини:

- відходи складаються переважно з компонентів клінкеру;
- низька концентрація летких важких металів, тобто ртуті, талію та інших металів;
- регулярний моніторинг матеріалу, що подається в систему, – наприклад, відходів, що використовуються з цією метою, – шляхом відбору проб та аналізу.

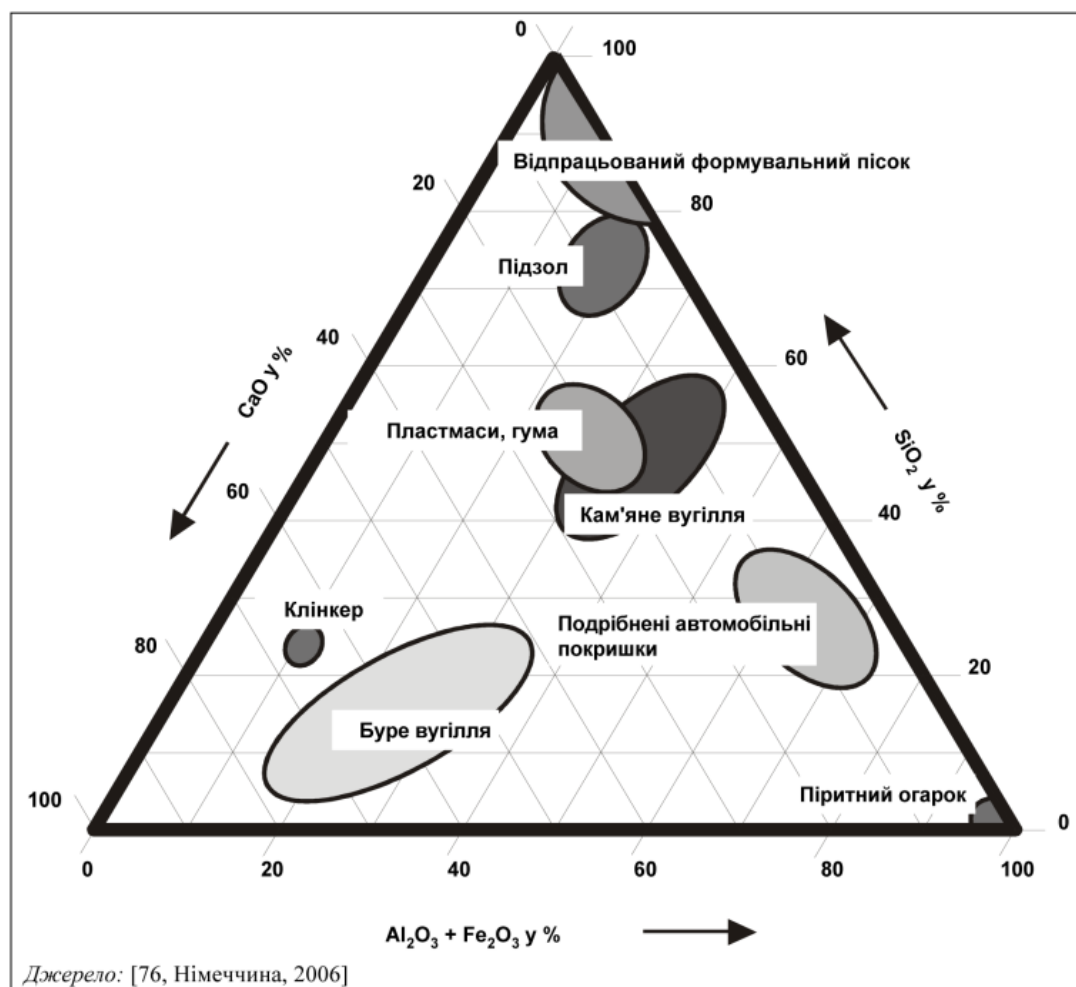


Рисунок 1.6. Діаграма стану для третинної системи  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  для цементного клінкеру та золових компонентів різних видів сировинних матеріалів та палива

### 1.2.4.3 Використання відходів у якості палива

Викопні види палива, такі як викопне паливо, можна замінити паливом з відходів, тобто паливом, отриманим з попередньо перероблених та відсортованих фракцій відходів, у тому числі твердого і рідкого відновленого палива та/або біомаси. У якості палива використовується велике розмаїття різних видів відходів, у тому числі залишки золи. Відходи можуть бути твердими, рідкими або пастоподібними і характеризуються своїм походженням – наприклад, з промислових, сільськогосподарських або комунально-побутових джерел. Споживання палива з відходів описане у розділі 1.3.3.3, а їх вплив на динаміку викидів описано у розділі 1.3.4.13.

#### 1.2.4.3.1 Види палива з відходів

Процес випалювання клінкеру створює сприятливі умови для часткової заміни викопного палива різними типами відходів (див. розділ 1.2.4.1). У якості палива в європейських цементних печах використовуються різні типи відходів, перелічені в Таблиці 1.14: вони класифікуються як небезпечні відходи та відходи, що не є небезпечними. Оскільки ці теплотворні відходи можуть використовуватися замість первинного палива в цементних печах, дуже важливо забезпечити стабільну якість палива (наприклад, належну питому теплотворну здатність, вміст металів, галогенів (наприклад, хлору) та золи; відходи повинні підходити для пальників). Використання палива з відходів у виробництві клінкеру постійно зростає, проте використання відходів, що не є небезпечними зросло помітніше, ніж використання небезпечних відходів [74, CEMBUREAU, 2006], [75, Естонія, 2006], [76, Німеччина, 2006], [92, Австрія, 2006].

У Таблиці 1.14 перелічено види палива з відходів, що використовуються в цих процесах: вони об'єднані у 14 груп. Ці групи охоплюють кілька позицій Європейського каталогу відходів (EWC); повний список усієї класифікації за групами разом з категоріями відходів та описами відходів наведено в Таблиці 6.1 розділу 6.2.1. Крім того, приклади значень питомої теплотворної здатності кількох типів відходів наведено в Таблиці 1.20 розділу 1.3.3.3 [74, CEMBUREAU, 2006], [98, Європейська комісія, 2000], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [192, CEMBUREAU, 2012].

**Таблиця 1.14. Різні типи відходів, що використовуються як паливо для цементних печей у країнах ЄС-27 в 2003 та 2004 роках**

№ групи <sup>(1)</sup>	Типи палива з відходів (небезпечні та такі, що не є небезпечними)
1	Деревина, папір, картон
2	Текстиль
3	Пластмаси
4	Перероблені фракції (наприклад, паливо з твердих побутових відходів)
5	Гума/покришки
6	Промисловий шлам
7	Шлам з комунально-побутових стічних вод
8	Тваринна мука, жири
9	Відходи вугілля / вуглецеві відходи
10	Сільськогосподарські відходи
11	Тверді відходи (просочена тирса)
12	Розчинники та пов'язані з ними відходи
13	Нафта та нафтовмісні стічні води
14	Інші відходи

<sup>(1)</sup> Кожна група охоплює кілька позицій Європейського каталогу відходів (EWC) – див. Таблицю 6.1 у розділі 6.2.1  
*Джерело:* [74, CEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]

### 1.2.4.3.1.1 Тверді види палива з відходів

Не всі тверді горючі відходи придатні до використання в якості палива у процесі випалювання клінкеру. Тверді відходи можуть бути однорідною або неоднорідною сумішшю різних компонентів дуже різного походження, таких як:

- горючі фракції – наприклад, рештки паперу, картону, пластмас, гуми та деревини;
- різна кількість інертних матеріалів, що містять органічні фракції, таких як пісок, камінь, кераміка, чорні/кольорові метали та вологі органічні матеріали;
- шкідливі фракції, як-от дьоготь, смоли, просочена тирса, або нешкідливі матеріали.

Змішані комунально-побутові відходи, змішані відходи гуртово-роздрібною торгівлі або змішані будівельні відходи, відходи від зносу будівель та споруд, деякі тверді небезпечні відходи та інші подібні відходи необхідно попередньо переробити на об'єктах (установках) оброблення відходів, перш ніж використовувати їх як паливо. Обсяг операцій з переробки відходів, таких як сортування, дроблення та гранулювання, залежить від застосування палива з цих відходів.

Технології підготовки твердих палив можуть суттєво різнитися залежно від джерела та типу відходів, а також вимог цементної промисловості. Одна з важливих вимог пов'язана з системою транспортування та випалювання, що використовується для подавання палива з відходів у піч:

- основна система випалювання (у верхній частині /на вихідному отворі печі, вприскування відходів з палива через трубки): використання високоабразивних відходів, таких як висушений шлам та частки нестандартних форм і розмірів, може призвести до проблем у роботі. При використанні в печі твердого палива з відходів забивання та пошкодження обертових деталей можна уникнути, використовуючи для транспортування цього палива в піч пневматичні системи транспортування (таким чином, система функціонує взагалі без рухомих деталей). Кількістю транспортувального повітря, що вприскується в піч разом з відходами, можна знехтувати з точки зору стехіометрії згоряння в печі. За більших розмірів часток потрібні більші пневматичні конвеєрні лінії та повітрогони. Тому важливими кроками обробки є зменшення розмірів часток та м'яке гранулювання палива з відходів. (Розмір часток зазвичай не повинен перевищувати 25 мм. Перевага ущільнення шляхом м'якого гранулювання полягає у покращенні параметрів текучості та дозування палива;
- допоміжна система випалювання (паливо подається через завантажувальний отвір печі, стояк між завантажувальним отвором обертової печі та найнижчим ступенем циклона або кальцинатора): для допоміжної системи випалювання не мають значення обмеження розміру часток у твердому паливі з відходів. Через завантажувальний отвір печі або за допомогою технічних засобів для подавання матеріалів в середину печі у піч можна завантажувати навіть цілі покришки. Крім того, можна використовувати відходи з високим вмістом золи.

Використовуються різні типи твердих відходів, наприклад:

- відходи, що не є небезпечними, перелічені в Таблиці 1.14, номери груп 1 – 10;
- небезпечні відходи, перелічені в Таблиці 1.14, номери груп 11 – 13.

На Рисунку 1.7, Рисунку 1.8 та Рисунку 1.9 наведено приклади попередньо перероблених сумішей відходів, що використовуються на цементних заводах, як-от:

- тирса, просочена небезпечними відходами;
- паливо з таких відходів, як папір та текстиль, ще не використаних або вже використаних споживачем, яке виготовляється з поліетиленової плівки, фотоплівки, паперу, поліпропілену, пакувальних матеріалів та пластмас;
- тверде, чисте і нешкідливе паливо з побутових відходів, відсортованого паперу, картону, деревини, килимів, текстилю та пластмас.

Відходи аналізуються і спеціально підготовлюються до використання у цементних печах [45, Шорхт, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [107, Бельгія, 2006].

		
<p><b>Рисунок 1.7. Небезпечні відходи – просочена тирса</b></p>	<p><b>Рисунок 1.8. Спеціально підготовлене паливо з відходів – наприклад, з паперу, пластмас, текстилю</b></p>	<p><b>Рисунок 1.9. Спеціально підготовлені побутові відходи, що використовуються як паливо в цементних печах</b></p>
<p><i>Джерело:</i> [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]</p>	<p><i>Джерело:</i> [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006]</p>	<p><i>Джерело:</i> [82, «Семекс Регбі» (CEMEX Rugby), Велика Британія, 2006]</p>

#### 1.2.4.3.1.2 Рідкі види палива з відходів

Рідке паливо з відходів можна приготувати шляхом перемішування чи попередньої переробки різних відходів, таких як використані розчинники, залишки фарби чи відпрацьоване мастило з належною питомою теплотворною здатністю, на спеціальних об'єктах (установках) оброблення відходів. Більше корисної інформації про переробку відходів можна знайти в Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для переробки відходів [48, Європейська комісія, 2005].

При поводженні з рідким паливом, отриманим з відходів, – наприклад, при його зберіганні та подаванні в систему, – слід звертати увагу на деякі небезпечні рідкі відходи (наприклад, розчинники), щоб уникнути викидів органічних речовин. Існує кілька технологій – наприклад, регенерація пари, – які за необхідності можна використовувати. Системи регенерації пари працюють таким чином, щоб потік органічних речовин був можливим лише за наявності з'єднання з системою регенерації пари, та щоб система регенерації пари і під'єднані до неї установки не виділяли газ у повітря під час нормальної роботи, за винятком випадків, коли газ потрібно скинути з міркувань безпеки [76, Німеччина, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

#### 1.2.4.3.2 Вимоги до якості відходів та вхідний контроль

Відходи, що використовуються у якості сировини та/або палива в цементних печах, повинні відповідати різним стандартам якості, оскільки вони повністю уловлюються клінкером, а також для мінімізації їх впливу на викиди у повітря. Вкрай важливо забезпечити постійну якість відходів. Щоб гарантувати необхідні характеристики палива з відходів, потрібна система контролю якості. Ця система, зокрема, встановлює процедури відбору проб, підготовки проби, аналізу та зовнішнього моніторингу. Більше корисної інформації можна знайти у технічних вимогах Європейського комітету зі стандартизації, таких як CEN/TC 343 «Тверде відновлене (відновлювальне) паливо». Крім того, потрібно враховувати вимоги існуючих Європейських та національних норм. При сумісному спалюванні відходів необхідно дотримуватися вимог Частини IV та Додатку VI до Директиви 2010/75/EU – наприклад, вимог щодо процедури приймання, що виконується оператором при використанні небезпечних відходів. У загальному випадку вимоги до якості встановлюють, що відходи, які приймаються у якості палива та/або сировини, повинні збільшувати ефективність цементної печі за такими показниками:

- питома теплота згорання за рахунок відходів;
- цінність матеріалу відходів.

Відходами з належною питомою теплотворною здатністю можна замінити первинне паливо у цементних печах. Слід зазначити, що значення питомої теплотворної здатності цих відходів дуже різняться (див. розділ 1.3.3.3).

Підготовка різних видів горючих відходів чи відходів з теплотворними фракціями, які можна відділити для використання у якості палива, зазвичай здійснюється за межами цементного заводу. Ці відходи зазвичай підготовлюються постачальником чи



організаціями, що спеціалізуються на переробці відходів, на спеціальних об'єктах (установках) оброблення відходів таким чином, щоб їх можна було відразу використовувати в цементних печах без додаткової обробки на цементному заводі. Крім того, перед використанням у цементній печі доставлені відходи також систематично перевіряються і аналізуються персоналом цементного заводу. Для перевірки різних характеристик якості використовується спеціальне лабораторне обладнання.

Технології, що використовуються для підготовки і змішування палива з відходів з метою досягнення певних рівнів якості залежать від матеріалу, що завантажується в систему, та вимог користувачів. Навіть такі відходи, як відходи конкретних виробництв, переробляються і перемішуються перед використанням на установках, що працюють на відходах, щоб гарантувати однорідність суміші з практично постійними показниками якості, такими як теплові властивості та хімічний склад. Лише в деяких випадках відходи можна використовувати в тому вигляді, в якому вони були доставлені, без додаткової обробки – це стосується, наприклад, використаних покришок та відпрацьованого мастила. Будь-які неоднорідні відходи, як-от змішані тверді відходи з різних джерел або відділені фракції змішаних комунально-побутових відходів, потребують більш ретельного моніторингу для отримання надійної якості з постійно малою кількістю забруднюючих речовин, що потрапляють у систему.

Важливими характеристиками та параметрами палива з відходів є питома теплотворна здатність, а також вміст води, золи, сірки, хлору та важких металів (особливо ртуті, кадмію та талію). Крім того, велике значення має придатність палива для пальників. Хлор може негативно впливати на процес виробництва. Тому прийнятна концентрація хлору залежить від конкретної ситуації на об'єкті, проте ця концентрація підтримується настільки низькою, наскільки це можливо, щоб уникнути проблем з роботою пічної системи – наприклад, забиття підігрівача. Якщо в систему вводиться великий об'єм хлору, може бути необхідно влаштувати обхідну лінію для хлору для уникнення корозії, забиття, зупинки системи, тощо (див. розділ 1.2.5.4.1). Типові концентрації хлору варіюються в діапазоні <math><0,5 - 2\%</math>. У країнах ЄС-27 розроблено окремі системи та технічні вимоги для оцінки та контролю придатності палива з відходів – наприклад, розроблені списки максимальних рівнів забруднюючих речовин, за яких вибрані види відходів дозволено використовувати у процесі випалювання клінкеру. У технічних вимогах враховано аспекти, актуальні для конкретних заводів, які базуються як на вимогах до технологічних процесів на конкретному заводі, так і на дозволах. Крім того, у технічних вимогах встановлюються технічні норми постачання рідкого палива з відходів. Приклад внутрішніх технічних вимог до палива з відходів описано у розділі 6.2.2.1 та у Таблиці 6.9. Крім того, у розділі 6.2.2.1.1 наведено приклади вхідних критеріїв для різних речовин у складі належних видів палива, отриманих з відходів, прийнятих у деяких країнах ЄС.

У інших системах, що використовуються, увага зосереджується головним чином на вмісті металів (див. розділ 1.2.4.3.2.1). Слід зазначити, що можна використовувати й інші матеріали, які відповідають не всім цим умовам. У разі використання шламу зі стічних вод або деревних відходів слід здійснювати систематичний моніторинг кількості ртуті, що вводиться в систему, оскільки можливі викиди ртуті.

Крім того, паливо з відходів повинно бути доступним у достатній кількості. Вибір джерела – це перший крок, який потрібно врахувати при організації потоків з єдиного матеріалу, щоб зменшити кількість матеріалів, які можуть призвести до проблем у роботі або з якістю у процесі виробництва цементу.

При виборі палива (випоного або з відходів) слід враховувати вимоги до якості продукції. Відповідно, існують обмеження на типи та кількість різних видів палива з відходів, які підходять для використання у виробництві цементу. Ці обмеження значно залежать від обставин на конкретному об'єкті [75, Естонія, 2006], [76, Німеччина, 2006], [89, ERFO, 2005], [103, SEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

Корисна інформація про переробку відходів міститься у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для переробки відходів, у якому, наприклад, описано приклади технічних вимог до відходів, які можуть бути прийняті у якості палива для цементних печей у деяких країнах [48, Європейська комісія, 2005].

### 1.2.4.3.2.1 Вміст металів у відходах

Вміст металів у відходах різниться залежно від місця походження відходів. У багатьох європейських країнах регулюючі органи та/або представники галузі склали переліки максимально допустимих рівнів речовин у різних відходах, які можна використовувати як паливо та/або сировину. Приклади типових діапазонів вмісту металів та типових вхідних критеріїв для різних речовин, що містяться у придатних видах палива з відходів, у різних країнах Європи наведено в розділі 6.2.2.1.1. У інших офіційно визнаних екологічних показниках для конкретних відходів можуть зустрітися й інші значення. Проте погодженого порогового значення не існує, оскільки, залежно від місцевої ситуації, застосовуються різні критерії. До критеріїв, що застосовуються, можуть належати:

- національні політики та законодавство у сфері охорони довкілля;
- значимість впливу цементної промисловості у контексті регіонального промислового розвитку;
- зусилля, потрібні для узгодження регіональних законів та стандартів у сфері охорони довкілля;
- вміст речовин у традиційних видах сировинних матеріалів та відходів;
- умови на заводі та викиди з нього;
- альтернативні способи переробки наявних видів відходів;
- необхідні мінімальні значення питомої теплотворної здатності;
- вимоги до якості цементу.

### 1.2.4.3.3 Зберігання та операції поводження з відходами

Паливо з відходів зазвичай готується на спеціальних об'єктах (установках) оброблення відходів. Доставлені відходи потрібно зберігати на цементному заводі, і потім відмірювати їх пропорції для подавання у цементну піч. Оскільки запаси відходів, придатних для використання у якості палива, як правило, мінливі, у той час як ринки відходів стрімко розвиваються, бажано сконструювати багатоцільові установки для зберігання/підготовки.

Рідкі палива з відходів – це переважно небезпечні види відходів. Це потрібно враховувати у поводженні з рідким паливом, отриманим з відходів, – наприклад, при його зберіганні та подаванні в систему (див. розділ 1.2.4.3.1.2) [76, Німеччина, 2006]. Крім того, у разі використання палива з відходів, отриманого з попередньо перероблених та відсортованих фракцій відходів, може виявитися доцільно організувати керування безпекою для потенційно самозаймистих матеріалів.

Корисна інформація про зберігання матеріалів також наведена у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для викидів зі складів [96, Європейська комісія, 2006].

## 1.2.5 Випал портландцементного клінкеру

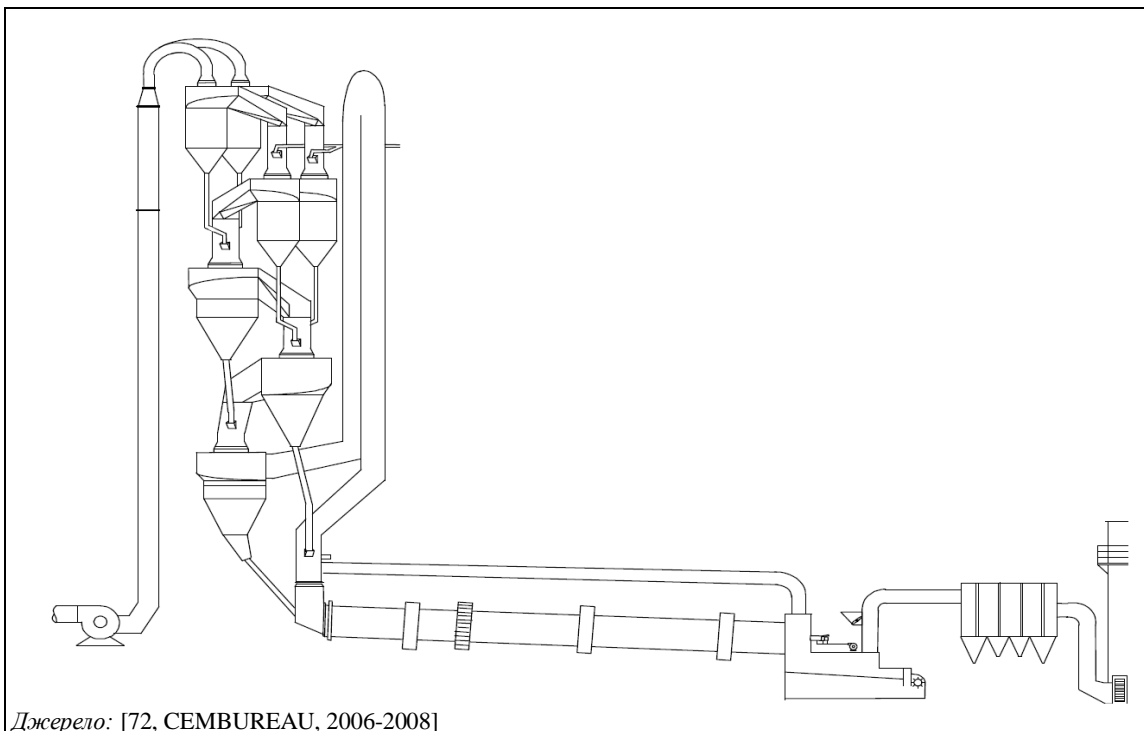
Ця частина технологічного процесу найбільш важлива з точки зору потенційних викидів та якості і вартості продукції. У процесі випалювання клінкеру сировинна мука (або шлам сировинної муки у мокрому процесі) подається в обертову пічну систему, де висушується, підігрівається, кальцинується і спікається у цементний клінкер. Клінкер охолоджується повітрям, а тоді передається на склад.

У процесі випалювання клінкеру необхідно забезпечити високі температури технологічного процесу для перетворення сировинної суміші у цементний клінкер. Температуру матеріалу, що випалюється в печі, у зоні спікання обертових печей обов'язково потрібно підтримувати у діапазоні від 1400 до 1500 °С, а температуру полум'я – на рівні 2000 °С. Крім того, клінкер потрібно випалювати в окисних умовах. Тому у зоні спікання печі для виготовлення цементного клінкеру має бути надлишок повітря.

При виробництві білого цементу у процесі випалювання в зоні спікання створюються температури до 1600 °С, залежно від складу сировинної суміші та потрібного складу готового продукту. Температури полум'я повинні бути вищими, ніж 2000 °С, оскільки за цих умов у сировині відсутні спікальні компоненти, які можуть змінити колір продукції. Загалом тут підтримуються відновлювальні умови для запобігання окисненню деяких компонентів, які можуть забарвити клінкер.

Крім того, для уникнення забруднення клінкеру обов'язково слід вибрати беззоле паливо та вогнетривкі конструкції на основі талькомагнезиту або інших магнезитів зі шпінеллю у якості в'язучої речовини. Якість білого цементу суттєво залежить від технології виробництва [119, Соколов, 2001], [120, Іспанія, 2007], [138, Італія, 2007].

Обертова піч була введена близько 1895 року, і з того часу стала центральним елементом усіх сучасних установок виробництва клінкеру. Вертикальні шахтні печі досі використовуються для виробництва вапна, проте лише у кількох країнах їх використовують для виробництва цементного клінкеру, і лише на невеликих заводах.



Джерело: [72, CEMBUREAU, 2006-2008]

**Рисунок 1.10.** Схема підігрівача / попереднього кальцинатора / печі з колосниковим холодильником

Перші обертові печі були довгими печами, що працювали за мокрим способом, у яких весь тепловий процес поглинання тепла протікав у самій печі. З винайденням сухого процесу робота печі була оптимізована: були впроваджені технології, що дозволяли виконувати сушіння, підігрівання та кальцинування не в самій обертовій печі, а у стаціонарній установці, як показано на Рисунку 1.10 вище.

Основою обертової печі є сталеві труби з відношенням довжини до діаметру від 10:1 до 38:1. Опорою для труби слугують кілька – від двох до семи (або більше) – базових вузлів. Труба розташована під нахилом від 2,5 до 4,5%. Привід обертає піч навколо її осі зі швидкістю від 0,5 до 5,0 обертів на хвилину. Завдяки поєднанню нахилу труби та обертання матеріал повільно рухається уздовж труби. Для того, щоб обертова піч витримувала дуже високі пікові температури, вся її поверхня футерована жаростійкою цеглою (вогнетривким матеріалом). Усі довгі та деякі короткі печі обладнані внутрішнім устаткуванням (ланцюгами, хрестовинами, піднімачами) для покращення теплопередачі.

Залежно від технологічного процесу, сировини, тощо у різних місцях внутрішньої поверхні печі можливе нашарування матеріалу у перехідних процесах. Такі нашарування називаються кільцями і можуть утворюватися на завантажувальному кінці (гіпсові кільця), біля зони спікання (клінкерні кільця) або на кінці виходу продукту (золоті кільця). Останні два типи кілець можуть раптово відірватися, у результаті чого з печі різко випліскується гарячий низькоякісний матеріал, який потім може бути перероблений або забракований як відходи. Матеріал також може нашаруватися на циклонах та колосниках підігрівальних печей, а це може призвести до їх забивання.

Для цих типів печей слід зазначити, що проблеми можуть виникнути у випадках, коли разом з матеріалом, що завантажується в піч, та/або паливом у піч потрапляє надто велика кількість циркулюючих сполук (хлоридів, сірки, лугів) – див. розділи 1.2.4.3.2 та 1.2.5.3.4).

### 1.2.5.1 Випал у печі

Паливо, завантажене через основний пальник, створює основний факел з температурами полум'я близько 2000 °С. З міркувань оптимізації процесу потрібно передбачити можливість регулювання факела в певних межах. У сучасних пальниках з опосередкованим спалюванням задавання форми факела та регулювання здійснюється за допомогою первинного повітря (10 – 15% загального об'єму повітря, що надходить у зону горіння).

Потенційні точки живлення для подавання палива в пічну систему такі:

- через основний пальник на вихідному кінці обертової печі;
- через живильний жолоб у перехідній камері на впускному кінці обертової печі (для грудкового палива);
- через допоміжні пальники до каналу стояка;
- через пальники попереднього кальцинатора до попереднього кальцинатора;
- через живильний жолоб до попереднього кальцинатора (для грудкового палива);
- через клапан на серединній частині печі у випадку довгих печей, що працюють за мокрим та сухим способом (для грудкового палива);
- через кінець ґратки печі Леполя.

На заводах, що працюють на вугіллі / нафтовому коксі, використовується випал як прямим, так і опосередкованим нагріванням. Заводи з прямим випалом працюють без зберігання дрібного вугілля та відмірювання дрібного вугілля. Пилоподібне паливо вдувається безпосередньо в піч з продувним повітрям печі, що виконує функцію як носія палива, так і первинного повітря (для регулювання форми факела). Заводи з прямим випалом мають ряд недоліків. Зокрема, втрати тепла в пічній системі становлять близько 200 – 250 МДж/тону клінкеру (на 6 – 8% більше, ніж у сучасних пічних системах). Тому системи з прямим випалом зараз встановлюються рідко.

Мазут з належною в'язкістю і тиском вприскується в піч через розпилювальну форсунку для створення, наприклад, основного факела. Форма факела регулюється головним чином за допомогою багатоканальних пальників з розташованою по центру головкою для розпилення мазуту.

Пічні пальники для природного газу конструюються за багатоканальним принципом – таким чином, газ заміняє не лише вугілля або мазут, а й первинне повітря.

Багатоканальні пальники також можуть бути розраховані на використання різних типів палива з відходів (див. розділ 1.2.4). Приклад зображено на Рисунку 1.11.



Джерело: [107, Бельгія, 2006]

Рисунок 1.11. Приклад багатоканального пальника

### 1.2.5.2 Довгі обертові печі

У довгі обертові печі можна завантажувати шлам, дроблений фільтраційний кек або суху сировинну муку, тож вони підходять для всіх типів технологічних процесів. Найдовші довгі печі мають відношення довжини до діаметру 38:1, а їх довжина може перевищувати 200 м. Ці величезні агрегати виробляють близько 3 600 тонн продукції /добу за допомогою мокрого технологічного процесу (Бельгія, Велика Британія, Співдружність Незалежних Держав (СНД)). Довгі обертові печі розраховані на сушіння, підігрівання, кальцинування та спікання, тож до них потрібно додати лише систему живлення та холодильник. У верхній частині довгих печей встановлені ланцюгові завіси та нерухомі конструкції для покращення теплопередачі.

Печі, що працюють за мокрим процесом, використовуються з 1895 року і є найстарішим типом обертових печей, що нині використовуються у виробництві цементного клінкеру. Мокра підготовка сировини спочатку використовувалася тому, що рідкий матеріал було легше гомогенізувати. Матеріал, що завантажується в піч, яка працює за мокрим способом, зазвичай містить від 32 до 40% води. Така кількість води необхідна для підтримання рідинних властивостей матеріалу, що завантажується в піч. Потім цю воду необхідно випарувати в спеціально спроектованій зоні сушіння у впускній секції печі, де споживається значна частка тепла, утвореного внаслідок згоряння палива. Ця технологія споживає багато тепла, а це призводить до великих об'ємів викидів газоподібних продуктів згоряння та водяної пари.

Довгі печі, що працюють за сухим процесом, були розроблені у США на основі сухих систем гомогенізації з періодичним завантаженням для підготовки сировини. У Європі встановлено лише кілька таких печей, оскільки вони споживають багато палива.

### 1.2.5.3 Обертові печі обладнані запічними теплообмінними пристроями

Обертові печі обладнані запічними теплообмінними пристроями, мають типове відношення довжини до діаметру від 10:1 до 17:1. Існує два типи теплообмінників: колосникові теплообмінники та циклонні теплообмінники.

#### 1.2.5.3.1 Технологія колосникового теплообмінника

Технологія колосникового теплообмінника, також відомого як піч Леполя, була винайдена у 1928 році. Це була перша спроба перенести частину процесу клінкероутворення у стаціонарну установку за межами печі. Це дало змогу зробити піч коротшою, а отже, зменшити втрати тепла і збільшити енергоефективність.

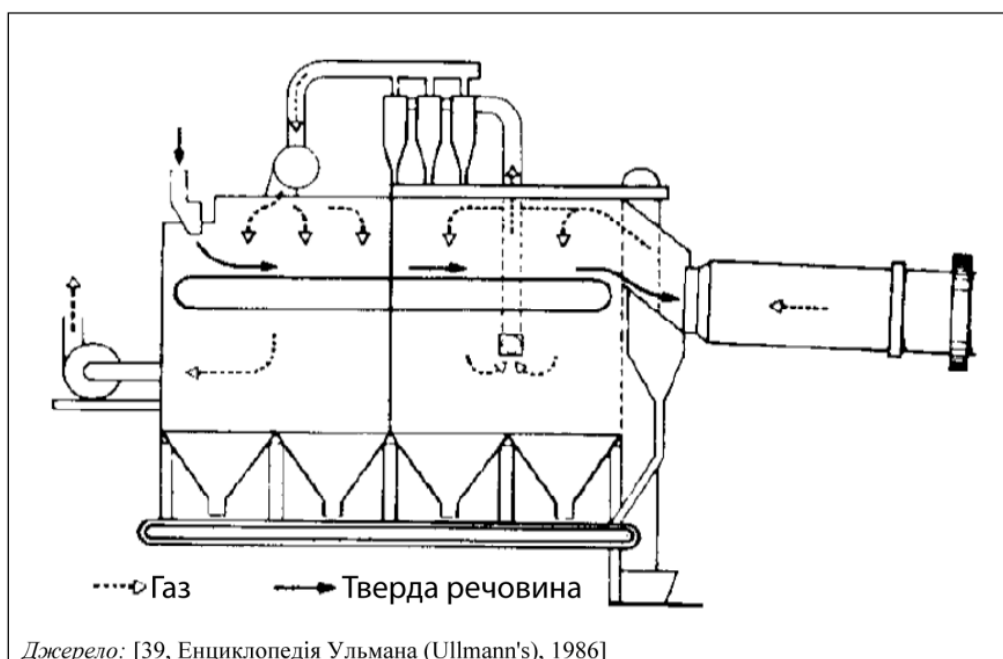


Рисунок 1.12. Колосниковий теплообмінник

У колосниковому теплообміннику (див. Рисунок 1.12 ) гранули, утворені з сухої сировинної муки в дисковому грануляторі (напівсухий процес) або з фільтраційних кеків, отриманих з мокрого шламу (напівмокрый процес), подаються на горизонтальний рухомий колосник, який рухається через закритий тунель. Тунель розділений на камеру гарячих газів та сушильну камеру перегородкою з отвором для колосника. Вентилятор витягує відхідні гази з обертової печі у верхню частину теплообмінника крізь шар гранул у камері гарячих газів, а потім через циклони у проміжному пиловловлювачі. У цих циклонах уловлюються великі частки пилу, які б інакше призводили до зношування вентилятора. Далі наступний вентилятор витягує газ у верхню частину сушильної камери через вологий шар гранул і, нарешті, викидає його в пиловловлювач. Для досягнення оптимального термічного ККД напівмокрі колосникові теплообмінники можуть бути обладнані системами потрібного проходження газу, а для сушіння сировинних матеріалів використовується більш холодне відпрацьоване повітря. Максимальний розмір побудованих агрегатів повинен відповідати продуктивності 3 300 тонн/добу для пічної системи, що працює за напівмокрим способом.

Відхідні гази обертової печі входять у теплообмінник з температурою 1000 – 1100 °С. По мірі їх проходження через шар матеріалу у камері гарячого газу відхідні гази охолоджуються до 250/300 °С і виходять з сушильної камери з температурою 90 – 150 °С. Матеріал, який потрібно випалити, нагрівається приблизно до 150 °С у сушильній камері та до 700 – 800 °С у нагрівальній камері.

### 1.2.5.3.2 Технологія циклонного теплообмінника

Винайдення циклонного теплообмінника на початку 1930-х років стало значним прогресом. Підігрівання та навіть часткове кальцинування сухої сировинної муки (сухий/напівмокрый процеси) здійснюються шляхом підтримання сировинної муки у зваженому стані за допомогою гарячого газу з обертової печі. Значно більша контактна поверхня забезпечує майже повний теплообмін, принаймні теоретично.

Існують різні системи циклонних теплообмінників. Приклади наведені на Рисунку 1.13 та Рисунку 1.14. Вони зазвичай складаються з кількох (від чотирьох до шести) циклонних ступенів, розташованих один над одним у вигляді колони висотою 50 – 120 м. Крайній верхній ступінь може складатися з двох паралельних циклонів для кращого відділення пилу. Відхідні гази, що виходять з обертової печі, проходять через циклонні ступені знизу вгору. Перед крайнім верхнім циклонним ступенем до відхідних газів додається суха порошкова суміш сировини. Вона відділяється від газу в циклонах і знову змішується з ними перед наступним циклонним ступенем. Ця процедура повторюється на кожному ступені, поки матеріал нарешті не вивантажиться з останнього ступеня в обертову піч. Це поперемінне змішування, розділення та повторне змішування за вищої температури необхідне для оптимальної теплопередачі.

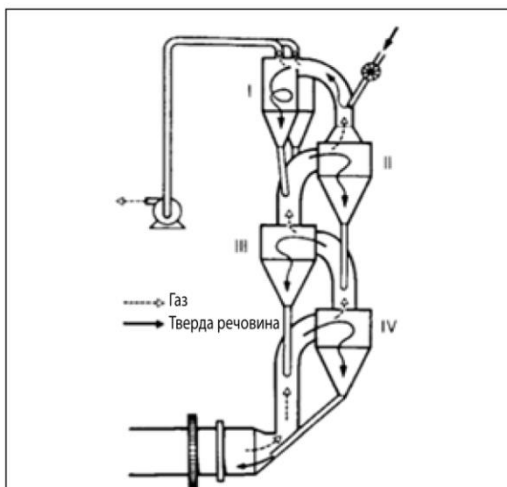


Рисунок 1.13. Циклонний теплообмінник

Джерело: [39, Енциклопедія Ульмана, 1986]

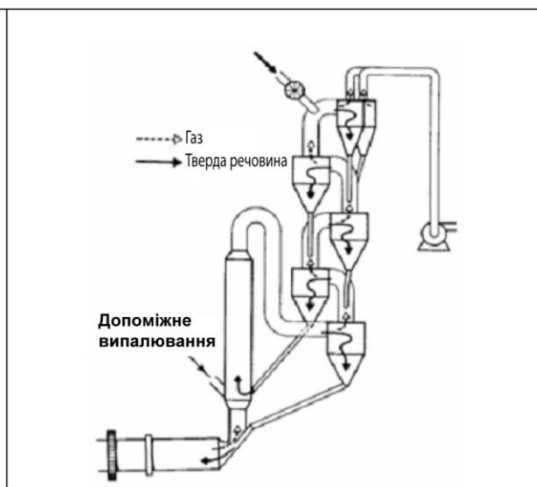


Рисунок 1.14. Циклонний теплообмінник та декарбонізатор

Джерело: [39, Енциклопедія Ульмана, 1986]

### 1.2.5.3.3 Шахтно-циклонні теплообмінники

Після впровадження технології циклонного теплообмінника була побудована значна кількість шахтно-циклонних теплообмінників, з огляду на їх теоретично кращі теплообмінні властивості. Проте у таких теплообмінниках сировинну муку значно важче рівномірно розподілити в газі, а це означало, що фактичні робочі показники були набагато гірші, ніж очікувалося, і від технології з використанням самих лише шахтних ступенів зрештою відмовилися на користь гібридних систем з циклонними ступенями або багатоступеневими чисто циклонними теплообмінниками. Деякі з цих гібридних установок досі експлуатуються, проте більшість із них були перетворені в чисто циклонні теплообмінники.

Шахтний ступінь значно менш вразливий до проблем з нашаруванням, ніж циклонний ступінь, і це може бути перевагою для нижнього ступеня, де присутня надмірна кількість циркулюючих сполук (хлоридів, сірки та лугів). Гібридні теплообмінники з шахтним нижнім ступенем досі можна придбати для нових заводів.

Типова потужність печей з шахтно-циклонним теплообмінником – до 1 500 тонн/добу, у той час як гібридні системи можуть виробляти 3 000 тонн продукції /добу, або й більше.

### 1.2.5.3.4 Теплообмінники з чотирьохступеневою системою циклонів

Система теплообмінників з чотирьохступеневою системою циклонів (циклонний теплообмінник, див. Рисунок 1.13) була стандартною технологією у 1970-х роках, коли було збудовано багато заводів з потужністю у діапазоні від 1 000 до 3 000 тонн/добу. Відхідні газы з температурою близько 300 – 400 °С на верхньому циклонному ступені теплообміннику зазвичай використовуються для сушіння сировинних матеріалів.

У момент, коли сировинна мука входить в обертову піч, кальцинування вже приблизно на 30% завершено, оскільки матеріал, що завантажується в піч, вже нагрітий до температури близько 850 °С відхідними газами. У минулому з теплообмінниками з чотирьохступеневою системою циклонів виникали серйозні проблеми у випадках, коли разом з матеріалом, що завантажувався в піч, та/або паливом у піч потрапляла надмірна кількість циркулюючих сполук (хлориди, сірка, луги). Через присутність сильно насичених циклічних сполук цих компонентів у циклонах та на стінках каналів утворювалися нашарування, які призводили до забиття та зупинок печі, що тривали кілька днів. Для вирішення цієї проблеми часто влаштовується обхідна лінія для пічного газу, тобто відведення частини газового потоку, що виходить з печі, несучи в собі велику кількість часток, таким чином, щоб він рухався в обхід циклонної системи. Цей обхідний газ охолоджується з метою конденсації лугів, а тоді пропускається через пиловловлювач перед викиданням. У той час як в деяких регіонах для контролю вмісту лугів у клінкері обхідний пил та частину пічного пилу необхідно відвозити на звалище, у всіх інших випадках він подається назад у процес виробництва.

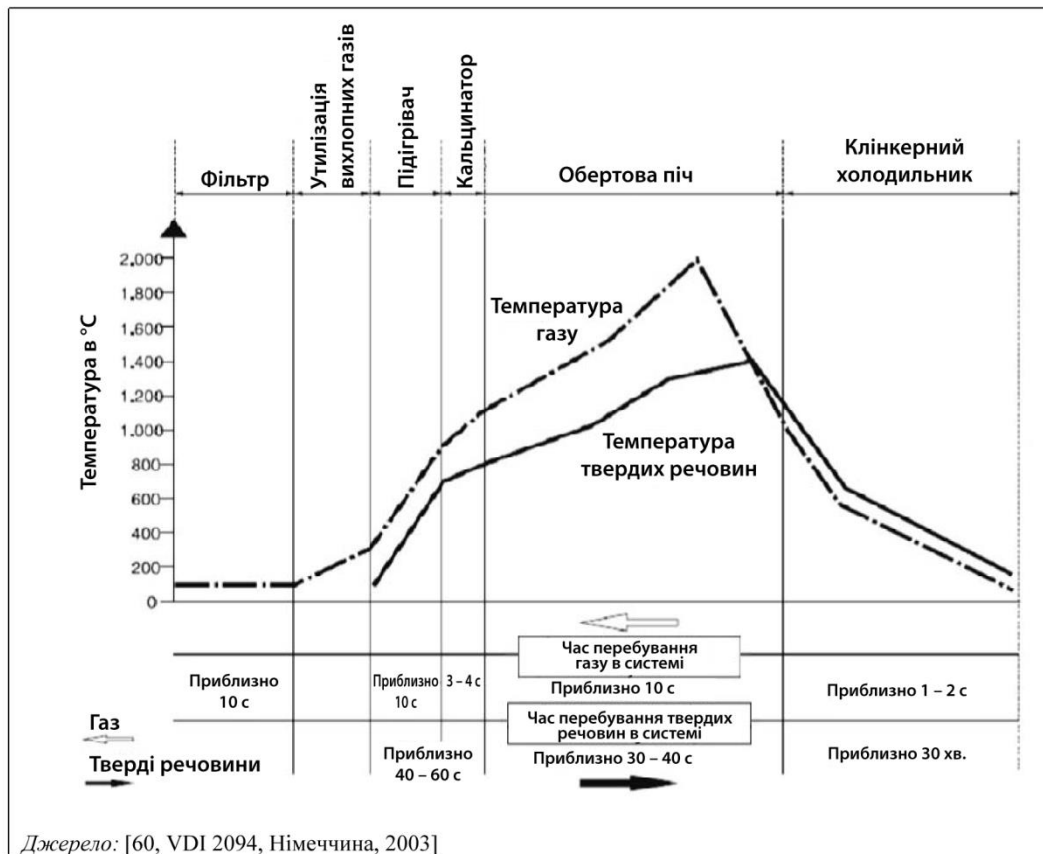
Майже всі чотиріступеневі установки підігрівання у зваженому стані працюють з обертовими печами на трьох опорах. Така конструкція вважається стандартною приблизно з 1970 року. Збудовано печі діаметром від 3,5 до 6 м та з відношенням довжини до діаметру в діапазоні від 13:1 до 16:1. Цей тип печі механічно простіший, ніж довгі печі, що працюють за мокрим та сухим способом, і на сьогодні є, напевне, найбільш поширеним типом печі.

### 1.2.5.4 Обертові печі з циклонним теплообмінником та декарбонізатором

Технологія з декарбонізатором доступна у цементній промисловості приблизно з 1970 року. У цій процедурі підведене тепло розподіляється між двома точками. Первинне споживання палива відбувається в зоні випалювання печі. Вторинне випалювання відбувається у спеціальній камері згорання між обертовою піччю та теплообмінником. У типовій печі з декарбонізатором в цій камері можна спалити до 65% всього палива. Це зумовлено значно довшим часом перебування гарячої сировинної муки, наявністю відхідних газів печі у нижній ділянці циклонного теплообмінника та використанням третинного повітря. Енергія, по суті, витрачається на кальцинування сировинної муки, яке входить у піч вже майже повністю кальцинованим. Можна досягти рівнів кальцинування, що значно перевищують 90%. Гаряче повітря для забезпечення згорання в кальцинаторі

підводиться по каналу з холодильника. Матеріал виходить з кальцинатора, маючи температуру близько 870 °С. Температурні профілі газу та твердих речовин у пічній системі з циклонним теплообмінником показані на Рисунку 1.15.





**Рисунок 1.15.** Температурні профілі газу та твердих речовин у пічній системі з циклонним теплообмінником

На Рисунок 1.14 зображене застосування цієї процедури у печі з циклонним теплообмінником та декарбонізатором. В принципі, вторинне випалювання також можна застосовувати в печі з колосниковим теплообмінником. Попереднє кальцинування збільшує потужність за клінкером для даного розміру обертової печі.

Пічні системи, у складі яких є до п'яти ступенів циклонного підігрівача та попередній кальцинатор, вважаються стандартною технологією для нових заводів, що працюють за сухим способом. Приклад наведено на Рисунок 1.16. Технологія кальцинування для випадку, коли в якості палива використовуються відходи, показана на Рисунок 1.17.

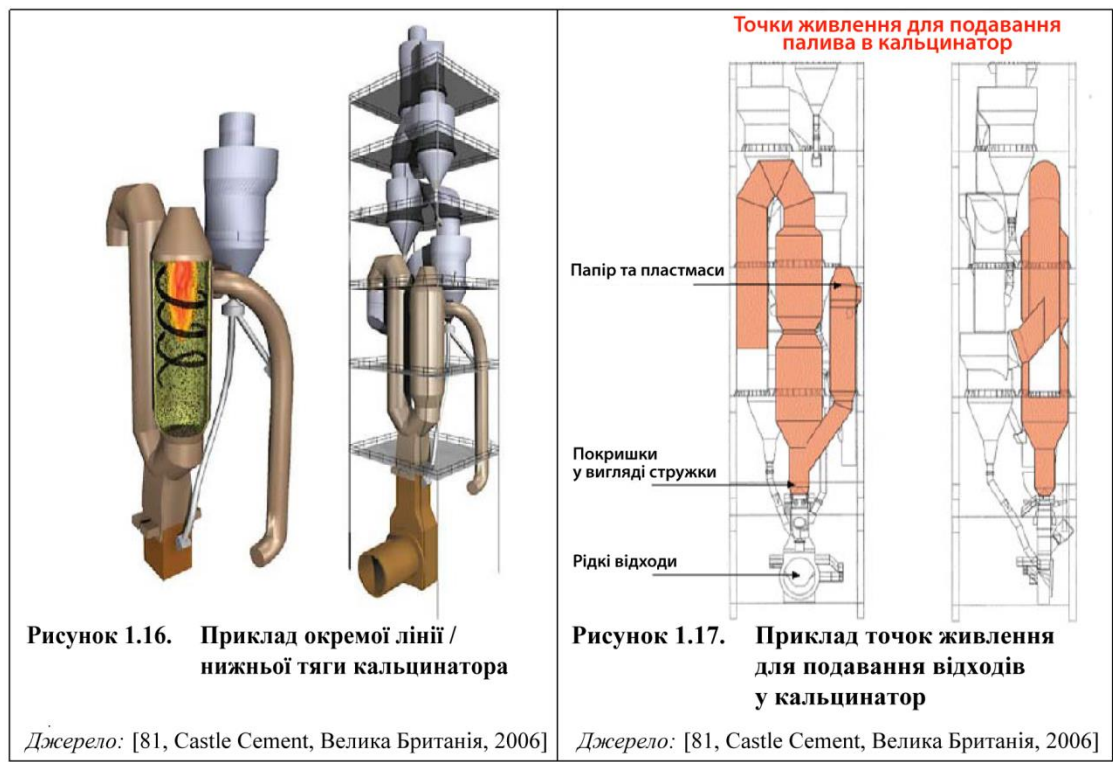


Рисунок 1.16. Приклад окремої лінії / нижньої тяги кальцинатора

Джерело: [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006]

Рисунок 1.17. Приклад точок живлення для подавання відходів у кальцинатор

Джерело: [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006]

Розмір нового заводу визначається головним чином прогнозним розвитком ринку, але також і зростанням ефективності за рахунок зростання виробництва. На сьогодні типова потужність агрегату на нових заводах у Європі становить від 3 000 до 5 000 тонн/добу. З технічної точки зору можна будувати й більші агрегати потужністю до 15 000 тонн/добу, а у 2007 році на азійських ринках працювало кілька печей потужністю 10 000 тонн/добу.

Системи попереднього кальцинування раніше склалися лише з чотирьох ступенів підігрівача, і, відповідно, температури відхідних газів та споживання палива були вищими. Якщо вміст вологи у природній сировині низький, кращим варіантом можуть виявитися шестиступеневі підігрівачі, особливо у поєднанні з уловлюванням пилу за допомогою рукавного фільтра.

Якщо у систему подається надмірна кількість циркулюючих сполук, для підтримання безперервної роботи печі необхідно передбачити обхідну лінію для пічних газів. Проте через різні характеристики текучості газу обхід набагато ефективніший у печах з попереднім кальцинуванням, ніж у прямоточних печах з підігрівом.

Незважаючи на те, що сировинна мука входить у піч вже на 75 – 95% кальцинованою, більшість печей з попереднім кальцинуванням все рівно обладнані обертовою піччю з зоною кальцинування – наприклад, з відношенням довжини до діаметру від 13:1 до 16:1.

#### 1.2.5.4.1 Система байпасс

При подаванні в пічну систему сировини, а також палива (у тому числі з відходів), що містять хлор, сірку та луги, внутрішня циркуляція між піччю та підігрівачем діє як цикл насичення. За вищих концентрацій цих речовин такий цикл призводить до утворення відкладень в зоні входу печі, кальцинатора та двох нижніх рівнів. Оскільки передумовою енергоефективного виробництва клінкеру є рівномірна робота печі, необхідно уникати зупинок печі внаслідок утворення нашарування. Тому за посиленої циркуляції лугів, хлору та, меншою мірою, сірки на вході печі необхідно влаштувати обхідну лінію для газу. При відведенні частини технологічного газу з печі викидаються не лише хлор, сірка та луги, а й інші речовини. Випускання з печі гарячої сировини та гарячих газів збільшує питоме споживання енергії приблизно до 6 – 12 МДж/тону клінкеру на один процент видаленого газу на вході печі. Типове співвідношення обходу – до 15% для обхідного потоку хлору та до 70% для обхідного потоку сірки. Властиве для цього процесу промивання SO<sub>x</sub>, що відводиться разом з обхідним газом, залежить від таких факторів:

- кількість реактивного вапна;
- час перебування в системі за високих температур понад  $> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- час перебування в системі за низьких температур  $< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  у присутності води (пари).

Система байпас може створювати додаткові викиди залежно від її конфігурації та призводити до додаткового споживання теплової енергії [76, Німеччина, 2006], [86, EURITS, 2006], [89, ERFO, 2005], [103, SEMBUREAU, 2006].

#### 1.2.5.5 Шахтні печі

Для виробництва цементу в Європі використовується кілька шахтних печей. Печі цього типу мають вигляд вертикального циліндра з вогнетривкою футеровкою, діаметром 2 – 3 м та висотою 8 – 10 м. Зверху в них завантажуються гранули сировинної муки та дрібнозернисте вугілля чи кокс. Матеріал, що випаюється, проходить через коротку зону спікання у верхній, дещо розширеній частині печі. Після цього він охолоджується повітрям, що вдувається знизу для згорання палива, і виходить з нижнього кінця печі на розвантажувальну колосникову гратку у вигляді клінкеру.

Шахтні печі виробляють менше 300 тонн клінкеру на добу. Вони економічно ефективні лише для невеликих заводів, і тому їх кількість зменшується.

#### 1.2.5.6 Відхідні газы печей

У всіх пічних системах відхідні газы зрештою проходять через пристрій контролю забруднення повітря (електрофільтр або рукавний фільтр) для відділення пилу, і лише після цього виходять у головну димову трубу.

У сухому технологічному процесі відхідні газы можуть мати порівняно високу температуру і можуть забезпечувати теплом сировинний млин під час його роботи (сумісна робота). Якщо сировинний млин не працює (пряма робота), газы зазвичай охолоджуються розпоршеними струменями води у колоні-кондиціонері, а тоді надходять у пиловловлювач – як для зменшення їх об'єму, так і для покращення їх осадних характеристик.

##### 1.2.5.6.1 Відключення за рівнем CO

Монооксид вуглецю може утворюватися з будь-яких органічних речовин, що містяться у сировинних матеріалах, та зрідка внаслідок неповного згорання палива. Частка монооксиду вуглецю, що утворилася з сировинних матеріалів внаслідок підігрівання, викидається разом з відхідними газами.

Рівні CO у цементних (і вапняних) печах вкрай важливо контролювати у тих випадках, коли для зниження викидів часток використовують електрофільтри, щоб концентрації гарантовано були значно нижчими, ніж нижня вибухонебезпечна межа. Якщо рівень CO в електрофільтрі перевищує певне значення, як показано в Таблиці 1.38 (див. розділ 1.4.5.3), то електрична система відключиться (вимкнеться) для усунення ризику вибуху. Це призводить до неконтрольованих викидів часток з печі. Відключення за рівнем CO може бути спричинене роботою системи спалювання в неусталеному режимі. Це іноді стається при подаванні в систему твердого палива, тож системи подавання твердого палива повинні бути сконструйовані таким чином, щоб не допускати різкого викидання палива у пальник. З цієї точки зору особливо важливим фактором є вміст вологи у твердому паливі, який необхідно ретельно контролювати, щоб уникнути затримок у роботі чи забивання систем підготовки та подавання палива.

Вказівки щодо контролю відключень за рівнем CO наведені у розділі 6.2.6.

### 1.2.5.7 Клінкерні холодильники

Клінкерний холодильник – це невід’ємна складова пічної системи, яка справляє вирішальний вплив на робочі показники та економність вогнеобробної установки. Холодильник виконує дві функції: регенерувати якомога більше тепла з гарячого (1450 °С) клінкеру, щоб повернути його в технологічний процес, та знизити температуру клінкеру до рівня, сумісного з наступним обладнанням на лінії.

Тепло відновлюється шляхом підігрівання повітря, що використовується для згорання палива при основному та допоміжному випалюванні, якомога ближче до термодинамічної межі. Проте цьому перешкоджають високі температури, вкрай висока абразивність клінкеру та його широкий гранулометричний діапазон. Швидке охолодження фіксує мінералогічний склад клінкеру для покращення його придатності до помелу та оптимізації реактивності цементу.

Типовими проблемами клінкерних холодильників є теплове розширення, зношування, неправильні потоки повітря та низький ступінь готовності до роботи: усе це заважає виконувати наведені вище вимоги. Існує два основні типи холодильників: обертові та колосникові.

У виробництві білого цементу використовуються інші типи холодильників, адаптовані до специфіки заводу для збереження відновлювальних умов під час охолодження клінкеру. Для підвищення якості клінкеру використовується безкиснева атмосфера на першому ступені відбілювання та швидке охолодження розпорошеним струменем води. Швидке охолодження білого клінкеру водою значно покращує його білизну. Необхідно уникати забруднення білого клінкеру хромовими компонентами та сильного окиснення на етапі охолодження [119, Соболев, 2001], [120, Іспанія, 2007], [138, Італія, 2007].

#### 1.2.5.7.1. Обертові холодильники

##### 1.2.5.7.1.1. Барабанні холодильники

Барабанний холодильник працює за тим же принципом, що й обертова піч, але з протилежним напрямком теплообміну. На виході печі, часто у зворотній конфігурації (тобто під піччю), встановлюється друга обертова труба з власним приводом. Вивантажений з печі клінкер проходить через перехідну головку, а потім надходить у холодильник, обладнаний піднімачами для розсіяння продукту у повітряному потоці. Охолодження повітряним потоком залежить від повітря, необхідного для згорання палива. Окрім швидкості, на робочі показники холодильника може впливати лише внутрішнє устаткування. При оптимізації піднімачів необхідно враховувати баланс між теплообміном (схемою розсіяння) та циклом руху пилу назад у піч.

##### 1.2.5.7.1.2. Планетарні (рекуператорні) холодильники

Планетарний (рекуператорний) холодильник – це особливий тип обертового холодильника. Кілька холодильних трубок, найчастіше від 9 до 11, прикріплені до обертової печі з розвантажувального кінця, як показано на Рисунку 1.18. Гарячий клінкер, що входить через отвори в кожусі печі, розташовані по колу в кожній точці, де до печі під’єднана холодильна трубка. Кількість охолоджувального повітря залежить від повітря, необхідного для згорання палива. Охолоджувальне повітря входить у кожну трубку з розвантажувального кінця, забезпечуючи протитечійний теплообмін. У барабанному холодильнику обов’язково має бути внутрішнє устаткування для підймання та розсіювання клінкеру. Змінні робочі параметри відсутні. Високий ступінь зношування та теплові удари в поєднанні з циклами руху пилу обумовлюють високу температуру клінкеру на виході, а крім того, нерідко спостерігається неоптимальна регенерація тепла. Температуру клінкеру на виході можна додатково зменшити лише шляхом вприскування води у холодильні трубки або на кожух.

Оскільки третинне повітря практично неможливо відібрати, планетарні холодильники не підходять для попереднього кальцинування. Проте їх можна використовувати для вторинного випалювання, маючи до 25% палива у зоні стояка печі.



Джерело: [45, Шорхт, 2006] [90, Угорщина, 2006]

**Рисунок 1.18. Приклад планетарного холодильника**

#### **1.2.5.7.2. Колосникові холодильники**

Охолодження в колосникових холодильниках досягається шляхом пропускання струменя повітря знизу вгору через шар клінкеру (шар спеченого клінкеру), що лежить на повітропроникному колоснику. Застосовуються два способи транспортування клінкеру: рухомий колосник та зворотно-поступальний колосник (колосник, що рухається покровоно, зі штовхальними краями).

Оскільки гаряче повітря з зони доохолодження не використовується для спалювання палива, його можна використовувати для сушіння, наприклад, сировинних матеріалів, добавок до цементу або вугілля. Якщо це відпрацьоване повітря з холодильника не використовується для сушіння, його необхідно належним чином очистити від пилу.

##### **1.2.5.7.2.1. Холодильники з рухомим колосником**

У холодильниках цього типу клінкер транспортується на рухомому колоснику. Цей колосник має такі ж конструктивні особливості, як колосник підігрівача (печі Леполя). Охолоджувальне повітря вдувається вентиляторами у відсіки під колосником. Переваги цієї конструкції полягають у тому, що вона не порушує шар клінкеру (не робить покровоно рухів), а її пластини можна замінити, не зупиняючи піч. Через свою механічну складність та погану регенерацію, зумовлену обмеженою товщиною шару клінкеру (оскільки важко забезпечити ефективне ущільнення між колосником та стінками), цю конструкцію не використовують в нових установках приблизно з 1980 року.

##### **1.2.5.7.2.2. Холодильники зі зворотно-поступальним колосником**

У холодильнику зі зворотно-поступальним колосником клінкер транспортується шляхом покровоно штовхання шару клінкеру передніми краями рядів пластин, що чергуються. Відносне переміщення передніх країв забезпечується гідравлічними чи механічними (кривошипними) приводами, приєднаними до рядів через один. Від завантажувального до розвантажувального кінця рухається лише клінкер, але не колосник.

Пластини колосника (зазвичай 300 мм шириною) виготовлені з жаростійкої литої сталі і мають отвори для проходження повітря крізь них.

Охолоджувальне повітря вдувається вентиляторами під тиском 300 – 1000 мм водяного стовпа через відсіки, розташовані під колосником. Ці відсіки відокремлені один від одного для підтримання профілю тиску. Розрізняють дві зони охолодження:

- зона рекуператії, гаряче охолоджувальне повітря з якої використовується для спалювання палива в основному пальнику (вторинне повітря) та палива у попередньому кальцинаторі (третинне повітря);

- зона доохолодження, де додаткове охолоджувальне повітря охолоджує клінкер до нижчих температур.

Основні технічні особливості сучасних холодильників (залежно від постачальника):

- сучасні пластини з вбудованим, змінним або постійним, перепадом тиску, через які може проходити повітря, але не клінкер;
- примусова аерація через вентиляційні канали та балки;
- окремо регульовані зони аерації;
- фіксований завантажувальний отвір;
- ширші колосники, проте їх менше;
- валкова дробарка;
- теплові екрани.

У найбільших агрегатах, що нині експлуатуються, активна поверхня становить приблизно 280 м<sup>2</sup>, а охолоджувальна здатність – 10 000 тонн клінкеру на добу. Типовими експлуатаційними проблемами цих холодильників є розшарування та нерівномірний розподіл клінкеру, що призводить до незбалансованого співвідношення повітря та клінкеру, псевдозрідження дрібного клінкеру (утворення червоного потоку), а також нашарування (утворення «козлів») і далеко не ідеальний термін служби пластин.

### 1.2.5.7.2.3. Колосникові холодильники третього покоління

Впровадження та розробка сучасних технологій для холодильників зі зворотно-поступальними колосниками почалися близько 1983 року. Їх метою було розробити конструкцію, у якій би були усунені труднощі, характерні для традиційних холодильників, а отже, наблизитися ще на крок до оптимального теплообміну та компактніших холодильників, які б споживали менше охолоджувального повітря і потребували менших систем видалення пилу.

У 2000-х роках в цементній промисловості з'явилося нове покоління холодильників, що втілювало кардинально новий принцип охолодження принципу. Основна ідея полягала в тому, щоб розробити холодильник, у якому транспортування клінкеру та системи роздавання повітря були б відокремлені один від одного та оптимізовані. У порівнянні з холодильниками зі зворотно-поступальним колосником, у цих холодильниках зникла потреба в ущільнювальному повітрі, а розподіл повітря оптимізований у всіх режимах роботи.

Основні особливості цих типів холодильників (залежно від постачальника):

- один похилий чи горизонтальний фіксований колосник;
- транспортування клінкеру за допомогою траверс, рейок, рухомої підлоги чи подібних пристроїв, відокремлених від системи роздавання повітря;
- клінкер залишається на місці і не провалюється крізь колосник у відсік під колосником;
- зникла потреба в ущільнювальному повітрі, реалізовано автоматичне керування розподілом повітря;
- ефективніше транспортування клінкеру з кращим контролем проблем, пов'язаних з псевдозрідженням клінкеру (утворенням «червоного потоку»).

Ці типи холодильників підходять для роботи з цементними печами найбільшої потужності за клінкером.

### 1.2.5.7.3. Трубчасті гравітаційні холодильники

Було розроблено безпилловий доохолоджувач, відомий під назвою «гравітаційний холодильник», або «G-гравітаційний холодильник», який встановлюється за планетарним холодильником або коротким колосниковим рекуператором/холодильником. Охолоджувальне повітря ніколи не контактує з клінкером, оскільки теплообмін здійснюється шляхом спускання клінкеру через поперечні сталеві труби у шарі клінкеру, які, в свою чергу, охолоджуються за рахунок продування крізь них повітря.

### 1.2.5.8 Когенерація

На цементних заводах можна застосовувати генерування електроенергії та використання надлишкового тепла, що утворюється в процесі виробництва цементу.

Як правило, більшість тепла, що виділяється піччю для виробництва цементного клінкеру, використовується у таких процесах сушіння та сухого помелу:

- сушіння та помел/подрібнення сировинних матеріалів;
- сушіння шлаку;
- сушіння піску;
- сушіння та помел палива.

Заводи, на яких використовуються багатоступеневі циклонні підігрівачі для підігрівання у зваженому стані, – з попереднім кальцинатором чи без нього, – спроектовані з урахуванням характеру наявної сировинної продукції. Якщо сировина дуже мокра, для обробки матеріалу також використовується відпрацьований газ колосникового клінкерного холодильника.

Для видалення вологи з вапняної сировини потрібна кількість тепла, що залежить від геологічної будови та кількості сезонних опадів. Проте іноді утворюється надлишок тепла, не використаний для задоволення згаданих вище технологічних потреб. Слід зазначити, що цю мінливість слід враховувати при проектуванні доступності надлишкового тепла, а отже, технологій регенерації тепла.

Окрім централізованого опалення, надлишкове тепло можна використовувати для генерування електроенергії. Зазвичай ці процеси протікають з використанням води, яку слід використовувати економно за порівняно високої температури/тиску пари, якщо генерується електроенергія.

У німецькій цементній печі був вперше застосований органічний цикл Ренкіна (ORC) для комбінованого виробництва енергії з низькотемпературного відхідного тепла. Цей процес, по суті, базується на використанні пентану як рухомого теплоносія, що випаровується і утворює пару значно нижчої температури, ніж вода. Найбільш помітними перевагами цього процесу є проста робота, компактна конструкція та порівняно високі рівні ККД, яких можна досягти з джерелами тепла температурою менше 275 °С. Тому генерування електроенергії з надлишкового тепла, що утворюється у процесі виробництва цементу, можна вважати технічно доцільною альтернативою енергетичним установкам, що працюють на парі, якщо виконуються певні передумови.

Результати, отримані тим самим німецьким цементним заводом, демонструють, що в даному режимі роботи можна генерувати 1,1 МВт електроенергії. Цього вдалося досягти за допомогою клінкерного холодильника, що віддає 14 МВт відхідного тепла з відпрацьованим повітрям, з температурою відхідних газів 300 °С [76, Німеччина, 2006], [78, Е. Баатц + Дж. Хайдт (E. Baatz + G. Heidt) 2000], [79, Німеччина, 2001], [133, CEMBUREAU/Federhenn, 2007].

Приклади заводів та детальніша інформація про системи регенерації надлишкового тепла, що надходить з клінкерних холодильників або з відпрацьованими газами печей, шляхом його використання для централізованого опалення, комбінованого виробництва електроенергії за допомогою традиційного паросилового циклу або органічного циклу Ренкіна, які наразі експлуатуються, наведено у розділі 1.4.2.4 та у розділі 6.2.3.

### 1.2.6 Помел та зберігання цементу

#### 1.2.6.1. Складування клінкеру

Клінкер та інші компоненти цементу зберігаються в силосах або на закритих складах. Більші запаси можна зберігати під відкритим небом, якщо вжито необхідних запобіжних заходів проти утворення пилу.

Найбільш поширеними системами зберігання клінкеру є такі системи:

- поздовжні склади з вивантаженням під дією сили тяжіння (обмежений витратний запас);
- кругові склади з вивантаженням під дією сили тяжіння (обмежений витратний запас);
- силоси для зберігання клінкеру (великий витратний запас; під час забирання клінкеру з силоса при певних рівнях клінкеру можуть виникати проблеми з вібрацією землі);
- куполоподібні сховища для зберігання клінкеру (обмежений витратний запас).

### 1.2.6.2. Помел цементу

Портландцемент виготовляється шляхом сумісного помелу цементного клінкеру разом з сульфатами, такими як гіпс та ангідрит. Цементні суміші (композитні цементи) також містять інші компоненти, як-от гранульований шлак з доменних печей, зола-винос, природні або штучні різновиди пуцолану та вапняк, або інертні заповнювачі. Ці компоненти можуть перемелюватися разом з клінкером, або ж їх може бути потрібно висушувати і помелювати окремо. Установки помелу можуть бути розташовані окремо від заводів з виробництва цементу.

Вид процесу помелу цементу та принцип влаштування заводу, вибраний на конкретному об'єкті, залежить від того, який тип цементу на ньому виготовляються. Особливе значення мають здатність до помелу, вологість та абразивні характеристики компонентів конкретного типу цементу, що виготовляється.

Більшість млинів працюють за замкненим контуром, тобто можуть відділяти цемент потрібної тонини від матеріалу, що перемелюється, і повертати крупнозернистий матеріал у млин.

У виробництві білого цементу остаточний помел є одним з найважливіших етапів разом з вибором належних типів гіпсу високої чистоти. Для дрібнішого помелу та меншого часу помелу використовуються належні інтенсифікатори помелу (до 1%), які підвищують білизну на 5 – 7%. Крім того, у порівняно невеликих кількостях можуть використовуватися дрібно помелені мікрозаповнювачі, як-от білий мармур або кварцове скло, чистий силікагель, слюда або тальк, каолін (або метакаолін) чи порошки, що містять  $TiO_2$  у слідовій кількості [119, Соколов, 2001].

#### 1.2.6.2.1. Облік та дозування матеріалу, який подається у млин

Точність та надійність відмірювання і дозування за вагою компонентів, що подаються у млин, має велике значення для підтримання високого ККД системи помелу. У якості обладнання для відмірювання та дозування матеріалу, що подається у млини, в більшості випадків використовується стрічковий ваговий дозатор.

#### 1.2.6.2.2. Помел цементу

З огляду на розмаїття типів цементу, необхідних на ринку, найсучасніші системи помелу найчастіше обладнують динамічним повітряним сепаратором.

До поширених систем остаточного помелу належать такі системи:

- трубні млини з замкненим контуром (внесення мінеральних добавок доволі обмежене, якщо вони не висушені або не підсушені);
- вертикальні валкові млини (найкраще підходять для великого вмісту мінеральних добавок з огляду на їх сушильну потужність, найкраще підходять для окремого помелу мінеральних добавок);
- роликові преси (внесення мінеральних добавок доволі обмежене, якщо вони не висушені або не підсушені)ю

До інших систем остаточного помелу належать такі системи:

- трубні млини з торцевим виходом у розімкненому контурі;
- трубні млини з торцевим виходом у замкненому контурі та з механічним повітряним сепаратором чи циклонним повітряним сепаратором старіших поколінь;
- горизонтальні валкові млини.



*Кульові млини* (різновид *трубного млина*) доступні з діаметрами труби до 6 м та довжиною труби до 20 м. Залежно від очікуваної тонини помелу, використовуються сталеві кульки різних розмірів. Цей тип млина порівняно простий в експлуатації за стабільних умов роботи; для нього характерна висока експлуатаційна надійність та готовність до роботи. Мінеральні добавки з певним вмістом вологи також можна обмеженою мірою висушувати шляхом підведення гарячих газів у млин та використання тепла, що утворюється в процесі помелу. Проте у порівнянні з іншими типами млинів кульові млини демонструють вище питоме споживання енергії і займають останнє місце за енергоефективністю.

Принцип роботи *вертикальних валкових млинів* базується на роботі кількох (від двох до чотирьох) помельних валків, що тримаються на шарнірних важелях і ковзають по горизонтальному помельному столу або помельній чаші. Вони особливо підходять для одночасного помелу та висушування цементної сировини або шлаку, оскільки вертикальні валкові печі здатні працювати з порівняно високим вмістом вологи в матеріалах, що завантажуються у млин. Час проходження матеріалів через млин достатньо короткий, щоб уникнути попереднього насичення цементного клінкеру водою, наприклад, у разі помелу шлакового цементу.

*Двохвалковий млин високого тиску* потребує, однак, порівняно складного технічного обслуговування. Двохвалкові млини високого тиску часто використовуються у поєднанні з кульовими млинами.

Останньою розробкою у сфері помелу цементу є *горизонтальний валковий млин*. Він складається з короткого горизонтального кожуха на гідродинамічних чи гідростатичних підшипниках. Кожух обертається вінцевою шестернею. В середині кожуха встановлений горизонтальний валок, який вільно обертається і може притискатися до кожуха за допомогою гідравліки. Матеріал, який потрібно розмолоти, подається з одного чи обох кінців кожуха і кілька разів проходить між валком та кожухом. Подріблений матеріал, що виходить з млина, транспортується у сепаратор, звідки надто великі частки повертаються у млин.

Порівняння основних характеристик взятих для прикладу технологій помелу наведено в Таблиці 1.19 у розділі 1.3.3.2.

### 1.2.6.2.3. Помел мінеральних добавок

Мінеральні добавки зазвичай мелються разом з клінкером та гіпсом. Рішення помелу їх окремо залежить від таких факторів:

- відсоток мінеральних добавок у готовій продукції та в виробництві цементу у цілому;
- чи наявна запасна млинова система;
- чи клінкер та мінеральні добавки дуже відрізняються за здатністю до помелу;
- вміст вологи у мінеральних добавках.

Якщо мінеральні добавки потребують попереднього висушування, можна застосовувати системи сушарок, що працюють на відхідних газах печі та/або на відпрацьованому повітрі холодильника чи на гарячих газах від незалежного джерела.

#### *Системи сумісного помелу*

Будь-яка зі згаданих систем помелу для сухого/напівсухого помелу сировинної продукції може використовуватися для сумісного помелу мінеральних добавок разом з клінкером та гіпсом. Проте більшість систем накладають обмеження на вміст вологи в суміші, що завантажуються в систему, – максимум 2%, або 4%, якщо використовується джерело гарячих газів. У разі високого вмісту вологи системи потребують попереднього висушування мінеральних добавок у сушарці. Винятком є вертикальна валкова система, яка здатна працювати з вмістом вологи до 20%, проте для неї все рівно потрібне джерело гарячих газів.

### Окремий помел

Для окремого помелу мінеральних добавок можна використовувати системи сухого/напівсухого помелу сировинних матеріалів. Проте в цьому випадку для систем справджуються ті ж самі міркування щодо вмісту вологи в сумішах добавок, і добавки може бути необхідно попередньо висушити.

#### 1.2.6.2.4. Розділення за гранулометричним складом

Гранулометричний склад продукту, що виходить із системи помелу цементу, має велике значення для якості цементу. Технічні вимоги до цих параметрів задовольняються шляхом регулювання сепаратора. Найсучасніші сепаратори з короткозамкненим ротором мають кілька переваг у порівнянні з попередніми конструкціями, як-от:

- менше питоме споживання енергії системою (менше надмірного помелу);
- збільшення пропускної здатності системи (ККД);
- можливість охолодження продукту;
- більш гнучке регулювання тонини продукту;
- кращий контроль гранулометричного складу, краща однорідність продукту.

#### 1.2.6.2.5. Зменшення вмісту хроматів – хром (VI)

Оскільки цемент виготовляється з природних матеріалів, вміст хрому в ньому може суттєво різнитися залежно від обставин, проте в будь-якому разі хром буде присутній. Основними джерелами хрому в портландцементі є природна сировина, як-от вапняк, пісок та, особливо, глина. До другорядних джерел належать палива – традиційні (викопні) та з відходів. Відповідно, вміст хрому може суттєво різнитися внаслідок природних коливань у хімічному складі земної кори. Частина хрому буде присутня у водорозчинній формі – у вигляді так званого шестивалентного хрому (хрому (VI)).

У 2003 році Національний інститут з охорони праці провів епідеміологічну оцінку захворюваності алергічним дерматитом серед робітників будівельної галузі залежно від вмісту хрому (VI) у цементі. Згідно з цією оцінкою, «основними джерелами хрому у готовому цементі є сировина, вогнетривка цегла в печі та молільні тіла з хрому. Відносний внесок цих джерел може різнитися залежно від вмісту хрому в сировині та умов виробництва. У дослідженні помелу клінкеру за допомогою кульок з хромового сплаву, що містить 17 – 28% хрому, вміст шестивалентного хрому в цементі збільшився вдвічі у порівнянні з початковим клінкером».

Хром (VI), розчинений у воді, може проникати крізь незахищену шкіру. Водорозчинний хром (VI) може викликати алергічний дерматит, також відомий під назвою «цементна екзема». «Цементна екзема» також охоплює інший вид дерматиту: дерматит під дією подразника, зумовлений лужним характером цементу, змішаного з водою.

Директива ЄС щодо хроматів (2003/53/ЄС) наклала обмеження на збут та використання цементу, що містить понад 0,0002% (2 млн<sup>-1</sup>) розчинного хрому (VI). У цементній промисловості загалом неможливо зменшити вміст хроматів у цементі на етапі завантаження сировини, оскільки сировина є їх основним джерелом. Тому станом на 2007 рік єдиний спосіб зменшити вміст водорозчинного хрому (VI) у цементі полягає у тому, щоб додати відновлювальну речовину до готової продукції. Основними відновлювальними речовинами, що використовуються в Європі, є сульфат заліза та сульфат олова [86, EURITS, 2006], [103, SEMBUREAU, 2006], [111, Європейський Союз, 2003].

### 1.2.6.3. Зберігання цементу

Для транспортування цементу в силоси для його зберігання можуть використовуватися як пневматичні, так і механічні транспортні системи. Механічні системи зазвичай потребують більших інвестиційних витрат, ніж пневматичні транспортні системи, проте для них властиві значно менші експлуатаційні витрати. Найбільш поширеною транспортною системою є система, у якій аерожолоб або шнековий/ланцюговий конвеєр поєднується зі ланцюговим ковшовим елеватором.

Різні види цементу зберігаються окремо в силосах. Зазвичай для зберігання різних видів цементу потрібні різноманітні силоси. Проте силоси новітньої конструкції дають змогу зберігати більш ніж один тип цементу в одному й тому ж силосі. Для зберігання цементу використовуються такі конфігурації силосів:

- одночарункові силоси з розвантажувальним бункером;
- одночарункові силоси з центральним конусом;
- багаточарункові силоси;
- куполоподібні силоси з центральним конусом.

Для запуску та підтримання процесу вивантаження цементу з цих силосів використовується стиснене повітря: воно подається через аераційні плитки, розташовані на дні силоса.

### 1.2.7 Пакування та відвантаження

З силосів цемент передається безпосередньо в автомобільні, залізничні чи корабельні танкери для насипних вантажів або на станцію пакування в мішки.

### 1.3 Поточні рівні споживання ресурсів та викидів

Слід зазначити, що, якщо в даному документі не зазначено інше, стандартні умови вимірювання об'ємних витрат та концентрацій димових газів у контексті цього розділу, присвяченого цементній галузі, базуються на таких визначеннях, котрі також наведені у «Словнику термінів»:

м <sup>3</sup> /год.	об'ємна витрата: якщо у цьому документі не зазначено інше, об'ємна витрата вказана для об'ємної частки кисню 10% та стандартного стану
мг/м <sup>3</sup> н.у.	концентрація: якщо у цьому документі не зазначено інше, концентрації газоподібних речовин або сумішей речовин вказані для сухих димових газів з об'ємною часткою кисню 10% та у стандартному стані
стандартний стан	означає сухий газ з температурою 273 К і тиском 1 013 гПа.

Крім того, слід зазначити, що рівні викидів вказані для базового вмісту кисню 10%, хоча фактичний вміст кисню у процесі випалювання набагато нижчий, ніж 10% – наприклад, 3%. Формула для розрахунку концентрацій викидів наведена нижче:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * E_M$$

$E_R$  (мг/м<sup>3</sup> н.у.): концентрація викидів у перерахунку на базовий вміст кисню  $O_R$   
 $O_R$  (об'ємні %): базовий рівень кисню  
 $E_M$  (мг/м<sup>3</sup> н.у.): концентрація викидів у перерахунку на виміряний вміст кисню  $O_M$   
 $O_M$  (об'ємні %): виміряний рівень кисню

Додаткова корисна інформація про моніторинг наведена у Довідковому документі щодо загальних принципів моніторингу (MON) [151, Європейська комісія, 2003].

Основні екологічні проблеми, пов'язані з виробництвом цементу, – це викиди у повітря та використання енергії. Скиди стічних вод зазвичай обмежені лише поверхневими стоками та охолоджувальною водою і не роблять суттєвого внеску у забруднення вод. Зберігання та вантаження палива є потенційним джерелом забруднення ґрунту та ґрунтових вод.

Мета складання балансу мас – оцінити значення масових компоненти, що входять і виходять із системи, враховуючи закон збереження мас. Для оцінки елементів балансу мас необхідно попередньо знати дані технологічного процесу, як-от склад сировини та палива, газові потоки, атмосферні дані, тощо. На цементному заводі, система якого складається з сировинного млина, підігрівача, печі та холодильника, важливими є такі вхідні та вихідні потоки:

- вхідні потоки:
  - сировина (традиційна та/або з відходів);
  - енергія (паливо (викопне паливо та/або паливо з відходів та/або біомаси), електроенергія);
  - вода (включно з вологою в паливі, вологою в сировині, вологою у повітрі та водою, що вприскується в сировинний млин);
  - повітря (первинне повітря, транспортне повітря, охолоджувальне повітря та витоки повітря);
  - допоміжні речовини (мінеральні добавки, пакувальні матеріали);
- вихідні потоки:
  - клінкер;
  - технологічні втрати/відходи (пил від фільтрів);
  - викиди у повітря (наприклад, пил, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>; також див. баланс мас на Рисунку 1.19);
  - скиди у воду (в одиничних випадках).

Вхідні дані такі:

- сухий технологічний процес: п'ятиступеневий підігрівач, попередній кальцинатор, колосниковий холодильник, вертикальний сировинний млин;
- паливо: 100% нафтового коксу;
- споживання тепла: 3 300 кДж/кг клінкеру;
- (нижча) теплота згорання (НТЗ) нафтового коксу: 33 500 кДж/кг палива;
- завантаження матеріалу в піч: 1,66 кг/кг клінкеру; стандартний хімічний склад матеріалу, що завантажується у піч;
- коефіцієнт сировини: 1,52 кг/кг клінкеру та 5% вологи;
- вміст вологи у повітрі: 1 %;
- сировинний млин:
  - витоки повітря: 30 %;
  - вприскування води: 0,5 % матеріалу, що завантажується в піч;
- співвідношення між клінкером та цементом: 0,8.

Баланс мас для виробництва 1 кг цементу за допомогою сухого технологічного процесу з використанням нафтового коксу у якості палива показано на Рисунку 1.19.

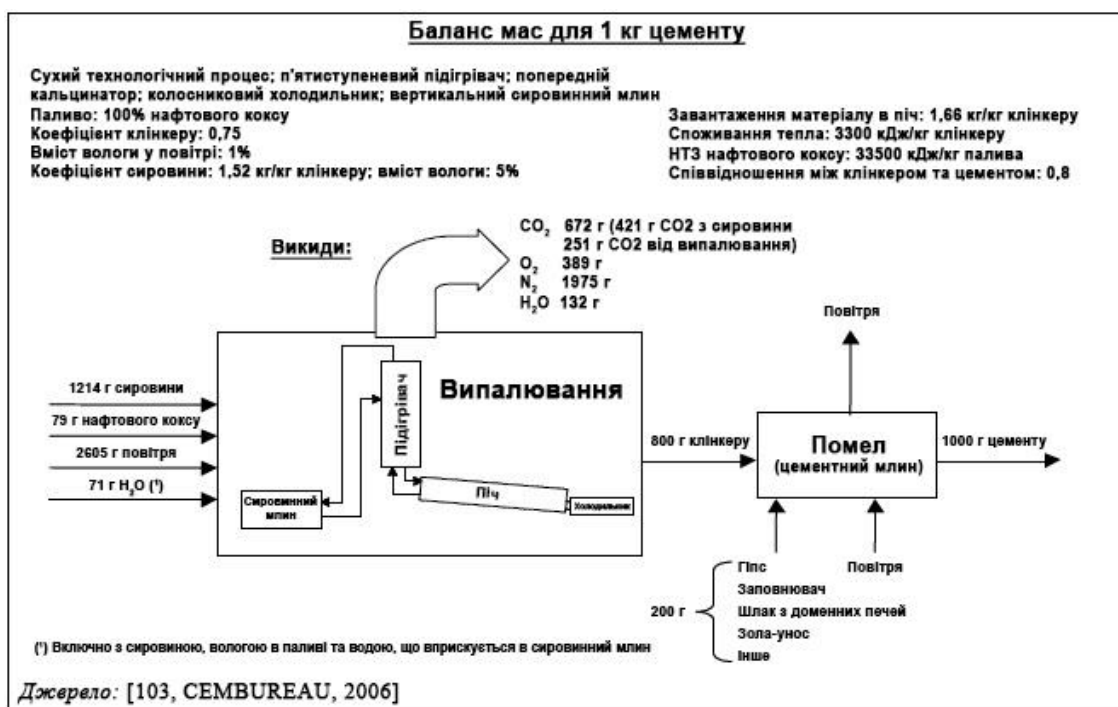


Рисунок 1.19. Баланс мас для виробництва 1 кг цементу за допомогою сухого процесу

### 1.3.1. Споживання води

Вода використовується на кількох етапах виробничого процесу. Лише в деяких процесах вода використовується для підготовки сировини, у процесах випалювання та охолодження клінкеру, таких як охолодження газів, а також у технологічному процесі виробництва шламу. У напівсухому процесі вода використовується для гранулювання сировинної муки. Заводи, на яких використовується мокрий процес, споживають більше води (на тону виготовленого цементу) у ході підготовки шламу для завантаження в піч; типове споживання води, що повідомляється для таких заводів, становить 100 – 600 літрів води на тону клінкеру. Крім того, в особливих випадках вода використовується для охолодження клінкеру, і у цих випадках повідомляється про споживання води в об'ємі близько 5 м<sup>3</sup>/год. У більшості випадків спожита вода не є питною водою [45, Шорхт, 2006], [75, Естонія, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [120, Іспанія, 2007].

### 1.3.2. Споживання сировинних матеріалів

Виготовлення цементу – це процес, у якому беруть участь великі об'єми матеріалів. Цифри, наведені в Таблиці 1.15, показують типові середні рівні споживання сировинних матеріалів у виробництві цементу в Європейському Союзі. Цифри в останньому стовпці вказані для заводу, що виготовляє клінкер в об'ємі 3 000 тонн/добу або 1 мільйон тонн/рік, тобто 1,23 мільйона тонн цементу на рік з огляду на середній вміст клінкеру в європейському цементі.

Таблиця 1.15. Споживання сировинних матеріалів у виробництві цементу

Матеріали (у перерахунку на суху речовину)	На тонну клінкеру	На тонну клінкеру	На рік на Мт цементу
Вапняк, глина, сланець, мергель, інше	1,57 т	1,27 т	1 568 000 т
Гіпс, ангідрит	-	0,05 т	61 000 т
Мінеральні добавки	-	0,14 т	172 000 т

*Джерело: [9, CEMBUREAU, листопад 1997]*

#### 1.3.2.1. Споживання відходів у якості сировини

Використовуючи відходи у якості сировини у процесі випалювання клінкеру, можна замінити порівняно велику кількість сировини (також див. розділ 1.2.4). Кількість відходів, що використовуються як сировина у виробництві клінкеру, з 2001 року зросла більш ніж удвічі. У 2004 році, використовуючи сировину з відходів у виробництві клінкеру, цементна промисловість безпосередньо заощадила майже 14 мільйонів тонн традиційної сировини – це еквівалентно майже 6,5 % потрібної природної сировини.

Проте така сировина з відходів повинна мати належні характеристики, містити потрібні хімічні елементи і компоненти, необхідні для обпалювання клінкеру, та відповідати вимогам до них Ці відходи можуть впливати на динаміку викидів у технологічному процесі і робити свій внесок у викиди. Вплив на викиди розглядається у розділі 1.3.4.13. У Таблиці 1.16 перелічено рівні споживання відходів, використаних у якості сировини, у перерахунку на хімічні елементи, що застосовувалися в країнах ЄС-27 у 2003 та 2004 роках для виробництва клінкеру. На Рисунку 1.20 наведена частка таких відходів, що використовувалися 20 країнами ЄС-27.

Таблиця 1.16. Відходи, використані у якості сировини, у перерахунку на хімічні елементи, які застосовувалися для виготовлення цементу в країнах ЄС-27 у 2003 та 2004 роках

Відходи, використані у якості сировини			
Потрібні (первинні) хімічні елементи	Приклади потоків відходів	Кількість у 2003 році (мільйонів тонн)	Кількість у 2004 році (мільйонів тонн)
Si	Відпрацьований формувальний пісок	1,52	1,50
Ca	Промислове вапно Вапняне молоко Карбідний шлам Шлам з установок очищення питної води	2,20	2,44
Fe	Піритний огарок Синтетичний гематит Червоний шлам	3,29	3,37
Al		0,71	0,69
Si-Al-Ca-Fe	Зола-винос Шлаки Дрібні фракції з дробарок	3,37	3,78
Ґрунт		0,45	0,50
Група S	Промисловий гіпс, отриманий у якості побічного продукту		
Група F	CaF <sub>2</sub> Фільтрувальний шлам		
Інше		1,56	1,71
Усього		13,10	13,89

Джерело: [74, CEMBUREAU, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006]

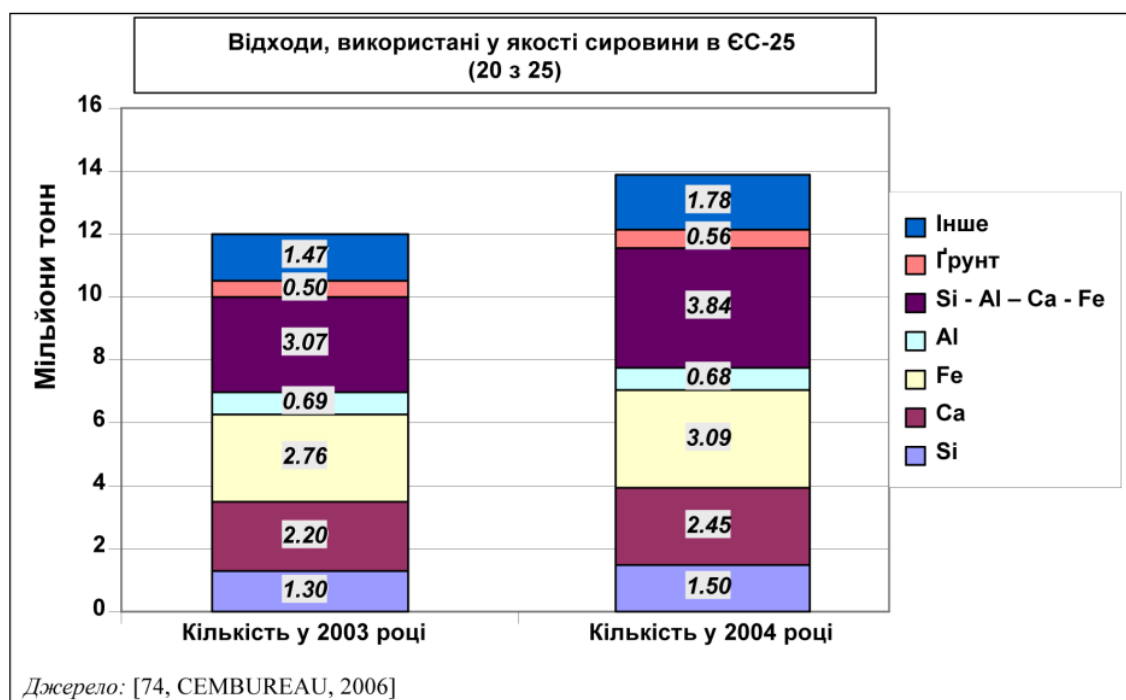


Рисунок 1.20. Відходи, використані у якості сировини в 20 країнах ЄС-27

У помелі цементу споживання відходів у якості сировини зросло. Наприклад, повідомлялося, що використання золи-виносу з бітумного сланцю подвоїлося до 100 кг/рік у період з 2000 року по 2005 рік [75, Естонія, 2006].

### 1.3.3. Використання енергії

Цементна промисловість – це дуже енергоємна галузь, де споживання енергії залежить від процесів, що застосовуються. Двома основними типами енергії, що використовуються у виробництві цементу, є паливо та електроенергія. Енергоефективність (як термічна, так і електрична) протягом багатьох десятиріч мала пріоритетне значення в європейській цементній промисловості у рамках прийняття загальних господарських рішень, зумовлених економічними та технологічними потребами [103, CEMBUREAU, 2006].

#### 1.3.3.1. Потреба в тепловій енергії

Теоретична потреба в тепловій енергії (енергії палива) у виробництві цементного клінкеру визначається енергією, потрібною для протікання хімічних/мінералогічних реакцій у процесі випалювання клінкеру (від 1 700 до 1 800 МДж), та тепловою енергією, потрібною для висушування та підігрівання сировини, яка головним чином залежить від вмісту вологи у сировині, як видно з Таблиці 1.17. У сучасних печах з підігрівачами кількість циклонів може обмежуватися хімічним складом сировини.

Таблиця 1.17. Приклади кількості теплової енергії, потрібної для висушування сировинної муки

Характеристики	Одиниця вимірювання	Вміст вологи у сировині (ваговий %)			
		3	6	9	12
Кількість циклонних ступенів	-	6	5	4	3
Ентальпія, необхідна для сушіння	МДж/т клінкеру	150	290	440	599

*Джерело:* [137, Кляйн/Хьоніг (Klein/Hoenig), 2006]

Фактична потреба в тепловій енергії (паливі) для різних пічних систем та розмірів печей знаходиться в межах, наведених у Таблиці 1.18, як і використання енергії палива у виробництві цементу спеціального призначення. Практичний досвід показує, що споживання енергії на заводах, що працюють за сухим процесом і обладнані багатоступеневими циклонними підігрівачами та печами з попереднім кальцинуванням, починається приблизно з 3000 і може досягати понад 3800 МДж/тону клінкеру (середньорічне значення). Коливання в межах цього діапазону зумовлені зупинками та пусками систем і, наприклад, різними властивостями сировинних матеріалів. У Таблиці 1.17 представлена оцінка впливу вмісту вологи у сировині на потребу в тепловій енергії для печей з циклонними підігрівачами.

Таблиця 1.18. Використання енергії палива у виробництві цементу в країнах ЄС-27

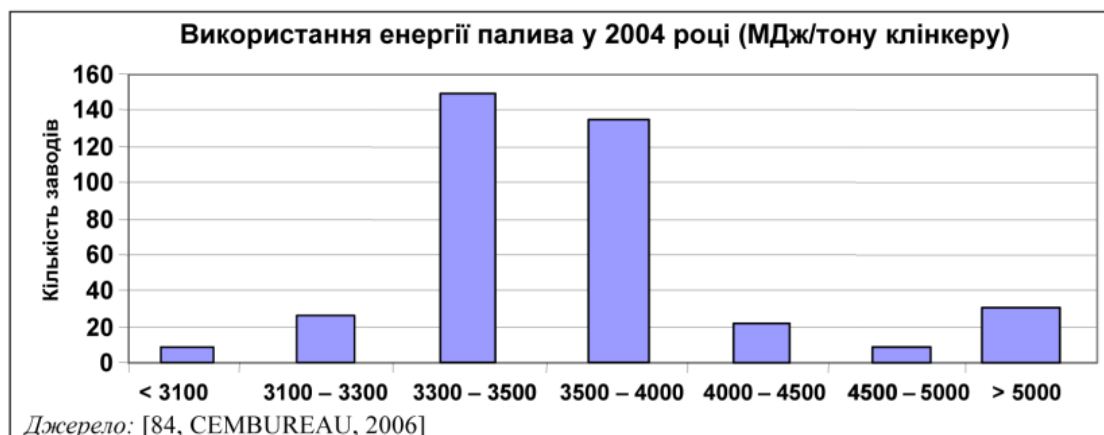
Питома потреба в тепловій енергії (МДж/тону клінкеру)	Технологічний процес
3 000 – <4 000	Для сухого процесу, багатоступеневих (від трьох до шести ступенів) циклонних підігрівачів та печей з попереднім кальцинуванням
3 100 – 4 200	Для обертових печей, що працюють за сухим процесом, обладнаних циклонними підігрівачами
3 300 – 5 400	Для напівсухих/напівмокрих процесів (піч Леполя)
до 5 000	Для довгих печей, що працюють за сухим процесом
5 000 – 6 400	Для довгих печей, що працюють за мокрим процесом
3 100 – 6 500 і вище	Для шахтних печей та виробництва цементів спеціального призначення

*Джерело:* [75, Естонія, 2006] [76, Німеччина, 2006] [84, CEMBUREAU, 2006], [92, Австрія, 2006], [120, Іспанія, 2007], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]

Рисунок 1.21 показує використання палива у цементній промисловості в ЄС-27 у 2004 році, не розрізняючи різні процеси (сухі, напівсухі, напівмокрі або мокрі) та види палива (випокні та/або з відходів), що при цьому використовувалися. Приблизно 30 цементних заводів у ЄС-27 є великими споживачами енергії палива, споживаючи понад 5 000 МДж/тону клінкеру, наприклад, для виробництва цементу спеціального



призначення, такого як білий цемент (див. Таблицю 1.18). На споживання енергії у виробництві білого цементу впливає висока температура, потрібна для виробництва цього типу білого клінкеру, у порівнянні з виробництвом інших типів клінкеру [75, Естонія, 2006], [84, SEMBUREAU, 2006], [120, Іспанія, 2007].



**Рисунок 1.21. Використання енергії палива у цементній промисловості країн ЄС-25 в 2004 році**

На питоме споживання енергії можуть впливати різні параметри, такі як [92, Австрія, 2006]:

- розмір та конструкція заводу;
  - від трьох до шести циклонних ступенів;
  - кальцинатор;
  - третинне повітря;
  - сумісна робота млина;
  - відношення довжини до діаметра млина;
  - тип клінкерного холодильника;
- пропускна здатність печі;
- вміст вологи у сировині та паливі;
- властивості сировинних матеріалів, як-от обпалюваність;
- питома теплота згорання палива;
- тип клінкеру;
- гомогенізація та високоточне відмірювання матеріалів, що завантажуються в піч, та палива;
- оптимізація керування технологічним процесом, у тому числі охолодження факела;
- співвідношення обходу.

При зміні паливної суміші, що використовується, питоме споживання енергії на тону клінкеру може різнитися з різноманітних причин, залежно від типів палива (викопне паливо чи паливо з відходів), їх параметрів – наприклад, вмісту вологи, реактивності чи grubість подрібнення, – та теплоти згорання палива, що використовується.

Одним з основних факторів, що впливають на споживання енергії, є підготовка викопних видів палива, таких як вугілля чи лігніт, які в багатьох випадках частково чи повністю висушуються за межами пічної системи, або навіть за межами заводу. Лігніт, наприклад, може видобуватися з вмістом вологи понад 50%, тому його потрібно висушити перед постачанням на цементний завод. При заміні висушених видів палива на паливо з вищим вмістом вологи споживання енергії на тону клінкеру в пічній системі може збільшитися, проте цей ефект може компенсуватися на глобальному рівні за рахунок енергії, заощадженої на відсутності потреби в висушуванні та транспортуванні викопного палива.

Що до вмісту вологи у паливі, то ККД технологічного процесу може різнитися залежно від способу висушування палива, що застосовується, – це може бути, наприклад, висушування палива відхідним теплом, що утворюється у технологічному процесі, або ефективно висушування палива всередині печі, за якого для видалення вологи потрібно більше енергії. Деякі види палива також частково складаються з вологих мінералів, що

використовуються у якості сировини. Ці мінерали висушуються в пічній системі і також можуть збільшувати питоме споживання енергії на тонну клінкеру.

Крім того, високий коефіцієнт заміни палива паливом з відходів у поєднанні з різними параметрами, такими як низька теплота згорання цих видів палива з відходів або конструкція заводу, може призводити до більшого споживання енергії, як видно з прикладів у Великій Британії та Австрії (див. розділ 1.3.3.3). У випадках, коли заводи підходять та спеціально спроектовані для сумісного спалювання певних видів палива з відходів, споживання теплової енергії все рівно може знаходитися в діапазоні 3 120 – 3 400 МДж/т клінкеру. Австрійські цементні заводи повідомляють про результати 48-годинного експлуатаційного випробування на паливі з низькою теплою згорання, до складу якого входили досить вологі пластмаси, і у ході якого споживання енергії склало 3 400 МДж/т клінкеру. Крім того, був повідомлений приклад з Великої Британії, у якому споживання енергії в печі з п'ятиступеневим попереднім кальцинатором склало 3 473 кДж/кг. Проте зазначається, що існує потенціал для вдосконалення [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [92, Австрія, 2006], [163, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [171, А ТЕС, 2007].

### 1.3.3.2. Потреба в електроенергії

Основними споживачами електроенергії є млини (для остаточного помелу та помелу сировинних матеріалів) та витяжні вентилятори (у печі / сировинному млині та цементному млині), на які разом припадає понад 80% спожитої електроенергії. Витрати на енергію – у формі палива та електроенергії – у середньому становлять 40 % загальної собівартості виробництва однієї тонни цементу. На електроенергію припадає до 20 % цієї загальної потреби в енергії. Потреба в електроенергії варіюється від 90 до 150 кВт·год./тону цементу. У період з 2004 по 2006 рік витрати на електроенергію збільшилися з 14 % загальної собівартості цементу до 25 %. Мокрий процес більш енергоємний, ніж напівмокрый чи сухий процес [20, Ротер (Rother), січень 1996,], [84, CEMBUREAU, 2006].

Споживання електроенергії також залежить від характеру продукції, оскільки він впливає на вимоги до подрібнення. У деяких випадках споживання енергії вдалося мінімізувати шляхом заміни старих млинів для матеріалу новими. У Таблиці 1.19 наведено огляд співвідношення між споживанням енергії при використанні різних технологій помелу. Слід пам'ятати, що не завжди можливо замінити млин іншим молотильним пристроєм. Крім того, варто зазначити, що в оцінці оптимальної технології помелу слід завжди враховувати економічні аспекти.

Таблиця 1.19. Порівняння технологій помелу за основними характеристиками

Процес помелу	Споживання енергії	Вимоги до технічного обслуговування	Сушильна потужність	Здатність до дуже дрібного помелу
Кульовий млин	100 %	Незначні	Середня	Хороша
Валковий млин для помелу в шарі матеріалу	від 65 до 50 %	Від незначних до високих	Низька <sup>(1)</sup>	Середня
Вертикальний валковий млин	від 75 до 70 %	Середні	Висока	Середня

<sup>(1)</sup> Висушування у класифікаторі  
*Джерело:* [60, VDI 2094, Німеччина, 2003] [76, Німеччина, 2006]

### 1.3.3.3. Споживання палива з відходів

Для задоволення потреби в необхідній енергії використовують як паливо з відходів, так і викопні види палива; при цьому протягом останніх кількох років споживання палива з відходів неухильно зростає. У 2004 році у цементних печах Європи в якості палива було використано 6,1 мільйона тонн різних типів відходів. З цих відходів понад мільйон тонн були небезпечними. У країнах ЄС-23+ (див. «Словник термінів») паливо з відходів все більше використовують замість викопного палива – від 3 % у 1990 році до приблизно 17 % у 2007 році. Таке зростання рівноцінне заощадженню близько 4 мільйонів тонн вугілля [74,

CEMBUREAU, 2006].

Проте темп такої заміни дуже по-різному зростає в різних країнах-членах ЄС з однаковими можливостями. У 2007 році окремі заводи вже досягали коефіцієнта заміни понад 80 %. До 100 % споживання енергії можна компенсувати за рахунок палива з відходів – наприклад, у пічній системі, що працює за сухим процесом і обладнана обертовою піччю з чотириступеневим двоохілковим підігрівачем та планетарним холодильником. Приклад наведено у розділі 6.2.2.1.

Слід зазначити, що теплота згорання цих відходів дуже різниться – від 3 до 40 МДж/кг. З літератури можна дізнатися, що теплота згорання (середня нижча теплота згорання) викопних видів палива становить, наприклад, 26 – 30 МДж/кг для звичайного вугілля, 40 – 42 МДж/кг для звичайного мазуту, у той час як теплота згорання твердих відходів може становити 8,5 МДж/кг, а пластмасових матеріалів – до 40 МДж/кг [143, Вільямс (Williams), 2005]. Паливо з відходів, яке має належну теплоту згорання, може успішно замінити викопне паливо і дозволить заощадити на викопному паливі. Проте для цього печі повинні бути здатними спалювати відходи, а умови потрібно оптимізувати таким чином, щоб спалювання відходів сприяло підвищенню енергоефективності (див. розділи 1.3.3.1 та 1.4.2.1.3). У Таблиці 1.20 наведено приклади типової теплоти згорання різних відходів:

**Таблиця 1.20. Приклади теплоти згорання різних типів відходів, що використовуються як паливо у країнах ЄС-27**

Приклади типів палива з відходів (небезпечних та такі, що не є небезпечними)	Приклади значень теплоти згорання (МДж/кг)
Деревина	Приблизно 16
Папір, картон	3 – 16
Текстиль	до 40
Пластмаси	17 – 40
Перероблені фракції (паливо з твердих побутових відходів)	14 – 25
Гума/покришки	приблизно 26
Промисловий шлам	8 – 14
Шлам з комунально-побутових стічних вод	12 – 16
Тваринна мука, жири	14 – 18, 27 – 32
Тваринна мука(кісткова мука)	14 – 21,5
Відходи вугілля / вуглецеві відходи	20 – 30
Сільськогосподарські відходи	12 – 16
Тверді відходи (просочена тирса)	14 – 28
Розчинники та пов'язані з ними відходи	20 – 36
Нафта та нафтовмісні стічні води	25 – 36
Паливна суміш на основі бітумного сланцю (85 – 90 % бітумного сланцю)	9,5
Шлам зі стічних вод (вміст вологи > 10 %)	3 – 8
Шлам зі стічних вод (вміст вологи від < 10 до 0 %)	8 – 13
<i>Джерело:</i> [75, Естонія, 2006] [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007] [180, Маушітц (Mauschitz), 2004]	

Слід зазначити, що, залежно від різних параметрів (див. розділ 1.4.2.1.3), середньорічна питома потреба в тепловій енергії також може зростати, як видно з наведених нижче прикладів з Великої Британії та Австрії.

На взятих для прикладу заводах у Великій Британії (нижча) теплота згорання палива з відходів, що там використовуються, – отриманого, наприклад, з комунально-побутових відходів, відходів використаної упаковки та/або промислових відходів, – може варіюватися від 15 до 23 МДж/кг. Проте повідомляється, що на одному з заводів коефіцієнт заміни становив 25 % усього використаного палива – це еквівалентно 30 000 тонн вугілля. Оскільки паливо з відходів має меншу теплоту згорання, необхідна кількість палива з відходів складає 44 118 т [153, Castle Cement, Велика Британія, 2007], [154, SEMEX, Велика Британія, 2006]. Інший приклад демонструє, що для заміни 100 000 т вугілля потрібно 125 000 т палива з відходів. Це означає, що палива з відходів потрібно на 20 % більше [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006].

У Австрії з 1997 по 2004 рік використання викопного палива постійно скорочувалося, в той

час як споживання відходів зросло з 19 % у 1997 році до 47 % у 2004 році. Потреба в тепловій енергії спочатку зменшилася з 3 554 до 3 481 МДж/т клінкеру в 2000 році. Проте за період з 2000 по 2004 рік паливна суміш суттєво змінилася (див. розділ 6.2.2.2, Таблиця 6.21): частка вугілля значно зменшилася (з 44,9 до 17,6 %), але при цьому значно зросла частка нафтового коксу (з 3,2 до 16,0 %) та відходів, таких як пластмаси (з 9,1 до 17,6 %) та інше паливо з відходів (з 2,4 до 10,2 %) [92, Австрія, 2006].

Інформація з прикладами значень теплоти згорання, розрахованих для різних типів перероблених відходів, та прикладами розрахунку теплоти згорання відходів, наведена у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для спалювання відходів [57, Європейська комісія, 2005].

Зростання споживання відходів, ще не є небезпечними більш суттєве, ніж зростання у споживанні небезпечних відходів. Це відображає еволюцію суспільства (збільшення кількості шламу зі стічних вод, тваринної муки, перероблених міських відходів), а також його збільшену увагу до сортування відходів. Загальноживаною практикою вважається використання відходів як палива та сировини у процесі випалювання клінкеру з тепловим коефіцієнтом заміни у середньому 17 %, котрий у деяких країнах іноді сягає аж 100 %. З 6 мільйонів тонн відходів, що використовуються, приблизно 10 % – це біомаса. Коефіцієнти заміни для палива з відходів, що використовується в країнах ЄС-23+, наведені у Таблиці 1.22 [74, СЕМБЮРЕАУ, 2006], [75, Естонія, 2006], [76, Німеччина, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [92, Австрія, 2006], [107, Бельгія, 2006], [112, Чехія, 2006].

Рівні використання різних небезпечних відходів та відходів, що не є небезпечними, як палива для випалювання в цементних печах у країнах ЄС-27, наведені у Таблиці 1.21 та на Рисунку 1.21. Загальне використання відходів з палива в цементних печах у країнах ЄС-27 зросло у період з 2003 по 2004 рік [74, СЕМБЮРЕАУ, 2006].

**Таблиця 1.21. Використання різних типів відходів, як палива в цементних печах, у країнах ЄС-27 в 2003 та 2004 роках**

Типи палива з відходів					
№ групи <sup>(1)</sup>	Тип відходів	Кількість у 1000 тонн			
		2003		2004	
		Небезпечні	Не є небезпечні	Небезпечні	Не є небезпечні
1	Деревина, папір, картон	0,000	214 991	1 077	302 138
2	Текстиль	0,000	19 301	0,000	8 660
3	Пластмаси	0,000	354 070	0,000	464 199
4	Паливо з твердих побутових відходів	4 992	570 068	1 554	734 296
5	Гума/покришки	0,000	699 388	0,000	810 320
6	Промисловий шлам	52 080	161 660	49 597	197 720
7	Шлам з комунально-побутових стічних вод	0,000	174 801	0,000	264 489
8	Тваринна мука, жири	0,000	1 313 094	0,000	1 285 074
9	Відходи вугілля / вуглецеві відходи	1 890	137 213	7 489	137 013
10	Сільськогосподарські відходи	0,000	73 861	0,000	69 058
11	Тверді відходи (просочена тирса)	164 931	271 453	149 916	305 558
12	Розчинники та пов'язані з ними відходи	425 410	131 090	517 125	145 465
13	Нафта та нафтовмісні стічні води	325 265	181 743	313 489	196 383
14	Інше	0,551	199 705	0,000	212 380
Усього		975 119	4 502 435	1 040 247	5 133.353

<sup>(1)</sup> Кожна група охоплює кілька позицій Європейського каталогу відходів (EWC) – див. Таблицю 6.1 у розділі 6.2.1

Джерело: [74, СЕМБЮРЕАУ, 2006]

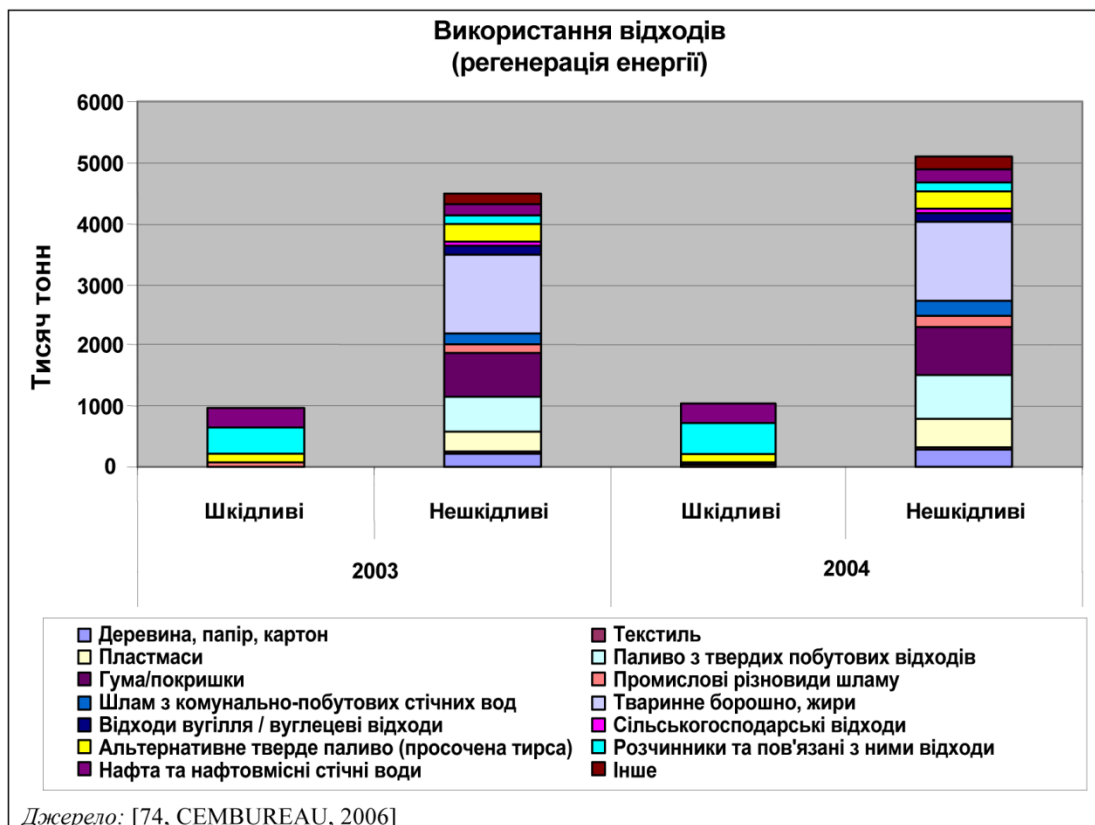


Рисунок 1.22. Використання різних типів небезпечних відходів та відходів, що не є небезпечними, як палива в цементних печах у країнах ЄС-27

Таблиця 1.22. Заміна викопного палива паливом з відходів у виробництві цементу в країнах ЄС-23+

Країна	Допустима потужність для палива з відходів (т/рік)		Кількість використаного палива з відходів (т/рік)		Відсоток виділеного тепла (%)			
	Діапазон у країні <sup>(1)</sup>	Середнє значення за країною	Діапазон у країні <sup>(1)</sup>	Середнє значення за країною	Небезпечні відходи		Відходи, що не є небезпечними	
					Діапазон у країні <sup>(1)</sup>	Середнє значення за країною	Діапазон у країні <sup>(1)</sup>	Середнє значення за країною
Австрія <sup>(2)</sup>	10 000 – 35 000	-	9 500 – 39 000	30 000	30 – 45	12	15 – 50	35
Бельгія, Нідерланди, Люксембург	-	-	58 500 – 402 000	138 930	0 – 25	11	21 – 30	24
Чехія	90 000 <sup>(3)</sup>	-	-	40 000	0 – 40	15	0 – 100	37
Данія, Фінляндія, Швеція, Норвегія, Ірландія	300 000 <sup>(3)</sup>	-	22 000 – 120 000	75 000	2 – 20	15	24 – 35	32
Естонія, Латвія, Польща, Угорщина	15 000 – 380 000	125 000	8 000 – 67 369	27 271	13,4 – 14	13,7	16 – 26,1	17,5
Франція	125 000 – 265 000	-	300 – 113 000	37 374	0 – 41,2	14	0,4 – 52	14,6
Німеччина	-	-	218 157 <sup>(3)</sup>	56 857	0 – 25	5,2	76 <sup>(3)</sup>	43,6
Греція, Португалія, Румунія, Словенія	20 000 – 500 000	20 506	640 – 60 000	9 196	0 – 3,8	0,7	0,4 – 15,6	2
Італія	5 000 – 115 000	28 000	5 300 – 90 600	13 100	1,3 – 21	12	0,9 – 37	11,3
Іспанія	8 800 – 100 000	43 000	2 000 – 36 000	15 500	0 – 27,8	4,8	2 – 25	8,5
Велика Британія	25 000 – 788 400	182 337	0 – 55 960	24 086	0 – 27,6	6	0 – 40	7,8

Примітка. Наведено зведені цифри за відповідними країнами ЄС-23+

<sup>(1)</sup> Мінімум – максимум<sup>(2)</sup> Лише цифри за 2004 рік<sup>(3)</sup> Максимум

Джерело: [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007] [178, CEMBUREAU, 2008]

### 1.3.4. Викиди у атмосферне повітря

Під час виробництва цементу виникають викиди у атмосферне повітря та шумове випромінювання. Крім того, внаслідок використання відходів можуть виникати неприємні запахи – наприклад, при зберіганні та вантаженні відходів (див. розділ 1.3.8). У цьому розділі наведені діапазони викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря для процесу виробництва цементу включно з іншими етапами технологічного процесу, як-от зберігання та вантаження, наприклад, сировини, добавок та палива, у тому числі й палива з відходів.

У Директиві наведено загальний приблизний перелік основних речовин, що забруднюють атмосферне повітря, які потрібно враховувати, якщо вони суттєві для встановлення граничних значень викидів. Для виробництва цементу, у тому числі для використання відходів, суттєвими є такі викиди:

- оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) та інші сполуки азоту;
- діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ) та інші сполуки сірки;
- пил;
- загальні органічні сполуки (ЗОВ – загальний органічний вуглець), включно з леткими органічними сполуками (ЛОС);
- поліхлоровані дибензопарадіоксини та дибензофурани (ПХДД та ПХДФ);
- метали та їх сполуки;
- фтороводень ( $\text{HF}$ );
- хлороводень ( $\text{HCl}$ );
- монооксид вуглецю ( $\text{CO}$ ).

Вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) не згаданий у списку, проте вважається суттєвим для виробництва цементу. Загальна інформація про викиди  $\text{CO}_2$  та схему торгівлі квотами на викиди наведена у Директиві 2003/87/ЄС Європейського парламенту та Ради від 13 жовтня 2003 року, що встановлює схему торгівлі дозволами на викиди парникових газів у межах Європейської спільноти, та наступній поправці до неї, що вноситься Директивою 2009/29/ЄС [99, Європейський Союз, 2003] [191, Європейський Союз, 2009]. Крім того, викиди  $\text{NH}_3$  також можуть вважатися суттєвими, особливо у разі використання вторинних технологій для зменшення викидів  $\text{NO}_x$  – наприклад, селективного некаталітичного відновлення (СНКВ).

Основними викидами від виробництва цементу є викиди у атмосферне повітря з пічної системи. Вони утворюються в результаті фізико-хімічних реакцій за участі сировини та згорання палива. Основними компонентами газів, що виходять з цементної печі, є азот з повітря, що забезпечує згорання;  $\text{CO}_2$  від кальцинування  $\text{CaCO}_3$  та згорання палива; водяна пара від процесу згорання та від сировини, а також надлишковий кисень.

У всіх пічних системах твердий матеріал рухається назустріч потоку гарячих газоподібних продуктів згорання. Цей зустрічний потік впливає на викиди забруднюючих речовин, оскільки він діє як вбудований псевдозріджений шар. Багато компонентів, що утворилися у результаті згорання палива чи перетворення сировини у клінкер, залишаються у газоподібній фазі лише до тих пір, поки вони не будуть абсорбовані сировиною, що рухається назустріч їм, або не сконденсуються на ній.

Поглиналина здатність матеріалу варіюється залежно від його фізико-хімічного стану, який, в свою чергу, залежить від його розташування всередині пічної системи. Наприклад, матеріал, що виходить із зони кальцинування у пічному процесі, містить багато оксиду кальцію, а тому має високу здатність до поглинання кислотних сполук, таких як  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$  та  $\text{SO}_2$ .

Дані про викиди з печей, що наразі експлуатуються, наведені у Таблиці 1.23. Діапазони викидів під час роботи печі великою мірою залежать від характеру сировинних матеріалів; палива; віку та конструкції заводу, а також від вимог, встановлених дозвільними органами. Наприклад, концентрація домішок та поведінка вапняку під час випалювання/кальцинування може вплинути на викиди – зокрема, нерівномірність вмісту сірки у сировині відіграє важливу роль і впливає на діапазон викидів сірки з відхідними газами.



Таблиця 1.23. Дані про діапазони викидів з європейських цементних печей

Повідомлені рівні викидів з європейських цементних печей <sup>(1)</sup>			
Забруднююча речовина	мг/м <sup>3</sup> н.у.	кг/тону клінкеру	тон/рік
NO <sub>x</sub> (у перерахунку на NO <sub>2</sub> )	145 – 2040	0,33 – 4,67	334 – 4 670
SO <sub>2</sub>	До 4 837 <sup>(2)</sup>	До 11,12	До 11 125
Пил	0,27 – 227 <sup>(3)</sup>	0,00062 – 0,5221	0,62 – 522
CO	200 – 2000 <sup>(4)</sup>	0,46 – 4,6	460 – 11 500
CO <sub>2</sub>	-	Приблизно 672 г/Т <sub>цементу</sub>	1,5456 мільйона
ЗОВ/ЛОС	1 – 60 <sup>(5)</sup>	0,0023 – 0,138	2,17 – 267
HF	0,009 – 1,0	0,021 – 2,3 г/т	0,21 – 23,0
HCl	0,02 – 20,0	0,046 – 46 г/т	0,046 – 46
ПХДД/Ф	0,000012 – 0,27 нг міжнародного токсичного еквіваленту (I-TEQ)/м <sup>3</sup> н.у.	0,0276 – 627 нг/т	0,0000276 – 0,627 г/рік
Метали <sup>(6)</sup>			
Hg	0 – 0,03 <sup>(7)</sup>	0 – 69 мг/т	0 – 1 311 кг/рік
∑ (Cd, Tl)	0 – 0,68	0 – 1 564 мг/т	0 – 1 564 кг/рік
∑ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	0 – 4,0	0 – 9200 мг/т	0 – 9 200 кг/рік

(1) Сукупні цифри вказані для 2 300 м<sup>3</sup>/тону клінкеру та одного мільйона тонн клінкеру на рік. Діапазони викидів – це середньорічні орієнтовні значення, визначені за різними технологіями вимірювання. Базовий вміст O<sub>2</sub> зазвичай складає 10 %.

(2) Виміряні значення вмісту SO<sub>2</sub> в очищених газах у 253 обортових печах. 11 вимірювань перевищують діапазон шкали. З них 7 відповідають коефіцієнту заміни «0», 3 – «0 ... 10», а одне – «понад 40». Великих викидів SO<sub>2</sub> слід очікувати, коли сировина містить леткі сполуки сірки (наприклад, пірит). Фактично, ці сполуки, які можуть окиснюватися, можуть перетворитися в SO<sub>2</sub> ще на верхніх циклонних ступенях. Цей SO<sub>2</sub> може бути захоплений у сировинному млині дрібно помеленою сировиною.

(3) Цифри отримані шляхом безперервного вимірювання вмісту пилу в очищених газах у 253 обортових печах. 8 вимірювань перевищують діапазон шкали. Рівні викидів суттєво залежать від стану обладнання для зниження викидів.

(4) У деяких випадках викиди CO можуть перевищувати 2 000 мг/м<sup>3</sup> н.у. та досягати 5 000 мг/м<sup>3</sup> н.у. (11,5 кг/тону клінкеру) – наприклад, внаслідок відновлення NO<sub>x</sub>.

(5) Середньорічні значення за 120 вимірюваннями; лише кілька значень лежать у діапазоні вище 60 мг/м<sup>3</sup> н.у. (до 122,6 мг/м<sup>3</sup> н.у. або 0,28 кг/тону клінкеру).

(6) «0» означає РЛ = рівень виявлення.

(7) Дані зібрані з 306 точкових вимірювань з середнім значенням 0,02 мг/м<sup>3</sup> н.у. та верхнім значенням 0,57 мг/м<sup>3</sup> н.у. (1 311 мг/тону клінкеру).

Джерело: [8, CEMBUREAU, 2001] [9, CEMBUREAU, листопад 1997] [12, Нідерланди, 1997] [19, Хау (Haugh), 2001], [29, Лозе (Lohse), 2001] [97, CEMBUREAU, 2007] [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]

Типові об'єми відхідних газів печі, виражені у м<sup>3</sup>/тону клінкеру (сухий газ, 101,3 кПа, 273 К) становлять від 1 700 до 2 500 для всіх типів печей [8, CEMBUREAU, 2001]. Об'єми відхідних газів з установок для підігрівання у зваженому стані та пічних систем з попереднім кальцинатором, як правило, складають близько 2 300 м<sup>3</sup>/тону клінкеру (сухий газ, 101,3 кПа, 273 К).

Також присутні організовані джерела викидів з інших джерел, таких як помел (подрібнення) та вантажні операції, сировина, тверде паливо та продукція. Існує можливість утворення неорганізованих джерел викидів з будь-яких складів сировини та палива під відкритим небом, а також будь-яких систем транспортування матеріалу, включно з вантаженням цементної продукції. Величина цих викидів може бути значною, якщо ці системи не спроектовані належним чином чи не отримують належного технічного обслуговування, а низькі рівні викидів можуть призвести до місцевих шкідливих наслідків.

### 1.3.4.1. Пил (тверді частинки)

#### 1.3.4.1.1. Викиди пилу з організованих джерел

Викиди пилу (твердих часток), особливо з димових труб печей, традиційно були однією з найбільших екологічних проблем, пов'язаних з виробництвом цементу. Основними джерелами викидів пилу є процес підготовки сировинних матеріалів (сировинні млини), помельні та сушильні агрегати, процес випалювання клінкеру (печі та клінкерні холодильники), підготовка палива та агрегати помелу цементу (млини). Допоміжні процеси цементного заводу призводять до викидів пилу незалежно від того, чи використовуються в них відходи, як-от:

- дроблення сировинних матеріалів;
- конвеєри та елеватори для сировинних матеріалів;
- зберігання сировинних матеріалів та цементу;
- помельні млини для сировинних матеріалів, цементу та вугілля;
- зберігання палива (нафтового коксу, кам'яного вугілля, лігніту) та відвантаження цементу (вантажні операції).

У всіх цих процесах через пилоподібні матеріали проходять великі об'єми газів. У таких видах діяльності, як дроблення, помел та відвантаження, в обладнанні підтримується невелике всмоктування, і ці джерела викидів зазвичай обладнані рукавними фільтрами. Конструкція та надійність сучасних електрофільтрів та рукавних фільтрів забезпечує можливість зниження викидів пилу до рівнів, на яких вони стають несуттєвими; на 37 % установок, про які повідомлялося, вдалося досягти рівнів викидів нижче  $10 \text{ мг/м}^3$  н.у. (середньодобове значення). Приклади типів таких систем та кількостей відфільтрованого та відсмоктаного пилу наведено в Таблиці 1.24.

Загальні викиди пилу безперервно вимірюються у 253 обертових печах, і від 180 печей збираються дані точкових вимірювань кількості пилу, як показано на Рисунку 1.23 та Рисунку 1.24. Усі ці вимірювання виконані на різних заводах, що знаходяться у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ (див. «Словник термінів»). Рівні теплової заміни позначені на цих рисунках різними кольорами. Більшість викидів пилу знаходяться в діапазоні від 0,27 до менше ніж  $30 \text{ мг/м}^3$  н.у. Дані про безперервно вимірювані викиди були надані у вигляді середньорічних значень, розрахованих за середньодобовими значеннями [97, SEMBUREAU, 2007]. Виміряні значення вказані для  $1 \text{ м}^3$  сухого газу за стандартних умов.

Крім того, типовий вміст пилу в очищених газах (середньодобові значення), що досягається у системах обертових печей, обладнаних електрофільтрами, знаходиться в діапазоні від  $< 10$  до  $30 \text{ мг/м}^3$  н.у. Повідомлені діапазони викидів пилу після зниження викидів з димовими газами за допомогою рукавних фільтрів, виражені як середньодобове значення, становили від  $< 10$  до  $20 \text{ мг/м}^3$  н.у. [92, Австрія, 2006], [75, Естонія, 2006], [76, Німеччина, 2006], [90, Угорщина, 2006], [112, Чехія, 2006].

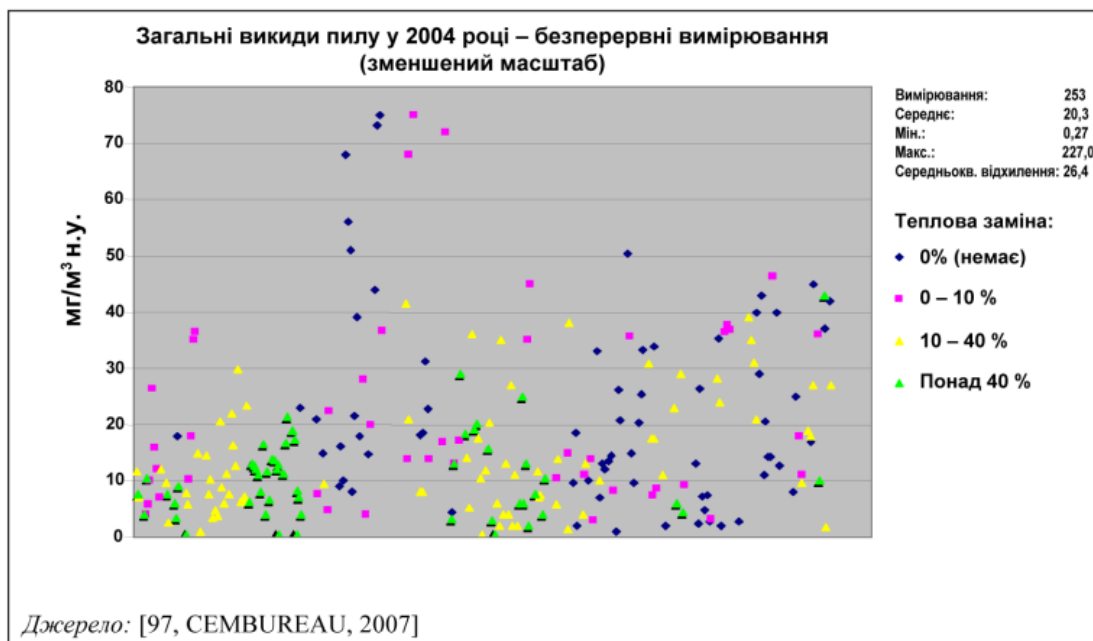


Рисунок 1.23. Діапазони значень викидів, отриманих шляхом безперервного вимірювання вмісту пилу в очищених газах з 253 обортових печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

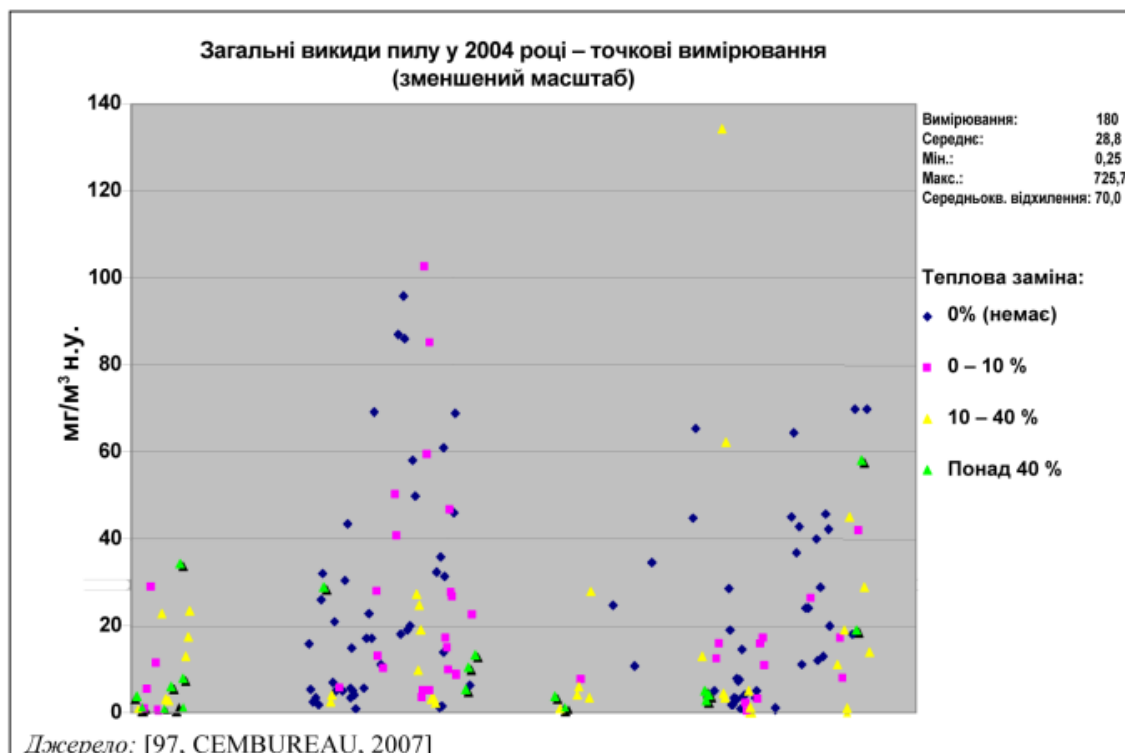


Рисунок 1.24. Значення викидів пилу, отриманих шляхом 180 точкових вимірювань в очищених газах з обортових печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

У Таблиці 1.24 наведено приклади деяких типів електрофільтрів та рукавних фільтрів. Вказані значення означають типові діапазони, а значення у дужках означають крайні значення, повідомлені у деяких окремих випадках. У огляді також наведена оцінка кількості відфільтрованого та відсмоктаного пилу у тих випадках, коли це застосовувалося. Сумісна та пряма робота стосується роботи млина (млин увімкнений, млин вимкнений).

Таблиця 1.24. Приклади типів систем, що використовуються для відсмоктування пилу, експлуатаційних даних та потреби в енергії

Типи систем для зниження викидів пилу та їх експлуатаційні характеристики			
Параметр	Одиниця вимірювання	Електрофільтри	Рукавні фільтри
Рік виробництва		1962 – 2004	1999 – 2005
Втрата тиску	гПа	1 – 8	10 – 12 (2) <sup>(1)</sup>
Температура	°С	90 – 190	90 – 160 <sup>(2)</sup>
Споживання електроенергії	кВт· год./т клінкеру	1 – 4	0,1 – 0,2
Споживання електроенергії вентилятором	кВт· год./т клінкеру	0,15 – 1,2	1,5 – 1,8
Загальне споживання електроенергії	кВт· год./т клінкеру	1,15 – 5,2	1,6 – 2,0
Кількість відфільтрованого та відсмокнаного пилу			
Параметр	Одиниця вимірювання	Сумісна робота	Пряма робота
Кількість відфільтрованого пилу	кг/т клінкеру	54 – 144 (1 718) <sup>(1)</sup>	80 – 200 (10 – 70) <sup>(1)</sup>
Відсмоктування пилу	кг/т клінкеру	0 – 35	0 – 66 (165) <sup>(1)</sup>
<sup>(1)</sup> Значення у дужках означають крайні значення, повідомлені у деяких окремих випадках.			
<sup>(2)</sup> Значення у 240 °С було повідомлене для випадку використання скловолокна з мембраною із ПТФЕ.			
Джерело: [76, Німеччина, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006]			

У деяких випадках електрофільтри повинні з міркувань безпеки вимикатися за підвищеного рівня CO в димових газах (відключення за рівнем CO). Щоб не допускати порушень у процесі експлуатації, необхідно надійно виключити можливість створення підвищених концентрацій CO у відхідних газах та утворення внаслідок цього вибухонебезпечних сумішей. Автоматичний пристрій для моніторингу рівня CO повинен безперервно здійснювати моніторинг димових газів. Було повідомлено приклади відключень за рівнем CO у різних діапазонах та в різні періоди часу, на різних етапах процесу випалювання у печі, а також під час зупинок та пусків пічної системи. У 2006 році в Ірландії під час відключень за рівнем CO було зафіксовано викиди пилу з частотою від одного до шести разів на місяць, які в деяких випадках перевищували 60 мг/м<sup>3</sup> н.у. і досягали 130 мг/м<sup>3</sup> н.у. (середні значення за півгодини). Повідомляється, що з цих відключень відключення електрофільтрів тривали 1 – 13 хвилин/відключення з загальною тривалістю 184 хвилини [159, Ірландія, 2006]. Проте частоту відключень за рівнем CO вдалося мінімізувати, наприклад, на німецьких цементних заводах: загальна тривалість повідомлених прикладів таких відключень знаходилася в діапазоні від 1 до 29 хвилин на рік, або відповідно < 0,001 – 0,009 % загального часу роботи печі, як видно з Таблиці 1.25.

Таблиця 1.25. Приклади частоти відключень за рівнем CO на німецькому цементному заводі

Рік	Загальна тривалість	
	(хвилини)	(% загального часу роботи печі)
2000	12	0,003
2001	29	0,009
2002	1	< 0,001
2003	6	0,001
2004	5	0,001
Джерело: [158, Німеччина, 2007]		

#### 1.3.4.1.2. Викиди дрібнодисперсного пилу фракцій PM<sub>10</sub> та PM<sub>2,5</sub>

Викиди пилу фракцій PM<sub>10</sub> та PM<sub>2,5</sub> складаються з дрібних твердих часток з діаметром зерна менше 10 та менше 2,5 мікрона відповідно, які можуть утворюватися у твердій формі або у вигляді аерозолу. Ці типи дрібнодисперсного пилу можуть утворюватися в результаті ряду фізико-хімічних реакцій за участі різних газів-прекурсорів, таких як оксиди азоту, сірка та аміак, що вступають у реакції, утворюючи тверді частки сульфатів, нітратів та амонію, і можуть завдавати шкоди здоров'ю людей. У цементній промисловості фракції PM<sub>10</sub> та/або PM<sub>2,5</sub> можуть виникати у процесі випалювання та охолодження, проте допоміжні процеси (див. розділ 1.3.4.1.1) також можуть призводити до утворення дрібнодисперсного пилу.

За останні кілька років були розроблені різні методики вимірювання та пристрої для відбору проб у поєднанні з розрахунковими моделями для визначення та відсортування за розміром цих дуже дрібних фракцій пилу та їх розподілу, наприклад, за загальними викидами пилу, виміряними у потоці димових газів. Проведене у Німеччині дослідження показало, що більшість загальних викидів пилу викидається у вигляді дрібнодисперсного пилу незалежно від загальної концентрації пилу у відхідних газах. У разі використання електрофільтрів приблизно 90% фракцій пилу менші, ніж 10 мкм (PM<sub>10</sub>), і приблизно 50 % менші, ніж 2,5 мкм (PM<sub>2,5</sub>), як видно з прикладів у цементній промисловості (див. Таблицю 1.26). Загальні викиди пилу були виміряні за допомогою пристрою для відбору проб на фільтрі (плоского фільтра). Для вилучення пилу з потоку димових газів в ізокінетичних умовах та його розділення на відсортовані за розміром фракції твердих часток використовувалися каскадні імпаکتори. Крім того, у розділі 6.2.2.3 наведено приклади дрібнодисперсних фракцій пилу, що викидалися з ірландських цементних заводів. Таким чином, більшість викидів дрібнодисперсного пилу можна зменшити шляхом зменшення загального пилового навантаження. Заводи, обладнані високоефективними системами знепилювання, роблять порівняно малий внесок у навантаження за дрібнодисперсним пилом [113, Ірландія, 2007], [117, Німеччина, 2000].

**Таблиця 1.26. Дослідження розподілу дрібнодисперсного пилу у загальній кількості пилу від німецьких цементних заводів**

Джерело викидів		Загальна концентрація пилу (¹) (мг/м³ н.у.)	Фракція дрібнодисперсного пилу (%)			Концентрація дрібнодисперсного пилу (мг/м³ н.у.)		
			< 2,5	< 10	> 10	< 2,5	< 10	> 10
<b>мкм</b>								
Піч (електрофільтр) (²)	Димові гази з печі після електрофільтра	15,4	51	87	13	7,9	13,4	2,9
Клінкерний холодильник (електрофільтр)	Димові гази з клінкерного холодильника після електрофільтра	14,0	68	99	1	9,5	13,9	≤ 0,1
Циклонний підігрівач (електрофільтр), прямий режим (³)	Димові гази з печі після електрофільтра	2,3	84	97	3	1,9	2,2	≤ 0,1
Циклонний підігрівач (електрофільтр), комбінований режим (⁴)	Димові гази з печі після електрофільтра	4,8	66	97	3	3,2	4,7	≤ 0,1

(¹) Загальна кількість пилу, виміряна за допомогою пристрою для відбору проб на фільтрі (плоского фільтра), сортування за розміром каскадними імпакторами  
 (²) Піч Леполя, наразі припинила роботу  
 (³) Млин вимкнений  
 (⁴) Млин увімкнений  
 Джерело: [117, Німеччина, 2000]

Регіональна інформаційно-імітаційна модель забруднення повітря (RAINS) була розширена для дослідження сумісних дій та компромісів між контролем місцевого та регіонально забруднення повітря та боротьбою з глобальними викидами парникових газів. Ця нова Модель взаємодії та сумісних дій з питань парникових газів та забруднення повітря (GAINS) допомагає знаходити стратегії контролю забруднення, які дадуть змогу досягти максимальної вигоди у всіх масштабах.

Модель RAINS демонструє, що фракції PM<sub>10</sub> та PM<sub>2,5</sub> становлять 60 % від загальної кількості твердих часток (78 г/м³ н.у.) в неочищених газах (перед очищенням), як видно з Таблиці 1.27. Приклади технологій зниження викидів пилу разом з даними про ефективність зниження викидів наведено у Таблиці 1.28.

**Таблиця 1.27. Приклади концентрацій пилу в неочищених газах згідно з моделлю RAINS**

Параметр	Концентрація у неочищених газах
Загальний вміст твердих часток (ЗВТЧ)	130 г/м³ н.у.
PM <sub>10</sub>	42 % ЗВТЧ
PM <sub>2,5</sub>	18 % ЗВТЧ

Джерело: [172, Франція, 2007]

Таблиця 1.28. Приклади технологій зменшення викидів пилу разом з даними про ефективність зниження викидів згідно з моделлю RAINS

Технологія	Ефективність зниження викидів (%)		
	Загальний вміст твердих часток	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Циклон	74,4	52,86	30
Електрофільтр 1	95,8	94,14	93
Електрофільтр 2	98,982	97,71	96
Електрофільтр 3	99,767	99,51	99
Рукавний фільтр	99,784	99,51	99
Мокрий скруббер	98,982	97,71	96

Джерело: [172, Франція, 2007]

#### 1.3.4.1.3. Викиди пилу з неорганізованих джерел

Викиди пилу з неорганізованих джерел можуть виділятися під час зберігання та вантаження матеріалів та твердого палива – наприклад, зі складів під відкритим небом, конвеєрів для сировинних матеріалів, а також з дорожнього покриття у результаті руху автомобільного транспорту. Пил, що утворюється при пакуванні та відвантаженні клінкеру/цементу, також може викидатися в суттєвих кількостях. Наслідком неорганізованих джерел викидів може бути місцеве збільшення вмісту пилу, у той час як викиди пилу від технологічних процесів (зазвичай з високих димових труб) можуть впливати на якість повітря на набагато більшій території.

Якщо є велика ймовірність, що пилоподібні матеріали будуть створювати викиди пилу, конвеєри та елеватори конструюються як закриті системи. Дороги, по яких їздять вантажівки, періодично вимощуються та прибираються для запобігання неорганізованим викидам пилу. Крім того, для запобігання цим викидам на майданчику, де встановлене обладнання, розбризкується вода. Завжди, коли це можливо, використовуються закриті системи зберігання [76, Німеччина, 2006].

#### 1.3.4.2. Оксиди азоту

Процес випалювання клінкеру – це високотемпературний процес, у результаті якого утворюються оксиди азоту (NO<sub>x</sub>). Ці оксиди роблять суттєвий внесок у забруднення повітря заводами з виробництва цементу. Вони утворюються у процесі згорання шляхом з'єднання паливного азоту з киснем у полум'ї або з'єднання атмосферного азоту з киснем у повітрі, що забезпечує згорання палива.

Існує два основних джерела NO<sub>x</sub>:

- термічні NO<sub>x</sub>:
  - частина азоту у повітрі, що забезпечує згорання, реагує з киснем, утворюючи різні оксиди азоту.
  - Це основний механізм утворення оксидів азоту у пічному полум'ї;
- паливні NO<sub>x</sub>:
  - сполуки, що містять азот, хімічно зв'язані у паливі, реагують з киснем у повітрі, утворюючи різні оксиди азоту.

Проте при використанні відходів спостерігаються невеликі зміни у викидах NO<sub>x</sub>:

- Кількість NO<sub>x</sub>, що утворюються у ході первинного випалювання, може бути меншою, якщо паливо з відходів містить воду або потребує більше кисню (впливає на температуру полум'я, яка стає нижчою). Цей ефект можна порівняти з охолодженням полум'я.
- Кількість NO<sub>x</sub>, що утворюються у ході вторинного випалювання / випалювання у попередньому кальцинаторі, може бути нижчою, якщо паливо низького ступеня очищення утворює відновлювальну зону [97, CEMBUREAU, 2007].

Крім того,  $\text{NO}_x$  також можуть утворюватися внаслідок окиснення  $\text{NH}_3$ , якщо ця сполука вприскується для відновлення  $\text{NO}_x$  у зону печі з неналежною температурою, в якій температура нижче, ніж  $1\,000^\circ\text{C}$ .

Термічні сполуки  $\text{NO}_x$  створюють температури понад  $1\,050^\circ\text{C}$ . З міркувань якості клінкеру процес випалювання протікає в окисних умовах, за яких часткове окиснення молекулярного азоту у повітрі, що забезпечує згорання, призводить до утворення монооксиду азоту. Термічні сполуки  $\text{NO}_x$  утворюються головним чином у зоні випалювання печі, де температура достатньо висока для протікання цієї реакції. Кількість термічних сполук  $\text{NO}_x$ , що утворюється в зоні випалювання, залежить як від температури в зоні випалювання, так і від вмісту кисню (коефіцієнта надлишку повітря). Глибина реакції утворення термічних сполук  $\text{NO}_x$  збільшується зі зростанням температури; тому важкоспалювані суміші, для яких потрібна вища температура в зоні випалювання, як правило, утворюють більше термічних сполук  $\text{NO}_x$ , ніж печі з сумішами, які горять легше. Глибина реакції також збільшується зі збільшенням вмісту кисню (коефіцієнта надлишку повітря). Якщо та ж сама піч працюватиме з вищим вмістом кисню (коефіцієнтом надлишку повітря) у її холодному кінці, то у зоні випалювання утвориться більше термічних сполук  $\text{NO}_x$  (хоча викиди  $\text{SO}_2$  та/або  $\text{CO}$  можуть зменшитися).

З оксидів азоту у відхідних газах цементної печі найчастіше зустрічаються  $\text{NO}$  та  $\text{NO}_2$ . Паливні оксиди  $\text{NO}_x$ , що утворюються зі сполук азоту в паливі, мають менше значення. Кількість паливного  $\text{NO}$  (монооксиду азоту), що утворюється у зоні основного випалювання в обертових цементних пічних системах, є незначною. Викиди  $\text{NO}_x$  з цементних печей зазвичай пов'язані з азотом, що міститься у повітрі, радше ніж зі спаленим паливом. Приблизно 95 % оксидів азоту, присутніх у відхідних газах заводів з обертовими печами, припадає на монооксид азоту ( $\text{NO}$ ), а приблизно 5 % – на діоксид азоту ( $\text{NO}_2$ ) [76, Німеччина, 2006], [92, Австрія, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007]. Паливні сполуки  $\text{NO}_x$  утворюються внаслідок згорання азоту, присутнього в паливі, за низьких температур, які переважають у вторинному агрегаті випалювання. Азот, присутній у паливі, з'єднується з іншими атомами азоту, утворюючи газ  $\text{N}_2$ , або реагує з киснем, утворюючи паливні оксиди  $\text{NO}_x$ . У попередньому кальцинаторі переважають температури у діапазоні  $850 - 950^\circ\text{C}$ , недостатньо високі для утворення значної кількості термічних сполук  $\text{NO}_x$ , проте натомість тут будуть утворюватися паливні сполуки  $\text{NO}_x$ . Аналогічним чином, паливні сполуки  $\text{NO}_x$  можуть утворюватися в інших типах систем вторинного спалювання палива у холодному кінці пічної системи – наприклад, у пічному стояку печі з установкою підігрівання у зваженому стані або в камері кальцинування колосникового підігрівача. Тому у печах з попереднім кальцинатором, де до 60 % палива може спалюватися в кальцинаторі, утворення паливних сполук  $\text{NO}_x$  робить значний внесок у загальні викиди  $\text{NO}_x$ . У таких печах утворюється значно менше термічних сполук  $\text{NO}_x$ , ніж у печах, в яких усе паливо спалюється в зоні спікання.

Викиди  $\text{NO}_x$  різняться залежно від того, який пічний процес використовується. Окрім температури та вмісту кисню (коефіцієнта надлишку повітря), на утворення сполук  $\text{NO}_x$  може впливати форма та температура факела, геометрія камери згорання, реактивність палива та вміст азоту в паливі, наявність вологи, доступний час реакції та конструкція пальника.

У середньому за рік європейські цементні печі викидають близько  $785\text{ мг NO}_x/\text{м}^3$  н.у. (у перерахунку  $\text{NO}_2$ ) з мінімальним значенням  $145\text{ мг}/\text{м}^3$  н.у. та максимальним значенням  $2\,040\text{ мг}/\text{м}^3$  н.у. На Рисунку 1.25 та Рисунку 1.26 наведено приклади даних про викиди  $\text{NO}_x$ , зібрані у 2004 році з різних заводів у кількох країнах ЄС-27 та ЄС-23+ та згруповані за коефіцієнтом теплової заміни. Дані про безперервно вимірювані викиди були надані у вигляді середньорічних значень, розрахованих за середньодобовими значеннями. Виміряні значення вказані для  $1\text{ м}^3$  сухого газу за стандартних умов [94, Європейський Союз, 2004], [97, CEMBUREAU, 2007].

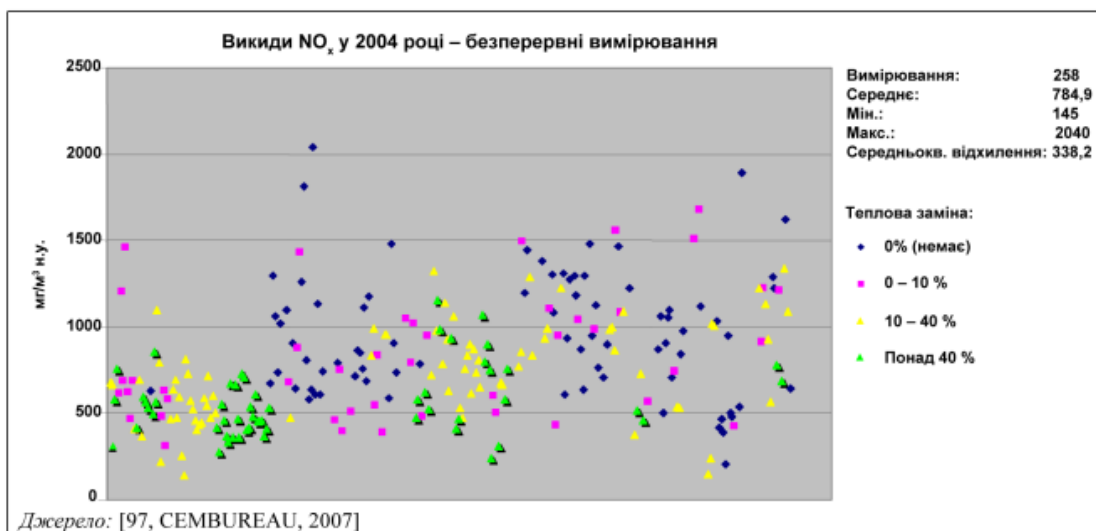


Рисунок 1.25. Викиди NO<sub>x</sub> (у перерахунку на NO<sub>2</sub>) з цементних печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ за 2004 рік, згруповані за коефіцієнтом заміни

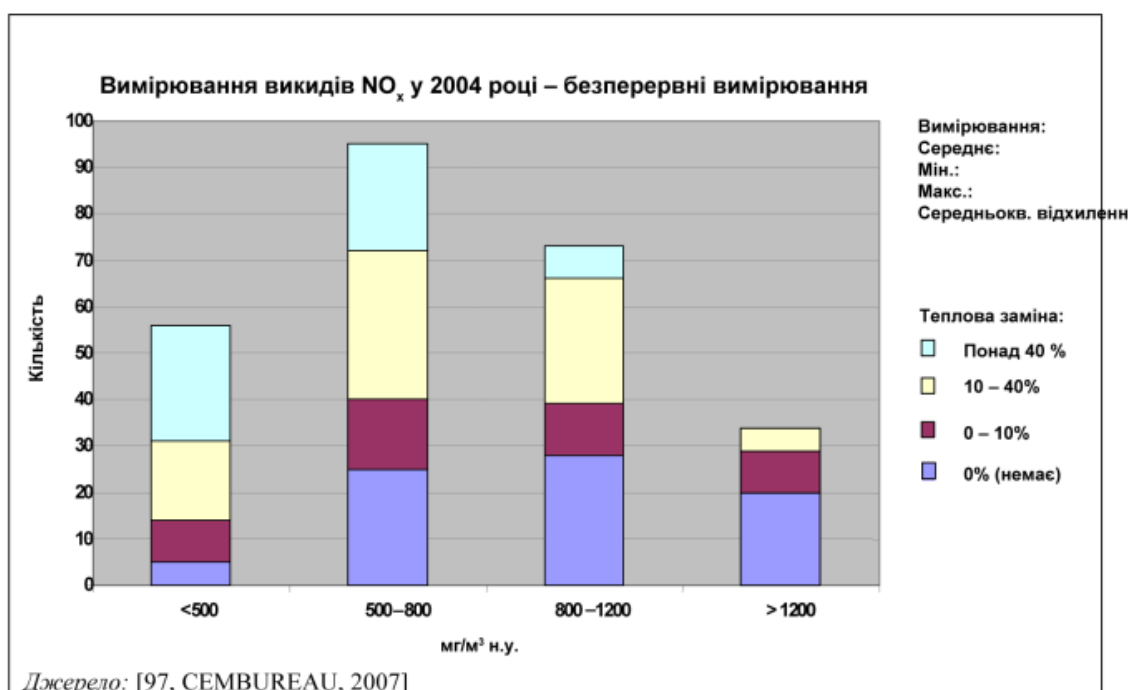


Рисунок 1.26. Розподіл виміряних значень, виражених як рівні NO<sub>x</sub> і згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни

У Австрії середньорічний рівень викидів NO<sub>x</sub> у 2004 році склав 645 мг/м<sup>3</sup> н.у. (усереднене середньорічне значення), визначене на основі безперервного вимірювання за стандартних умов); окремі значення, виміряні як середньорічні значення, варіювалися в діапазоні 313 – 795 мг NO<sub>x</sub>/м<sup>3</sup> н. у. Найвищий та найнижчий діапазони були виміряні на різних заводах. У всіх австрійських печах використовуються первинні технології, у трьох печах реалізоване охолодження факела, у двох печах використовується ступінчасте згорання, а у п'яти печей реалізована технологія селективного некаталітичного відновлення (СНКВ), з яких дві працюють на пілотному етапі. У 2007 році у всіх австрійських цементних печах була реалізована технологія СНКВ [92, Австрія, 2006].

У 2006 році в Німеччині працювало вісім печей зі ступінчастою технологією згорання, а у 34 печах використовувалася технологія СНКВ для відновлення NO<sub>x</sub>. Діапазони концентрацій NO<sub>x</sub> у викидах, середньорічні значення яких склали 200 – 800 мг/м<sup>3</sup> н.у., були виміряні в очищених газах з 43 обертових печей. З 2007 року, через вимоги національного законодавства, німецькі цементні печі повинні дотримуватися граничного



рівня викидів  $\text{NO}_x$  – принаймні  $500 \text{ мг/м}^3$  н.у. Більшість установок з технологією СНКВ, що експлуатуються у Німеччині, спроектовані та/або експлуатуються таким чином, щоб забезпечувати ступені відновлення  $\text{NO}_x$  у діапазоні 10 – 50% та рівні викидів  $\text{NO}_x$  нижче  $500 \text{ мг/м}^3$  н.у. У поєднанні з технологіями, інтегрованими у технологічний процес, вдалося досягти значень викидів у діапазоні середньодобових значень  $200 – 500 \text{ мг/м}^3$  н.у., залежно від конкретного граничного значення викидів, визначеного у дозволі [76, Німеччина, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [173, Німеччина, 2007].

У Швеції високоефективна технологія СНКВ працює з 1997 року у трьох цементних печах. З того часу довготермінові викиди  $\text{NO}_x$  становили близько  $200 \text{ мг/м}^3$  н.у. Середньорічне значення у 2004 році склало  $221 \text{ мг/м}^3$  н.у., а середньомісячні значення варіювалися від  $154$  до  $226 \text{ мг/м}^3$  н.у. Навантаження за  $\text{NO}_x$  становить від  $130$  до  $915$  т/рік [114, Швеція, 2006].

Викиди  $\text{NO}_x$  на фінських цементних заводах, виміряні як середньорічні значення, варіюються від  $500$  до  $1\,200 \text{ мг/м}^3$  н.у. [63, Фінляндія, 2006]. У Чехії було виміряно викиди  $\text{NO}_x$  у діапазоні від  $400$  до  $800 \text{ мг/м}^3$  н.у. [112, Чехія, 2006]. У Франції в 2001 році середнє виміряне значення викидів  $\text{NO}_x$  з 33 цементних заводів склало  $666 \text{ мг/м}^3$  н.у. [116, Франція, 2002]. У Данії, в довгій цементній печі, що працює за мокрим способом, застосовується технологія СНКВ, і за ефективності відновлення  $40 – 50\%$  було зафіксовано рівень викидів  $\text{NO}_x < 800 \text{ мг/м}^3$  н.у. [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

У виробництві білого цементу деякі види сировинних матеріалів важко перетворити у клінкер під час процесу випалювання: вони потребують вищих температур полум'я, залежно від їх кристалографічної структури чи мінералогічного складу. Одним з таких особливих випадків є виробництво білого клінкеру, у якому через відсутність спікальних металевих добавок температури клінкеру приблизно на  $150^\circ\text{C}$  вищі, ніж температури сірого клінкеру. Вищі температури полум'я також призводять до більш інтенсивного утворення теплових сполук  $\text{NO}_x$  [120, Іспанія, 2007].

Технології відновлення  $\text{NO}_x$  у цементній промисловості описані у розділі 1.4.5.1. Крім того, у Таблиці 1.33 в розділі 1.4.5.1 наведена відома кількість повномасштабних установок з технологіями зниження викидів  $\text{NO}_x$ , що існували у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ станом на 2008 рік.

Для відновлення  $\text{NO}_x$  використовується охолодження полум'я. Повідомлялося про ступені/ефективність відновлення у діапазоні 10 – 35%. Зафіксовані діапазони викидів, яких вдалося досягти за допомогою охолодження полум'я, показані на Рисунку 1.27. Два заводи досягли рівнів викидів менше  $500 \text{ мг/м}^3$  н.у., сім заводів досягли діапазону викидів  $500 – 800 \text{ мг/м}^3$  н.у., а 11 заводів досягли діапазону викидів  $800 – 1\,000 \text{ мг/м}^3$  н.у. (середньорічні значення). У порівнянні з цими діапазонами викидів, яких вдалося досягти на кількох заводах, на Рисунку 1.28 показані діапазони викидів  $\text{NO}_x$ , яких вдалося досягти на кількох цементних заводах без застосування охолодження полум'я. Лише на малій кількості заводів вдалося досягти нижчого діапазону викидів  $\text{NO}_x$ .

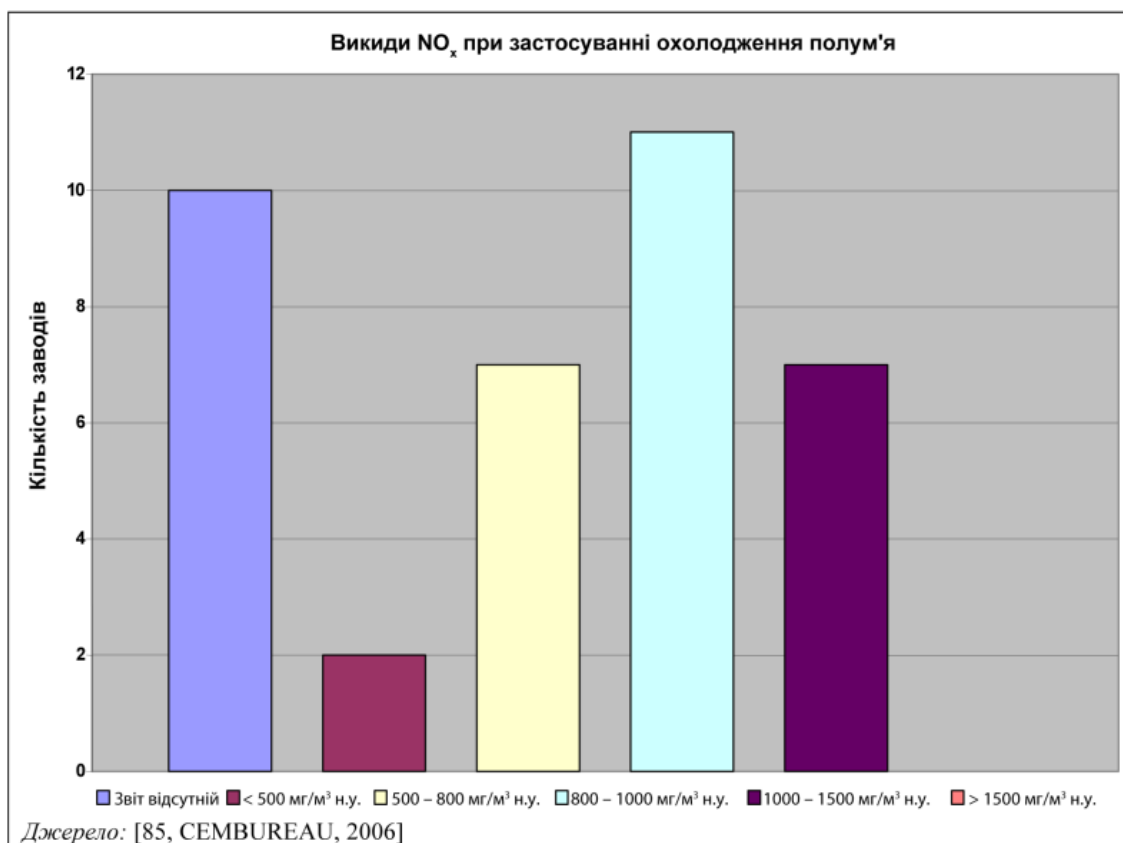


Рисунок 1.27. Діапазони викидів NO<sub>x</sub>, яких вдалося досягти шляхом застосування охолодження полум'я на кількох цементних заводах у країнах ЄС-23+

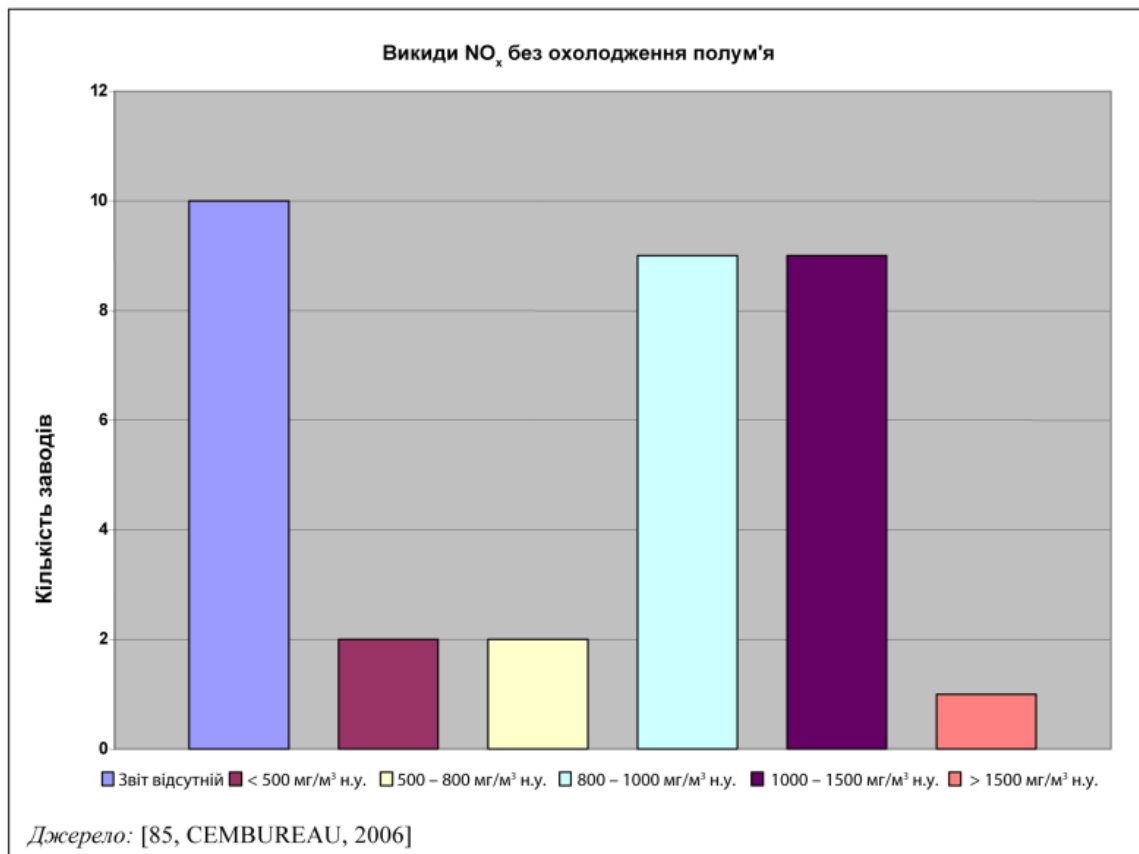


Рисунок 1.28. Діапазони викидів NO<sub>x</sub>, яких вдалося досягти на кількох цементних заводах у країнах ЄС-23+ без застосування охолодження полум'я

Як видно з Рисунка 1.29 та Рисунка 1.30, використання технології СНКВ для відновлення  $\text{NO}_x$  на цементних заводах дає змогу досягти меншого діапазону викидів  $\text{NO}_x$  у порівнянні з цементними заводами, на яких не використовується технологія СНКВ (показані середньорічні значення).

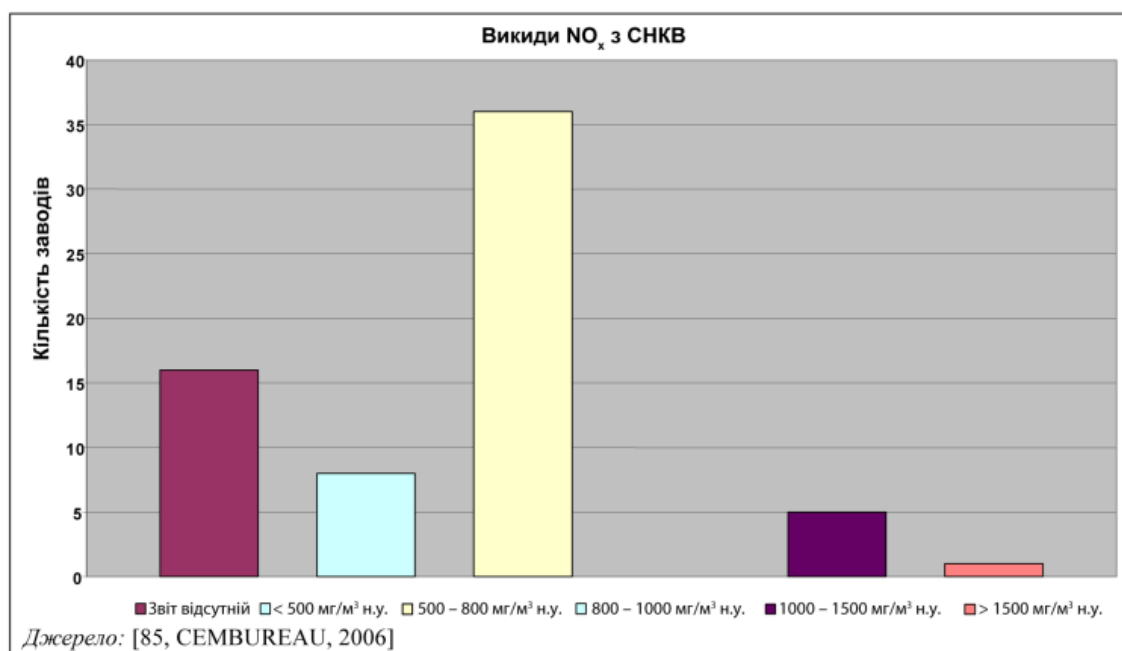


Рисунок 1.29. Викиди  $\text{NO}_x$ , яких вдалося досягти на кількох цементних заводах шляхом застосування СНКВ для відновлення  $\text{NO}_x$

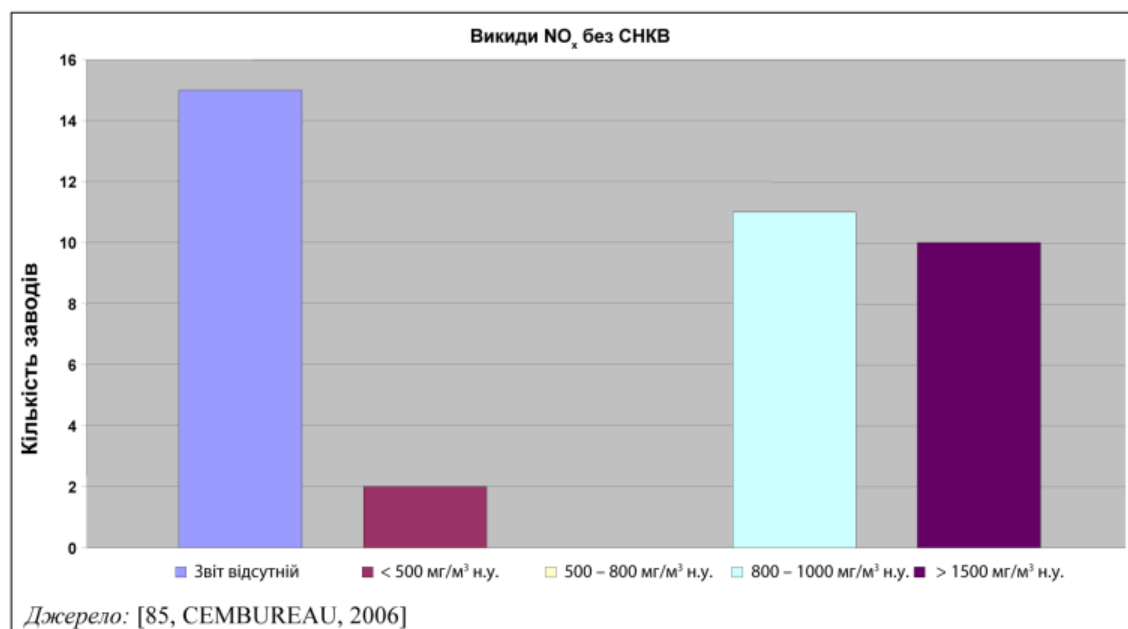


Рисунок 1.30. Діапазони викидів  $\text{NO}_x$ , яких вдалося досягти на кількох цементних заводах без застосування СНКВ

### 1.3.4.3. Діоксид сірки

Викиди  $\text{SO}_2$  з цементних заводів залежать від загальної кількості сполук сірки, що подаються в систему, та від типу технологічного процесу, що використовується, і визначаються головним чином вмістом легкої сірки у сировині та, можливо, в паливі. Утворення та потенційні викиди  $\text{SO}_x$  також залежать від циркуляції сірки, що виникає у пічній системі. Сірка викидається через різні вихідні потоки пічної системи – наприклад, у вигляді  $\text{SO}_2$  в відхідних газах, у вигляді  $\text{CaSO}_4$  та інших об'єднаних сполук у складі клінкеру та пилу. Проте більша частина сірки включається у склад клінкеру або викидається з системи у ході технологічного процесу.

Залежно від своїх відповідних покладів, різні види сировинних матеріалів можуть містити сірку, зв'язану у вигляді сульфату або сульфідів. Сульфати – це стійкі сполуки, які зазнають лише часткового хімічного розкладу під дією високих температур, що переважають у зоні спікання обертових пічних систем і можуть зростати внаслідок створення локалізованих відновлювальних умов та згорання палива і відходів. Відповідно, сірка, присутня у формі сульфату, більш-менш повністю виводиться з пічної системи разом з клінкером, якщо це необхідно для якості клінкеру. Сульфідів, навпаки, окиснюються у підігрівачі і частково викидаються у вигляді діоксидів сірки.

Сірка, внесена у пічну систему разом з паливом, окиснюється до  $\text{SO}_2$  і не призводить до значних викидів  $\text{SO}_2$  через сильні лужні умови у зоні спікання, зоні кальцинування та на нижньому ступені підігрівача. Ця сірка потрапляє в зону кальцинування пічної системи разом з невеликими концентраціями  $\text{SO}_2$ , що утворюються в результаті часткового розкладу сульфатів у зоні спікання. У зоні кальцинування  $\text{SO}_2$  реагує, зокрема (окрім іншого), з лугами та лужними сульфатами, похідними від сировини. Контактуючи з частково декарбонізованою сировинною мукою, надлишок  $\text{SO}_2$  реагує, спочатку утворюючи  $\text{CaSO}_3$ , а потім  $\text{CaSO}_4$ . Ці сульфати знову потрапляють в обертову піч. Таким чином виникають цикли сірки, які перебувають у рівновазі з сіркою, що виводиться разом з клінкером (Рисунок 1.31).

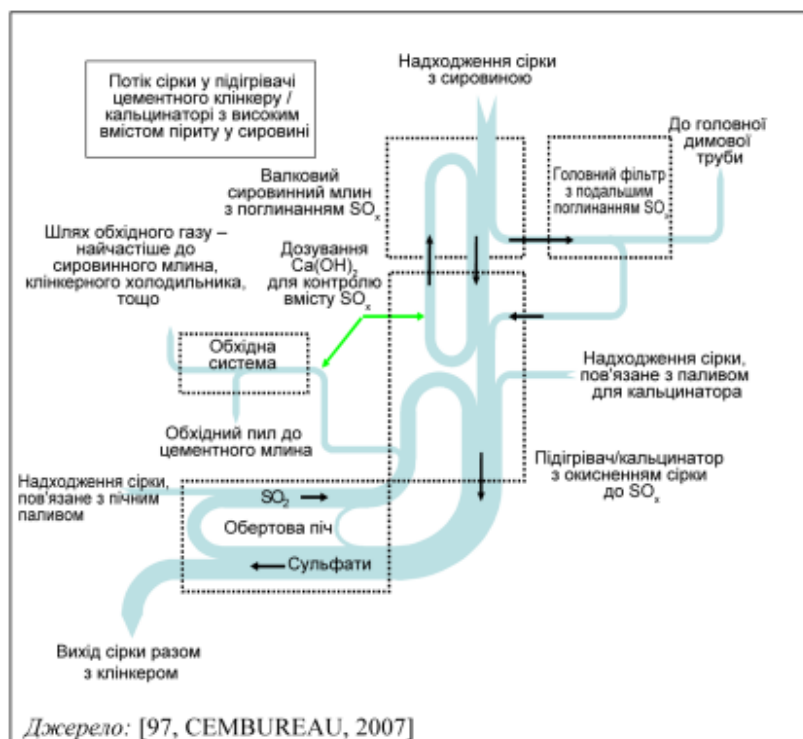


Рисунок 1.31. Схема потоків сірки у цементній печі з підігрівачем / попереднім кальцинатором

У зоні кальцинування обертової печі ідеальні умови для уловлювання  $\text{SO}_2$  з відхідних газів печі. Проте викиди  $\text{SO}_2$  можуть виникати у випадках, коли умови роботи пічної системи – наприклад, концентрація кисню в обертовій печі – не оптимізовані для уловлювання  $\text{SO}_2$ . Крім того, на ефективність реакції можуть впливати різні фактори, такі як температура,

вміст вологи, час перебування газу в системі, концентрація оксидів у газоподібній фазі, наявність твердої поверхні часток, тощо [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [76, Німеччина, 2006], [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007].

Підвищених рівнів викидів  $\text{SO}_2$  слід очікувати, якщо сировинні матеріали містить органічну сірку, і особливо тоді, коли сірка у складі сировини присутня у вигляді легкоокиснюваної сполуки, наприклад, піриту чи марказиту. На відміну від сульфатних компонентів сировини, ці легкоокиснювані сполуки можуть перетворюватися на  $\text{SO}_2$  ще на верхніх циклонних ступенях. За цих умов концентрації викидів  $\text{SO}_2$ , пов'язані з сировиною, можуть досягати  $1,2 \text{ г/м}^3$  н.у., а в окремих випадках бути навіть вищими, якщо не передбачено вторинних технологій контролю викидів.

Проте в печах, у яких використовується сировина, що містить мало або взагалі не містить легкої сірки, виникає мало проблем з викидами  $\text{SO}_2$ , а у деяких печах концентрації викидів у димових газах менші, ніж  $10 \text{ мг/м}^3$  н.у., без застосування методів зниження викидів; при цьому концентрація викидів  $\text{SO}_2$  зростає зі зростанням вмісту легкої сірки у сировині, що використовується.

Викиди  $\text{SO}_2$  можна значно зменшити шляхом застосування вторинних технологій контролю – наприклад, використання гідроксиду кальцію. На Рисунку 1.32 показані виміряні рівні  $\text{SO}_2$  в очищених газах від цементних заводів у країнах ЄС-25 [97, CEMBUREAU, 2007].

$\text{SO}_2$  – це основна (99 %) сполука сірки у викидах, хоча також утворюється деяка кількість  $\text{SO}_3$ , а за відновлювальних умов сполуки можуть перетворюватися в  $\text{H}_2\text{S}$ . Сірка, що зустрічається в сировині у вигляді сульфідів та сірка, об'єднана в органічні сполуки, випаровується, і 30 % або більше такої сірки можуть викидатися з першого ступеня підігрівача.

На відміну від зони кальцинування, від 40 до 85 % утвореного  $\text{SO}_2$  знову захоплюється у підігрівачі. Окрім вмісту водяної пари у відхідних газах печі, ключовими параметрами, що впливають на захоплення  $\text{SO}_2$  карбонатом кальцію  $\text{CaCO}_3$  у циклонному підігрівачі, є вміст пилу в неочищених газах та, особливо, концентрацію кисню в неочищених газах на крайньому верхньому циклонному ступені. Надлишок кисню (від 1 до 3 %  $\text{O}_2$ , що підтримується в печі для забезпечення задовільної якості цементної продукції) зазвичай відразу окиснює будь-які вивільнені сульфідні сполуки з утворенням  $\text{SO}_2$ . У довгих печах контакт  $\text{SO}_2$  з лужним матеріалом не такий сприятливий, і присутність сірки в палива (наприклад, паливі з відходів) може призводити до значних викидів  $\text{SO}_2$ .

За вмісту близько 10 %, ефективність захоплення  $\text{SO}_2$  в установці кондиціонування газу / випарному охолоджувачі порівняно низька. У помельно-сушильному агрегаті, навпаки, при роздрібненні матеріалу постійно відкриваються нові високоактивні поверхні часток, готові до захоплення  $\text{SO}_2$ . Процес сушіння гарантує, що газова атмосфера буде завжди насичена водяною парою, яка покращує поглинання. Досвід заводів, що працюють у сумісному режимі, показав, що в сировинному млині може бути захоплено від 20 до 70 %  $\text{SO}_2$ . До факторів, що впливають на захоплення  $\text{SO}_2$ , належать вміст вологи у сировині, температура у млині, час перебування матеріалу у млині, а також тонина перемеленого матеріалу. Отже, важливо, щоб помел сировини був оптимізований таким чином, аби сировинний млин міг виконувати функцію зниження викидів  $\text{SO}_2$  для печі [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [76, Німеччина, 2006], [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007].

Незважаючи на те, що більша частина сірки залишається в клінкері у вигляді сульфату, викиди  $\text{SO}_2$  з сировини, яка містить багато легкої сірки, можуть бути значними і вважатися однією з основних забруднюючих речовин.

#### *Відхилення від звичайних умов роботи*

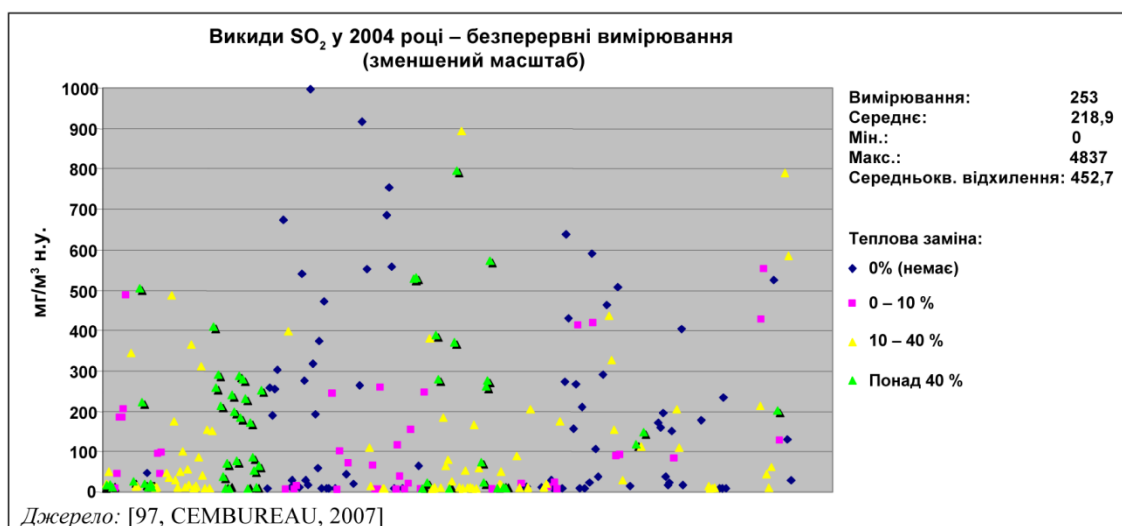
Події, за яких порушуються звичайні умови роботи, призводять до збільшення викидів  $\text{SO}_2$  – це стосується, наприклад, згорання палива у відновлювальних умовах, яке обмежує можливу ефективність поглинання сірки:

- неповне згорання у попередньому кальцинаторі, або неналежне згорання палива низького ступеня очищення, отриманого з відходів, у холодному кінці печі;

- надто висока температура у зоні випалювання, яка може траплятися у печах, що працюють на паливній суміші, яка має дуже низьку горючість;
- надлишок сірки внаслідок присутності лугів у матеріалі, що випалюється в печі;
- вкрай інтенсивна рециркуляція сірки між піччю на ступенях підігрівача.

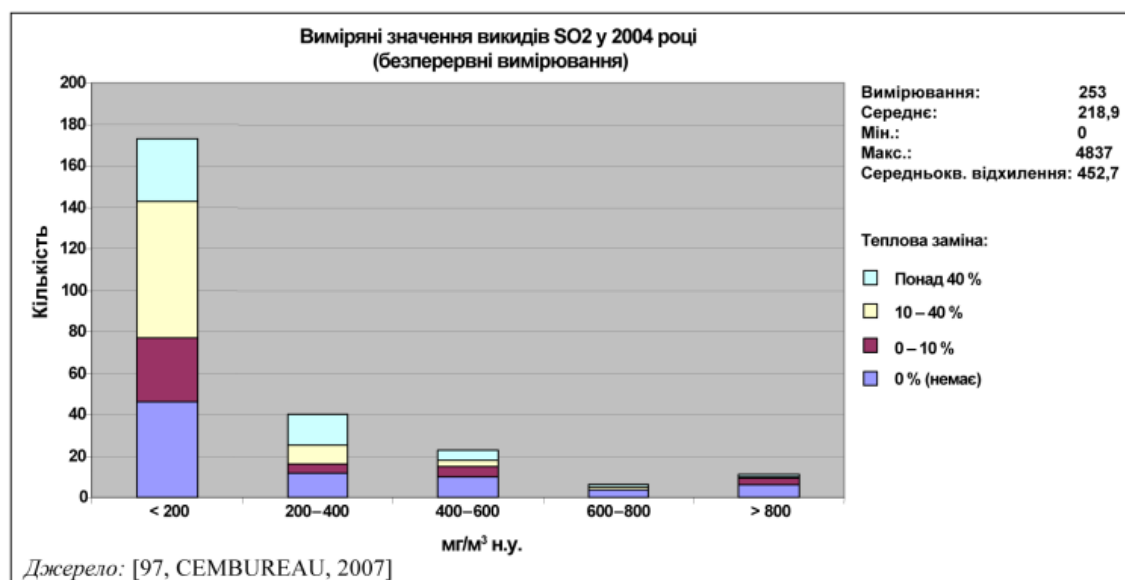
У 2004 році з різних заводів, що знаходяться у кількох країнах ЄС-27 та ЄС-23, були зібрані дані про приклади викидів SO<sub>2</sub>. Дані про безперервно вимірювані викиди були надані у вигляді середньорічних значень, розрахованих за середньодобовими значеннями. Виміряні значення вказані для 1 м<sup>3</sup> сухого газу за стандартних умов. Виміряні значення вмісту SO<sub>2</sub> в очищених газах були зібрані з 253 оберткових печей. 11 вимірювань перевищували діапазон шкали. З них сім відповідали нульовому коефіцієнту заміни, три відповідали коефіцієнту заміни від 0 до 10, а одне відповідало коефіцієнту заміни понад 40, як показано на Рисунку 1.32 [97, CEMBUREAU, 2007]. Проте на швейцарському цементному заводі було виявлено діапазони концентрацій в очищеному газі 1 400 – 1 700 мг/м<sup>3</sup> н.у. з піковими значеннями до 3000 мг/м<sup>3</sup> н.у. [86, EURITS, 2006].

Велика частка SO<sub>2</sub> абсорбується і утримується цементним клінкером та пилом цементної печі (ПЦП) – це також показано на Рисунку 1.32. Використання палива з відходів не впливає на загальні викиди SO<sub>2</sub>. У довгих оберткових печах контакт SO<sub>x</sub> з лужними матеріалами менш ефективний, а присутність сірки в паливі може призводити до викидів SO<sub>x</sub>.



**Рисунок 1.32.** Виміряні значення вмісту SO<sub>2</sub> в очищених газах від цементних заводів у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

Групування та розподіл цих викидів SO<sub>2</sub> показано на Рисунку 1.33 [97, CEMBUREAU, 2007].



**Рисунок 1.33. Розподіл вимірних значень, виражених як рівні SO<sub>2</sub> і згрупованих за коефіцієнтами теплової заміни**

У випадку виробництва білого цементу різні умови та їх поєднання у певних випадках можуть призвести до значно нижчої здатності клінкеру утримувати в собі сірку, що надходить з паливом, а отже, до вищих викидів SO<sub>2</sub>. Ці умови такі:

- низька обпалюваність сировинної муки;
- низький вміст лугів у матеріалі, що завантажується в піч, через високий ступінь чистоти сировини;
- умови в печі, як-от у цілому відновлювальна атмосфера;
- конфігурація печі: широко використовуються печі Леполя, а у сучасних печах з підігрівачами кількість циклонів може бути обмежена хімічним складом сировини (балансом лугів та сірки) [120, Іспанія, 2007].

#### 1.3.4.4. Оксиди вуглецю (CO<sub>2</sub>, CO)

##### 1.3.4.4.1. Вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>)

Викиди CO<sub>2</sub> за оцінками становлять від 900 до 1 000 кг/тону сірого клінкеру за питомого споживання тепла від приблизно 3 500 до 5 000 МДж/тону клінкеру, проте це значення також залежить від типу палива. Завдяки помелу цементу з мінеральними добавками викиди CO<sub>2</sub> на тону цементу зменшуються (для порівняння – Рисунок 1.19). Приблизно 62 % вуглекислого газу утворюється у процесі кальцинування, а 38 % пов'язані зі згоранням палива. Викиди CO<sub>2</sub> у результаті згорання вуглецевого вмісту палива прямо пропорційні питомому споживанню тепла, а також відношенню вмісту вуглецю до теплоти згорання палива. Протягом останніх 25 років викиди CO<sub>2</sub> за рахунок згорання палива неухильно зменшувалися і досягли приблизно 30 %: цього вдалося досягти головним чином завдяки впровадженню пічних процесів, які краще економлять паливо.

Інформація про викиди CO<sub>2</sub> та схему торгівлі квотами на викиди наведена у Директиві 2003/87/ЕС Європейського парламенту та Ради від 13 жовтня 2003 року, що встановлює схему торгівлі дозволами на викиди парникових газів у межах Європейської спільноти, та наступній поправці до неї, що вноситься Директивою 2009/29/ЕС [99, Європейський Союз, 2003] [191, Європейський Союз, 2009]. Крім того, інформація щодо моніторингу та звітування про викиди парникових газів за Директивою щодо торгівлі квотами на викиди наведена у Рішенні Європейської комісії від 29 січня 2004 року (2004/156/ЕС) та Рішенні Європейської комісії від 18 липня 2007 року (2007/589/ЕС) [122, Європейська комісія, 2004] [193, Європейський Союз, 2007].

### 1.3.4.4.2. Монооксид вуглецю (CO)

Викиди CO та органічно зв'язаного вуглецю у процесі випалювання клінкеру зазвичай спричинені невеликою кількістю органічних компонентів, що подаються у піч з природними сировинними матеріалами (рештки організмів та рослин, що збереглися у породі в ході геологічної історії). Ці сполуки перетворюються під час підігрівання матеріалу, завантаженого у піч, і окиснюються до CO та CO<sub>2</sub>. У цьому процесі також утворюються невеликі кількості органічних слідів газів, таких як загальний органічний вуглець. Тому, коли мова йде про процес випалювання клінкеру, вміст CO та органічних слідів газів в очищених газах не дозволяє зробити жодних висновків про умови згорання.

Проте за поганого згорання та неналежних умов горіння при вторинному випалюванні можуть утворюватися додаткові викиди CO. З іншого боку, слід відзначити, що таке збільшення інтенсивності викидів CO збігається зі зниженням викидів NO<sub>x</sub>. Проте відновлювальні умови можуть сприятливо впливати на викиди SO<sub>x</sub>.

На установках перетворення енергії, таких як електростанції, концентрації CO та органічно зв'язаного вуглецю у відхідних газах є індикатором повноти згорання палива. Процес випалювання клінкеру, навпаки, є процесом перетворення матеріалу, який завжди повинен протікати з надлишком повітря з міркувань забезпечення якості клінкеру. Разом з довшим часом перебування у діапазоні високих температур, це призводить до повного згорання палива [76, Німеччина, 2006].

Залежно від покладу сировини, з природною сировиною у процес вноситься від 1,5 до 6 г органічного вуглецю на кг клінкеру. Випробування з використанням сировинної муки різного походження показали, що 85 – 95 % органічних сполук у сировині перетворюються в CO<sub>2</sub> у присутності 3 % кисню, але водночас 5 – 15% перетворюються в CO. Частка сполук, що викидаються у вигляді летких органічних сполук вуглецю (ЛОС), за таких умов набагато нижча, ніж 1 %. Концентрація CO може сягати 1 000 мг/м<sup>3</sup> н. у., а в деяких випадках перевищувати 2 000 мг/м<sup>3</sup> н. у. або навіть бути більшою, ніж 5 000 мг/м<sup>3</sup> н. у., як показано на Рисунку 1.34. Проте більшість прикладів цих концентрацій викидів CO, що безперервно вимірювалися у 29 німецьких обертових печах, знаходяться в діапазоні середньорічних значень від 200 до 2 200 мг/м<sup>3</sup> н. у. (межа виявлення CO 1,8 – 2,5 мг/м<sup>3</sup> н. у.) [9, SEMBUREAU, листопад 1997], [76, Німеччина, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007]. Для гарантовано стабільної швидкості подавання твердого палива з мінімумом піків вкрай важливою є правильна конструкція бункера, транспортного конвеєра та живильника – інакше можливе субстехіометричне згорання, яке може призвести до появи короточасних піків понад 0,5 % CO. Це створює додаткову проблему: електрофільтр для зниження викидів, якщо він присутній, повинен буде автоматично вимкнутися для уникнення вибуху.



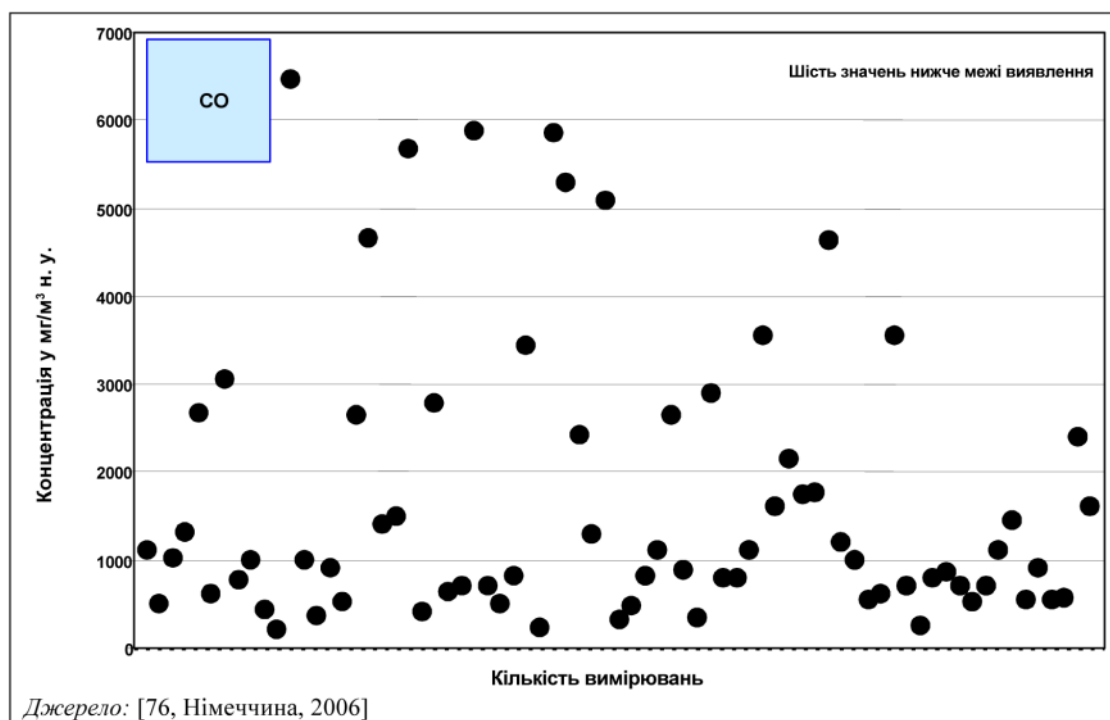


Рисунок 1.34. Значення концентрацій викидів CO, виміряні в очищених газах з 29 німецьких обертових печей у 2004 році

#### 1.3.4.5. Загальні органічні сполуки (ЗОВ – загальний органічний вуглець)

У теплових процесах (процесах згорання) поява легких органічних сполук (та монооксиду вуглецю) загалом часто пов'язана з неповним згоранням. У цементних печах в нормальному стаціонарному режимі викиди будуть низькими з огляду на тип печі, що використовується, довгий час перебування газів у печі, високу температуру, характер полум'я (2 000 °C) та умови надлишку кисню. Це умови технологічного процесу, за яких органічні сполуки розкладаються і розпадаються з високою ефективністю (>99,9999 %) [86, EURITS, 2006], [97, SEMBUREAU, 2007]. Концентрації сполук можуть збільшуватися під час пуску або за аномальних (нештатних) умов роботи. Такі події трапляються зі змінною частотою – наприклад, від одного-двох разів на тиждень до одного разу на два-три місяці.

Викиди легких органічних сполук (ЛОС) можуть виникати на первинних етапах технологічного процесу (підігрівач, попередній кальцинатор), коли органічна речовина, присутня у сировинній муці, переходить в легкий стан по мірі нагрівання матеріалу, завантаженого в піч. Органічна речовина вивільняється за температур від 400 до 600 °C. Вміст ЛОС у відхідних газах від цементних печей, виміряний як вміст ЗОВ, зазвичай знаходиться у діапазоні від 1 до 80 мг/м<sup>3</sup> н. у., як показано на Рисунку 1.35. Проте зрідка викиди можуть досягати 120 мг/м<sup>3</sup> н. у. через характеристики сировини. У 2004 році було зібрано приклади даних про викиди ЗОВ на різних заводах, що знаходяться в кількох країнах ЄС-27 та ЄС-23+. Значення, отримані шляхом безперервного вимірювання вмісту ЗОВ в очищених газах, були зібрані зі 120 обертових печей, а розподіл цих вимірних значень, виражених як рівні ЗОВ, також був згрупований за коефіцієнтами теплової заміни, як показано на Рисунку 1.35 та Рисунку 1.36. Дані про безперервно вимірювані викиди були надані у вигляді середньорічних значень, розрахованих за середньодобовими значеннями. Виміряні значення вказані для 1 м<sup>3</sup> н.у. сухого газу за стандартних умов [9, SEMBUREAU, листопад 1997], [97, SEMBUREAU, 2007]. У результаті безперервних вимірювань для 27 німецьких обертових печей отримано приклади концентрацій викидів вуглецю до 75 мг/м<sup>3</sup> н. у. (середньорічне значення), як показано на Рисунку 1.37. Більшість вимірних значень знаходяться у діапазоні нижче 30 мг/м<sup>3</sup> н. у. (середньорічне значення)

(межа виявлення 1,5 – 2,1 мг/м<sup>3</sup> н. у.) [76, Німеччина, 2006].

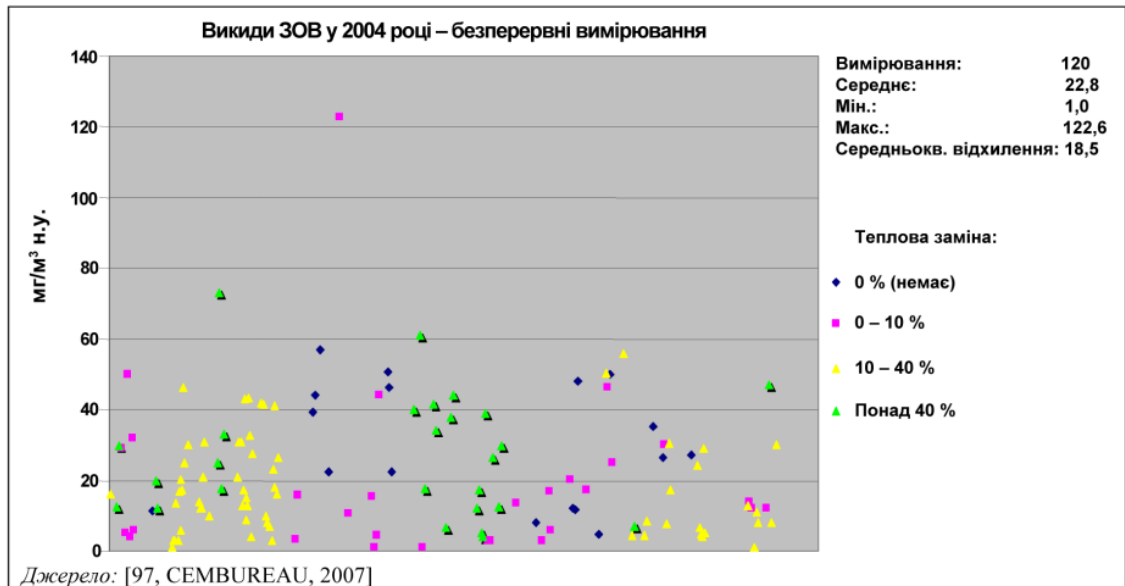


Рисунок 1.35. Значення викидів ЗОВ, отримані шляхом безперервного вимірювання, в очищених газах цементних печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

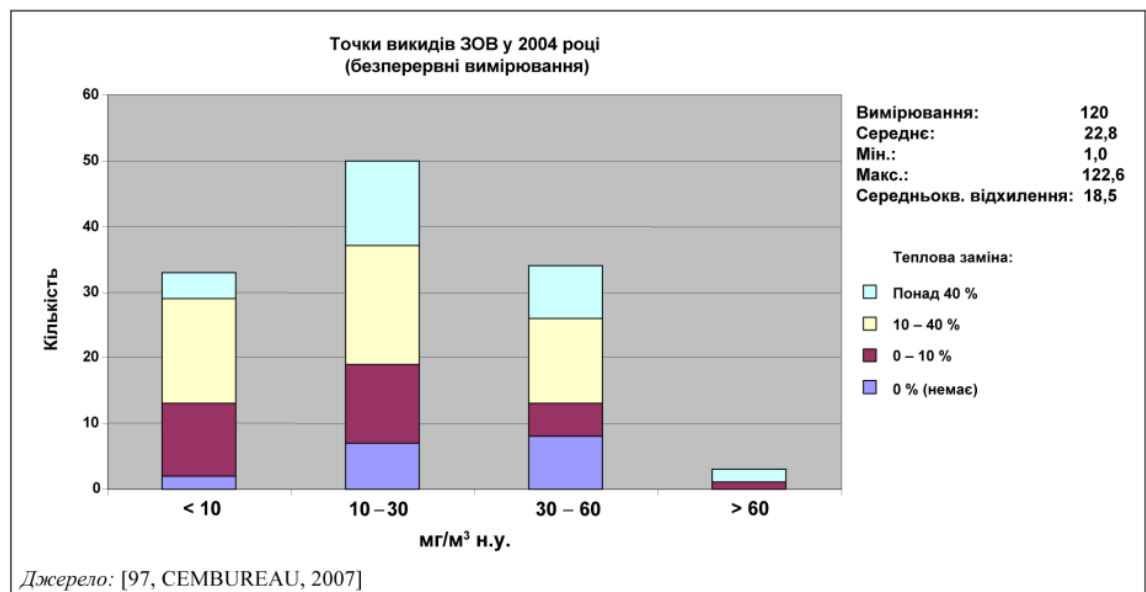


Рисунок 1.36. Розподіл результатів безперервних вимірювань, виражених як рівні ЗОВ і згрупованих за коефіцієнтами теплової заміни

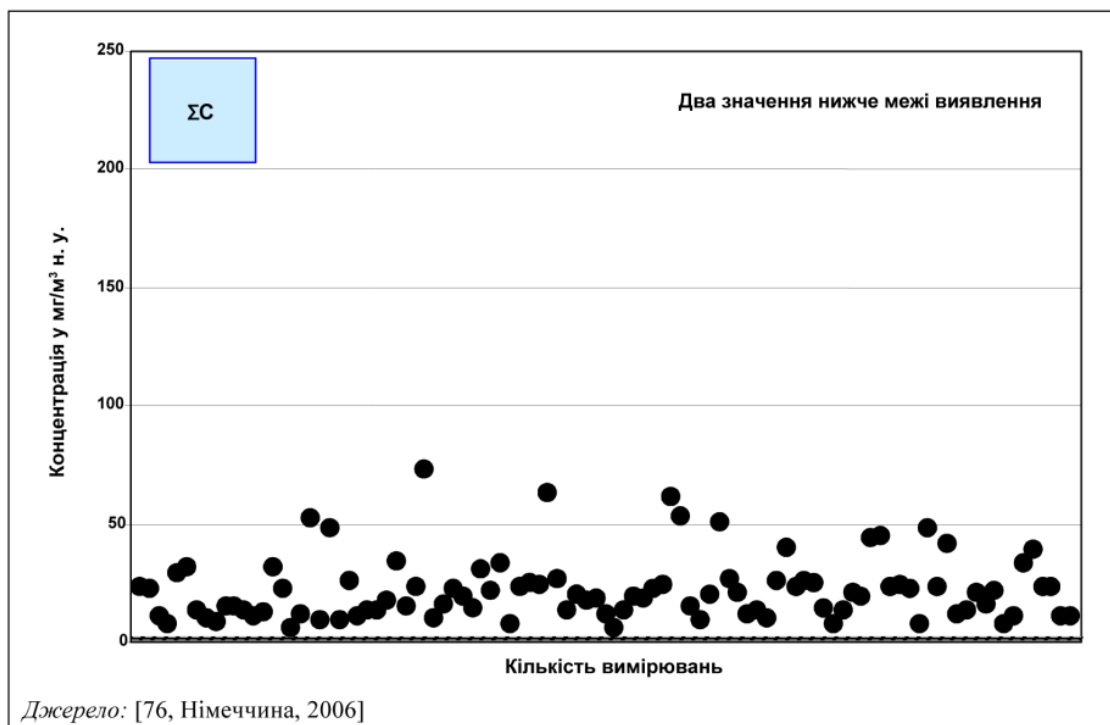


Рисунок 1.37. Значення концентрацій викидів загального органічного вуглецю, виміряні в очищених газах з 27 німецьких обертових печей у 2004 році

#### 1.3.4.6. Поліхлоровані дибензопарадіоксини (ПХДД) та дибензофурані (ПХДФ)

ПХДД/Ф можуть з'являтися у результаті поєднання механізмів їх утворення залежно від конструкції печі та схеми технологічного процесу, умов згорання, характеристик матеріалу, що завантажується в піч, і типу та роботи обладнання для контролю викидів. Крім того, будь-яке надходження хлору у присутності органічного матеріалу потенційно може призвести до утворення ПХДД/Ф у тепловому процесі (процесі згорання). ПХДД/Ф можуть утворюватися у підігрівачі / після нього та у пристрої контролю забруднення повітря, якщо у достатніх кількостях наявні їх прекурсори – хлор та вуглеводні (також див. розділ 1.2.4). Проте для утворення ПХДД/Ф та їх наступних викидів повинні одночасно бути присутні п'ять факторів:

- вуглеводні;
- хлориди;
- каталізатор:
  - деякі звіти свідчать, що  $\text{Cu}^{2+}$  (та  $\text{Fe}^{2+}$ ) діють як каталізатор;
- належне температурне вікно:
  - від 200 до 450 °C з максимумом при 300 – 325 °C;
- довгий час перебування у належному температурному вікні.

Крім того, у газовому потоці повинен бути присутній молекулярний кисень. Інтенсивність утворення зростає зі збільшенням концентрації кисню з порядком реакції 0,5.

Як було згадано вище, повторне утворення ПХДД/Ф відбувається, як відомо, шляхом новоутворення у температурному вікні охолодження з 450 до 200 °C. Таким чином, важливо, щоб при виході газів з пічної системи вони швидко охолоджувалися на весь цей діапазон. На практиці саме це трапляється у системах підігрівачів, коли сировина, що надходить, підігрівається пічними газами. У підігрівачі не очікується підвищених концентрацій ПХДД/Ф, оскільки для нього властива вища температура, за якої ПХДД/Ф розпадаються. За температур близько 925 °C ПХДД/Ф швидко розкладаються. Крім того, їх розпаду сприяє динамічний процес транспортування матеріалу у гарячіші зони, у той час як газ переходить у холодніші зони. ПХДД та ПХДФ, адсорбовані завантаженим у піч матеріалом, транспортуються у зони з вищою температурою (400 – 600 °C), де вони розпадаються під впливом тепла або розкладаються на легші гомологи.

Вони вивільняються у газоподібній фазі, а у холодніших зонах (200 – 300 °С) знову осаджуються на завантажений у піч матеріал. Крім того, внаслідок довгого часу перебування в печі та високих температур викиди ПХДД/Ф за усталених умов в печі загалом низькі. Детальні дослідження та вимірювання показали, що викиди ПХДД/Ф від цементної промисловості на сьогодні можна оцінити як низькі, навіть якщо в якості палива використовуються відходи та небезпечні відходи. Виміряні дані були зібрані з печей, що працюють як за мокрим, так і за сухим процесом, з різними умовами роботи та з використанням великого розмаїття відходів і небезпечних відходів, що подаються як в основний палик, так і в завантажувальний кінець печі (підігрівач / попередній кальцинатор). У цих дослідженнях було зроблено висновок, що у Європі цементне виробництво рідко є суттєвим джерелом викидів ПХДД/Ф, тому що:

- більшість цементних печей можуть підтримувати рівень викидів 0,1 нг I-TEQ/м<sup>3</sup> н.у., якщо застосовуються первинні технології (див. розділ 1.4.6);
- використання відходів як палива та як сировини, що подається в основний палик, завантажувальний кінець печі чи попередній кальцинатор, схоже, не впливає на викиди стійких органічних забруднювачів (СОЗ) і не змінює їх [88, Фонд промислових і технічних досліджень Норвегії (SINTEF), 2006].

У 2004 році були зібрані дані про приклади викидів ПХДД/Ф на різних заводах, що знаходяться у країнах ЄС-27 та ЄС-23+. Виміряні значення вмісту ПХДД/Ф в очищених газах були отримані шляхом точкового вимірювання, як показано на Рисунку 1.38 та Рисунку 1.39. Виміряні значення вказані для 1 м<sup>3</sup> сухого газу за стандартних умов [97, SEMBUREAU, 2007]. Як видно з Рисунка 1.38, повідомлені дані вказують, що більшість цементних печей у Європі здебільшого здатні дотримуватися концентрації викидів у 0,1 нг I-TEQ/м<sup>3</sup> н. у., яка є граничним значенням для сміттєспалювальних заводів, встановленим у Директиві. Німецькі вимірювання концентрації ПХДД/Ф в очищених газах 39 обортових печей (печі з установкою для підігрівання у зваженому стані та печі Леполя) вказують, що концентрації викидів загалом значно нижчі, ніж 0,1 нг I-TEQ/м<sup>3</sup> н.у., у той час як середні значення концентрацій становлять менше, ніж 0,02 м<sup>3</sup> н.у., як показано на Рисунку 1.40. У 26 випадках викидів ПХДД/Ф не було виявлено. У Іспанії вимірювання рівнів ПХДД/Ф були проведені у період з 2000 по 2003 рік і налічували 89 вимірювань для 41 печі, які становлять 69,5 % усієї області дослідження. Ці дослідження були проведені для різних видів палива, що використовуються у процесі випалювання в печі. Для печей, що використовують паливо з відходів – наприклад, паливо з твердих побутових відходів (ПТПВ), – коефіцієнти викидів знаходяться в діапазоні 0,83 – 133 нг I-TEQ/t<sub>клинкеру</sub> і є цілком зіставними з результатами, отриманими для завантаження в печі викопного палива з коефіцієнтами викидів у діапазоні 0,67 – 246 нг I-TEQ/t<sub>клинкеру</sub> [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [76, Німеччина, 2006], [86, EURITS, 2006], [88, SINTEF, 2006], [91, SEMBUREAU, 2006], [150, Фабрельяс/Ларрасабаль/Мартінес/Санс/Руїс/Абад/Рівера (Fabrellas/Larrazabal/Martinez/Sanz/Ruiz/Abad/Rivera), 2004].

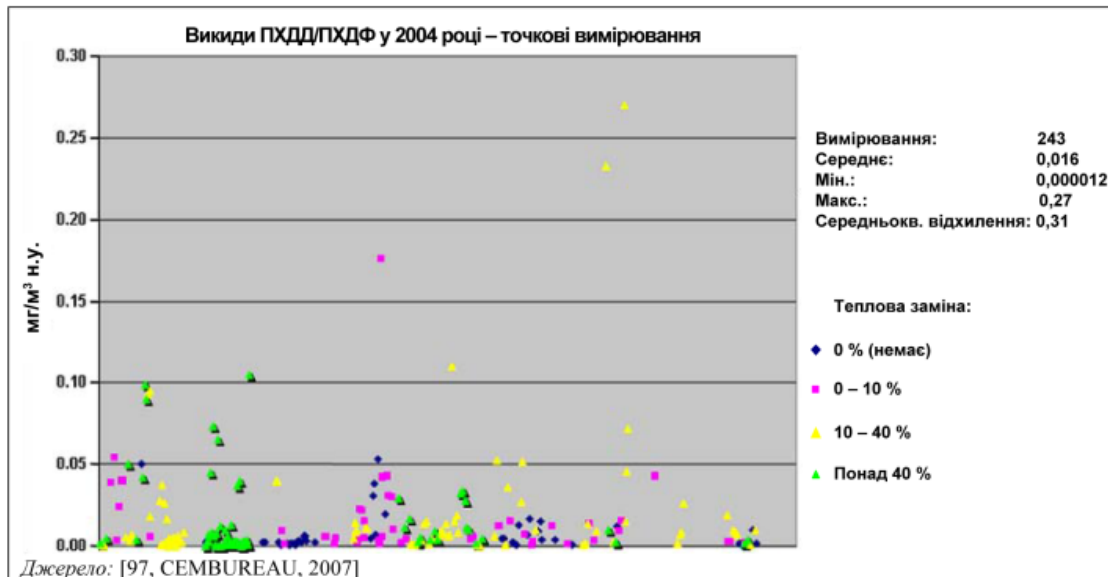


Рисунок 1.38. Викиди ПХДД/Ф у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ в 2004 році, згруповані за коефіцієнтом теплової заміни

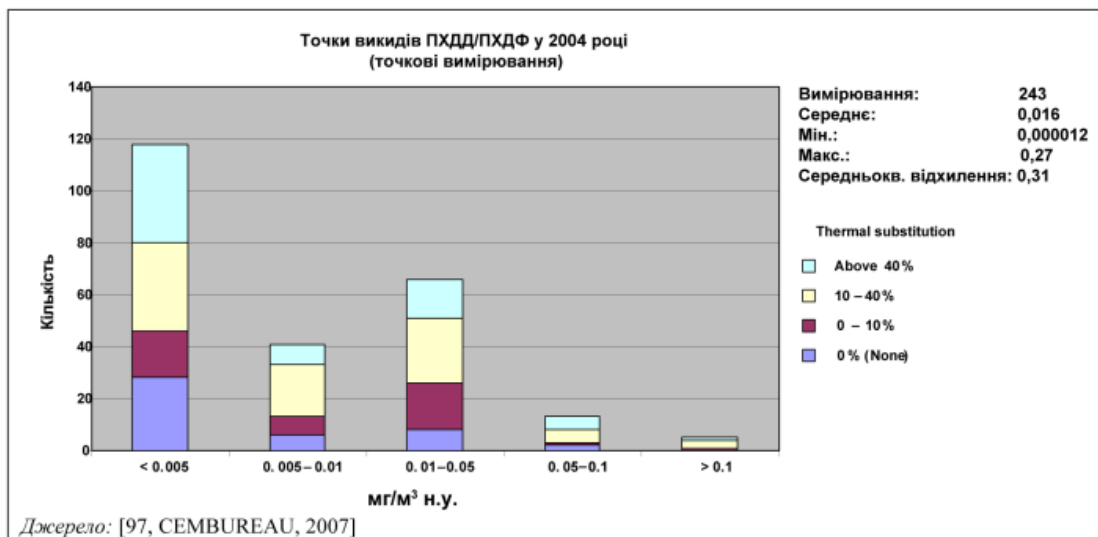


Рисунок 1.39. Розподіл результатів точкових вимірювань, згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни і виражених як рівні викидів ПХДД/Ф з цементних печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

Приклади виміряних викидів ПХДД/Ф з 39 німецьких цементних печей показані на Рисунок 1.40. Ця інформація отримана в результаті окремих вимірювань, що виконувалися тричі на рік в один конкретний день. У 26 випадках викидів ПХДД/Ф не було виявлено. Слід зазначити, що межа виявлення не відраховувалася / не віднімалася від стандарту. Для цих вимірювань / відібраних проб ПХДД/Ф межа виявлення становила 0,0051 нг I-TEQ/м<sup>3</sup> н. у. Для оцінки результатів вимірювання потрібно враховувати міжлабораторний розкид результатів методу (порівняння результатів різних лабораторій) [184, стандарт CEN EN-1948, 2007]. I-TEQ – це скорочення міжнародного токсичного еквіваленту [76, Німеччина, 2006].

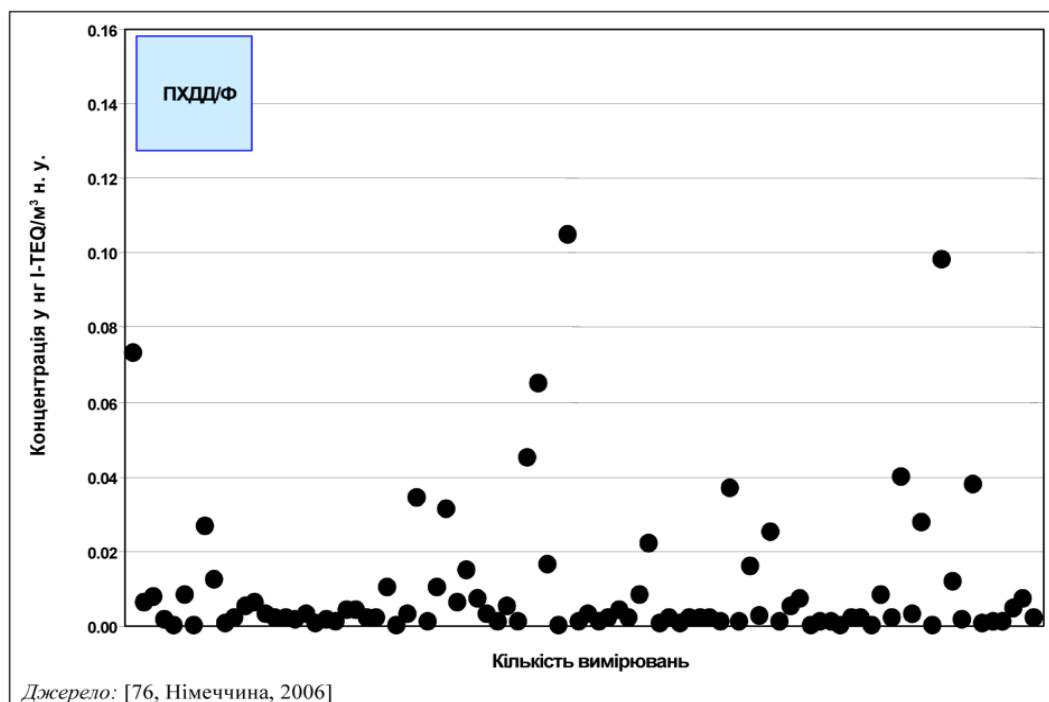


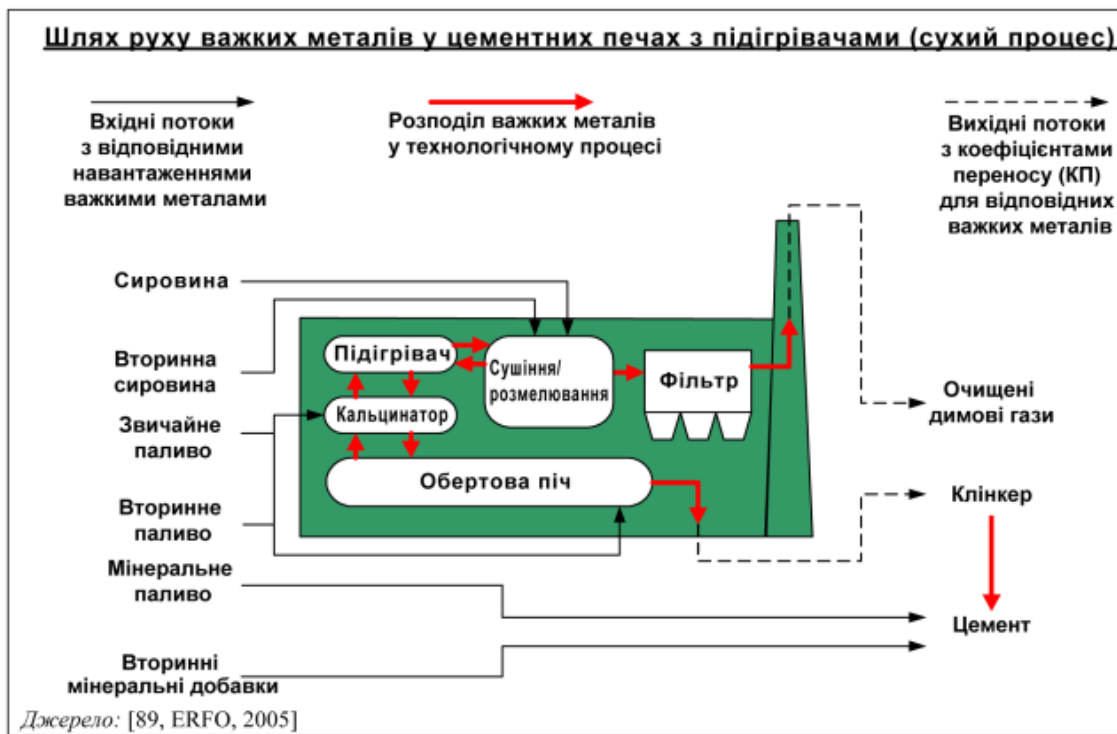
Рисунок 1.40. Викиди ПХДД/Ф, виміряні в очищених газах від 39 німецьких обертових печей у 2004 році

#### 1.3.4.7. Metali та їх сполуки

Сировина та паливо завжди містять метали. Їх концентрації у різних місцях широко різняться, а потенційна можливість викидів у атмосферу визначається дуже складними механізмами. Крім того, концентрації металів, породжені відходами, що використовуються в якості палива, різняться залежно від походження відходів. Металомісні сполуки можна згрупувати у чотири класи залежно від леткості металів та їх солей:

1. Метали, які мають вогнетривкі чи нелеткі сполуки або самі є такими сполуками, як-от Ва, Ве, Сг, Аs, Ні, V, Al, Ti, Са, Fe, Mn, Cu та Ag:
  - ці метали повністю абсорбуються клінкером і виводяться разом з ним, а отже, не циркулюють у пічній системі. У відхідних газах єдиними викидами є викиди, що викидаються з пилом; вони залежать лише від завантажених у піч матеріалів та від ефективності відділення пилу. Відповідно, викиди загалом дуже низькі.
2. Метали, які мають напівлеткі сполуки або самі є такими сполуками: Sb, Cd, Pb, Se, Zn, К та Na:
  - ці метали конденсуються у вигляді сульфатів або хлоридів за температур від 700 до 900 °С; має місце їх внутрішня циркуляція. Таким чином, напівлеткі сполуки, накопичені у пічній системі підігрівання, знову осаджуються у циклонному підігрівачі: вони великою мірою залишаються існувати, але майже повністю – у клінкері.
3. Талій: метал, який має летку сполуку або сам є такою сполукою:
  - сполуки талію (наприклад, TlCl) конденсуються за температур від 450 до 550 °С, а у випадку теплообмінних печей – у верхній ділянці підігрівача, де вони накопичуються (має місце внутрішня циркуляція).
4. Ртуть: метал, який має летку сполуку або сам є такою сполукою (див. розділ 1.3.4.7.1):
  - ртуть та сполуки ртуті здебільшого проходять через піч та підігрівач; вони лише частково поглинаються пилом у неочищених газах, залежно від температури відхідних газів [12, Нідерланди, 1997], [76, Німеччина, 2006], [91, SEMBUREAU, 2006], [92, Австрія, 2006].

Шлях руху металів у цементних печах з підігрівачами, що працюють за сухим процесом, показано на Рисунку 1.41.



**Рисунок 1.41.** Шлях руху металів у цементних печах з підігрівачами (у сухому процесі)

Поведінка та рівень викидів окремих металів у процесі випалювання клінкеру залежить від легкості, сценарію внесення матеріалів у піч, концентрації металевих елементів у сировині та паливі, особливо у випадках, коли використовуються відходи чи небезпечні відходи, типу технологічного процесу та, що найважливіше, ефективності осадження пилу у системах пилоуловлювання в головній димові трубі.

Метали, що вносяться у процес випалювання з сировиною та паливом, можуть повністю або частково випаровуватися у гарячих зонах підігрівача та/або обертової печі залежно від їх легкості, реагувати з компонентами, присутніми у газоподібній фазі, та конденсуватися на завантаженому в піч матеріалі у холодніших секціях пічної системи. Метали, що надходять з паливом, спочатку потрапляють у газоподібні продукти згорання, проте, завдяки утримувальній здатності печі та підігрівача, викидається лише вкрай мала їх частка. Оскільки відношення мас сировини та палива у виробництві клінкеру становить приблизно 10:1, з точки зору викидів вирішальними є вхідні потоки, пов'язані з сировиною [76, Німеччина, 2006], [86, EURITS, 2006] [92, Австрія, 2006]

Нелеткі сполуки металів залишаються у технологічному процесі і викидаються з печі у складі цементного клінкеру (> 99,9 %). Напівлеткі сполуки металів частково виносяться у газоподібну фазу за температури спікання, а потім конденсуються на сировині у холодніших частинах пічної системи. Це створює циклічний ефект у пічній системі (внутрішні цикли), який обмежується піччю та підігрівачем або також поширюється на сушильно-помельний агрегат. Якщо метали великою мірою конденсуються у зоні підігрівача, вони повернуться в піч з матеріалом, що випалюється в печі. Це приводить до появи внутрішнього циклу металу (циклу в печі/підігрівачі). Цей циклічний ефект накопичується до моменту встановлення і підтримання рівноваги між вхідним та вихідним потоком за рахунок цементного клінкеру [9, SEMBUREAU, листопад 1997], [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [76, Німеччина, 2006].

Леткі сполуки металів конденсуються на частках сировини за низьких температур і потенційно можуть утворювати внутрішні чи зовнішні цикли, якщо вони не викидаються з димовими газами печі. Талій, ртуть та їх сполуки особливо легко переходять у легкий стан. Вони не повністю захоплюються клінкерною матрицею. Талій та його сполуки конденсуються у верхній зоні циклонного підігрівача за температур від 450 до 500 °С. Таким чином, велика частина талію, внесеного в пічну систему, утримується в підігрівачі.



Внаслідок цього може утворитися цикл між підігрівачем, сушінням сировини та очищенням відхідних газів (внутрішній та зовнішній). Рівень викиду талію визначається рівнем концентрації у зовнішньому циклі та ефективністю уловлювання пилу у пиловловлювачі. Концентрація талію, наприклад, у пилі в електрофільтрі є мірою рівня концентрації у циклі талію [60, VDI 2094, Німеччина, 2003].

Також, хоча й меншою мірою, особливо легко переходять у леткий стан кадмій, свинець, селен та їх сполуки. Внутрішній цикл легколетких сполук металів виникає, коли вони реагують з початковою сировиною для кальцинування, або коли вони осаджуються на початковій сировині у прохолодних зонах камери кальцинування, у підігрівачі, або у наступних сушильних установках.

Метали вступають у зовнішній цикл, коли пил разом зі сконденсованими леткими сполуками відділяється у пиловловлювачах і повертається в сировинну муку [27, Університет Карлсруе, 1996].

Пил, що утворюється в результаті виробництва цементу, у невеликих кількостях містить сполуки металів, таких як арсен (As), кадмій (Cd), ртуть (Hg), свинець (Pb), талій (Tl) та цинк (Zn). Основним джерелом насиченого металами пилу є пічна система включно з підігрівачами, попередніми кальцинаторами, обертовими печами та клінкерними холодильниками. Концентрація металів залежить від початкової сировини та рециркуляції у пічній системі. Зокрема, використання вугілля та палива з відходів може збільшити кількість металів, що вноситься у технологічний процес. Оскільки метали, що потрапляють у пічну систему, мають різну леткість, а також через високу температуру, гарячі гази у системі цементної печі також містять газоподібні сполуки металів. Дослідження балансу показали, що компоненти з високою леткістю слабо утримуються у клінкері, а це призводить до накопичення таких речовин у пічній системі [27, Університет Карлсруе, 1996].

Дані про викиди кадмію і талію були зібрані шляхом 262 точкових вимірювань  $\Sigma$  (Cd, Tl) в очищених газах обертових печей, як показано на Рисунку 1.42 та Рисунку 1.43. У 2004 році всі ці виміряні дані були взяті з різних заводів, що знаходяться в кількох країнах ЄС-27 та ЄС-23+. Рівні теплової заміни позначені на Рисунку 1.43 різними кольорами. П'ять вимірювань перевищують діапазон шкали. З них чотири відповідають коефіцієнту заміни «0», а одне – «0 – 10». Викиди варіюються незалежно від того, яке паливо використовується. Це зумовлено тим, що кадмій та талій недостатньо леткі для витoku разом з газом, і концентруються головним чином у пилі та клінкері. Таким чином, викиди більше залежать від ефективності знепилювального пристрою, ніж від виду палива [97, СЕМБЮРЕАУ, 2007].

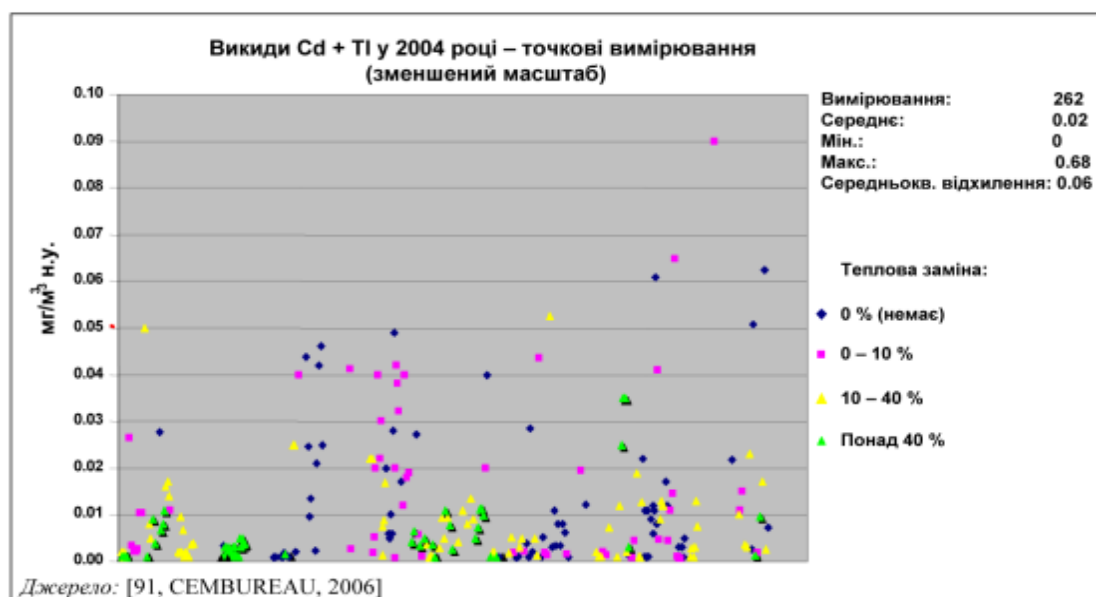
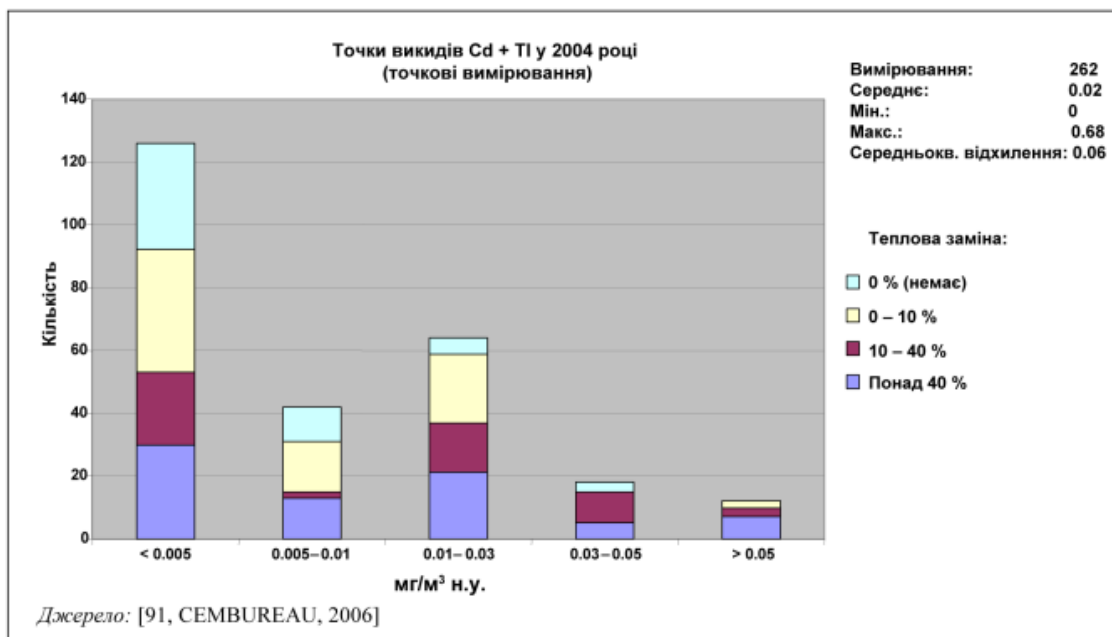
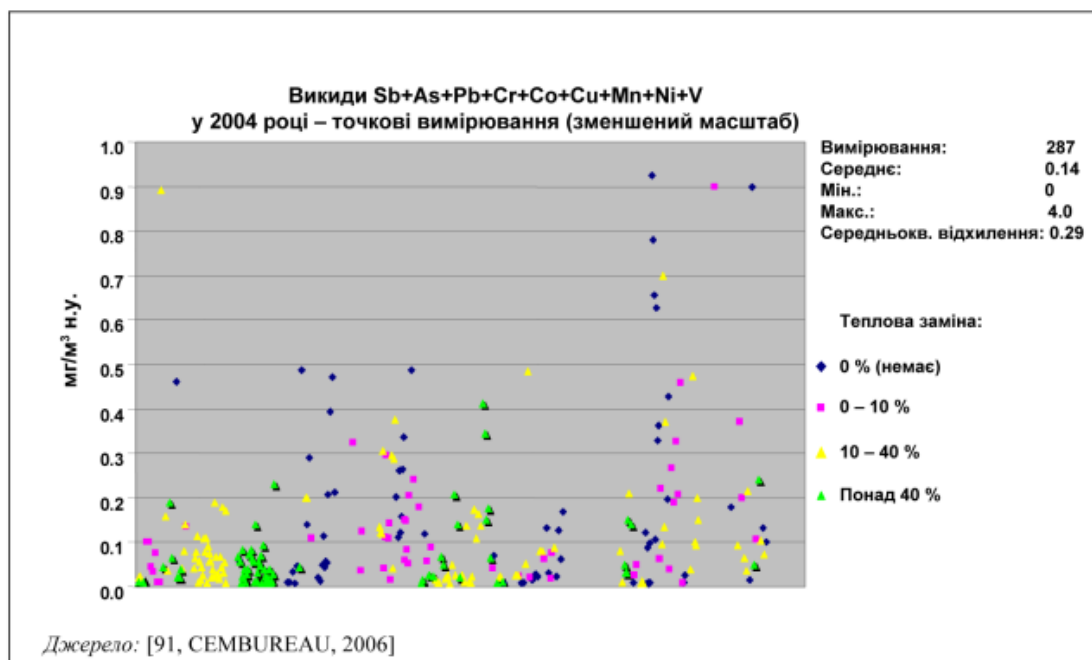


Рисунок 1.42. Значення викидів кадмію і талію, отримані шляхом 262 точкових вимірювань  $\Sigma$  (Cd, Tl) у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

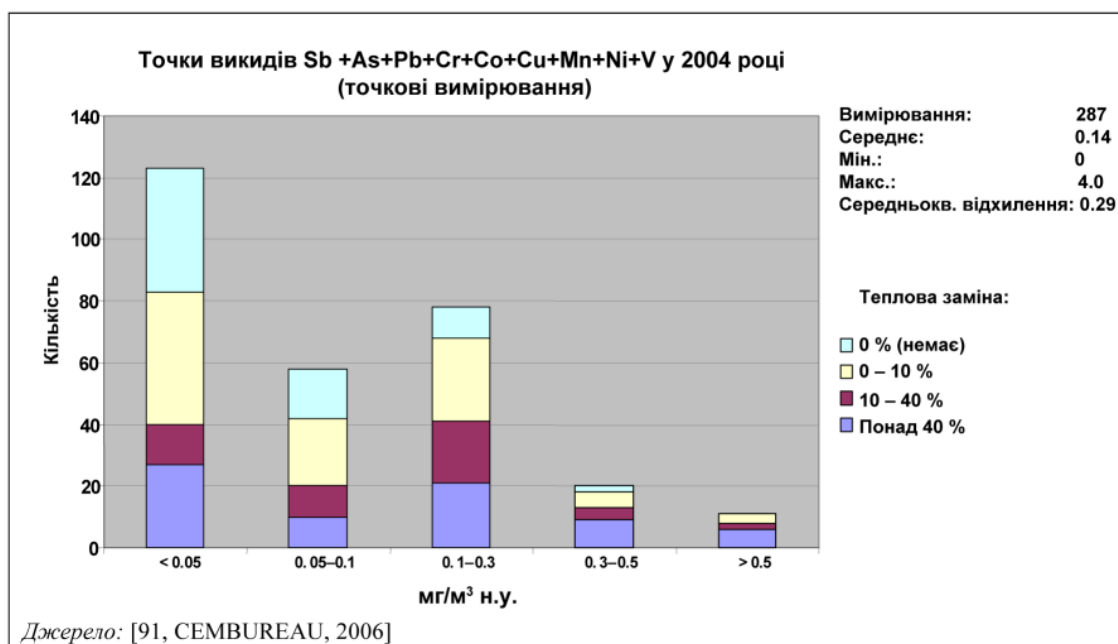


**Рисунок 1.43.** Розподіл вимірених значень, виражених як рівні  $\Sigma$  (Cd, Tl) і згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни

Як видно з Рисунка 1.44 та Рисунка 1.45, дані про викиди  $\Sigma$  (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) були зібрані за допомогою 287 точкових вимірювань в очищених газах обортових печей. У 2004 році всі ці вимірени дані були взяті з різних заводів, що знаходяться в кількох країнах ЄС-27 та ЄС-23+ (див. «Словник термінів»). Рівні теплової заміни позначені на Рисунку 1.45 різними кольорами. Три вимірювання перевищують діапазон шкали. З них одне відповідає коефіцієнту заміни «0», одне – «0 ... 10», і одне – «10 ... 40».



**Рисунок 1.44.** Значення викидів, отримані шляхом точкових вимірювань  $\Sigma$  (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) у країнах ЄС-27 та ЄС-23+



**Рисунок 1.45.** Розподіл вимірних значень, виражених як рівні  $\Sigma$  (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V) і згрупованих за коефіцієнтами теплової заміни

Приклади діапазонів концентрацій різних сполук металів в очищених газах від систем цементних печей, вимірних у період з 1996 по 1998 рік, наведені у Таблиці 1.29.

**Таблиця 1.29.** Діапазони концентрацій важких металів в очищених газах від систем цементних печей, вимірних у період з 1996 по 1998 рік

Компонент	Концентрація <sup>1)</sup> (мг/м <sup>3</sup> н.у.)
Стибій	< 0,007 – 0,05
Арсен	< 0,007 – 0,025
Берилій	< 0,004
Свинець	< 0,012 – 0,2
Кадмій	< 0,002 – 0,008
Хром	< 0,014 – 0,03
Кобальт	< 0,012 – 0,15
Мідь	< 0,011 – 0,095
Манган	< 0,007 – 2
Нікель	< 0,008 – 0,075
Ртуть	< 0,005 – 0,12
Селен	< 0,008 – 0,02
Телур	< 0,0017 – 0,015
Талій	< 0,005 – 0,03
Ванадій	< 0,007 – 0,075
Цинк	< 0,1 – 0,45
Олово	< 0,01 – 0,025

(<sup>1</sup>) Концентрація вказана для стандартних умов температури та тиску після зменшення вмісту водяної пари; загальне значення для фракцій, що переносяться з пилом і проходять через фільтр; результати отримані за допомогою однократних вимірювань, усереднених за період відбору проб

Джерело: [60, VDI 2094, Німеччина, 2003]

### 1.3.4.7.1 Ртуть та її сполуки

Ртуть та її сполуки особливо легко переходять у леткий стан (високолеткий метал). Це отруйний металевий елемент; забруднення ртуттю вважається глобальним, неорганізованим та хронічним, тож її викиди в атмосферу з заводів слід зменшувати. Тому, для контролю викидів ртуті, може бути необхідно обмежити кількість ртуті, що вноситься в пічну систему (див. розділ 1.2.4.3.2, 1.2.4.3.2.1 та 1.3.4.13). Ртуть та її сполуки не повністю осаджуються і утримуються в пічній системі та/або підігрівачі, а отже, не захоплюються клінкером. Вони осаджуються по ходу руху відхідних газів внаслідок охолодження газу і частково поглинаються частками сировини залежно від температури відхідних газів. Ця частина сполук осаджується на фільтрі відхідних газів печі. Таким чином, ртуть може насичуватися лише у зовнішньому циклі, де рівень концентрації та викиди залежать головним чином від стану відхідних газів. Для запобігання збільшенню викидів сірки у тривалому циклі може бути необхідно обмежити її концентрацію у зовнішньому циклі, тобто безперервно або періодично відбирати частину пилу, зібраного у фільтраційній системі. Крім того, інтенсивність осадження, а відтак і видалення ртуті, зростає зі зменшенням температури відхідних газів. Показники, виміряні на пічних системах з циклонними підігрівачами, демонструють, що більш ніж 90 % ртуті перебуває на частках, що утворюються за температур відхідного газу нижче 130 °С. У цьому випадку сполуки ртуті повністю видаляються з пиловловлювача пічної системи. Через високу ефективність уловлювання пилу в пиловловлювачі концентрації ртуті в очищених газах систем обертових печей часто нижчі, ніж межа виявлення (див. Рисунок 1.46 та Рисунок 1.47).

Пил з пиловловлювача можна рециркулювати назад у цементний млин. У разі використання палива з відходів кількість ртуті, що вноситься в піч, можна систематично обмежувати (див. розділи 1.2.4.3.2.1 та 6.2.2.1.1). Ще одна можливість зменшення викидів ртуті полягає в тому, щоб зменшити температуру відпрацьованих газів після колони-кондиціонера для покращення осадження ртуті та її сполук під час фільтрування пилу. Крім того, на одному з німецьких заводів у димові газу вприскується активоване вугілля у якості адсорбента [12, Нідерланди, 1997], [76, Німеччина, 2006], [86, EURITS, 2006], [91, SEMBUREAU, 2006], [92, Австрія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

Як видно з Рисунка 1.46 та Рисунка 1.47, дані про викиди ртуті були зібрані за допомогою 306 точкових вимірювань вмісту Hg в очищених газах обертових печей. У 2004 році всі ці виміряні дані були взяті з різних заводів, що знаходяться в кількох країнах ЄС-27 та ЄС-23+. Рівні теплової заміни позначені на Рисунку 1.47 різними кольорами. Шість вимірювань перевищують діапазон шкали. З них одне вимірювання відповідає коефіцієнту заміни «0», одне – «0 – 10», два – «10 – 20», і два – «понад 40». Як було пояснено, ртуть є найбільш летким важким металом і має слабкий коефіцієнт захоплення. Паливо з відходів перед використанням проходить сувору процедуру прийняття та контролю [97, SEMBUREAU, 2007].

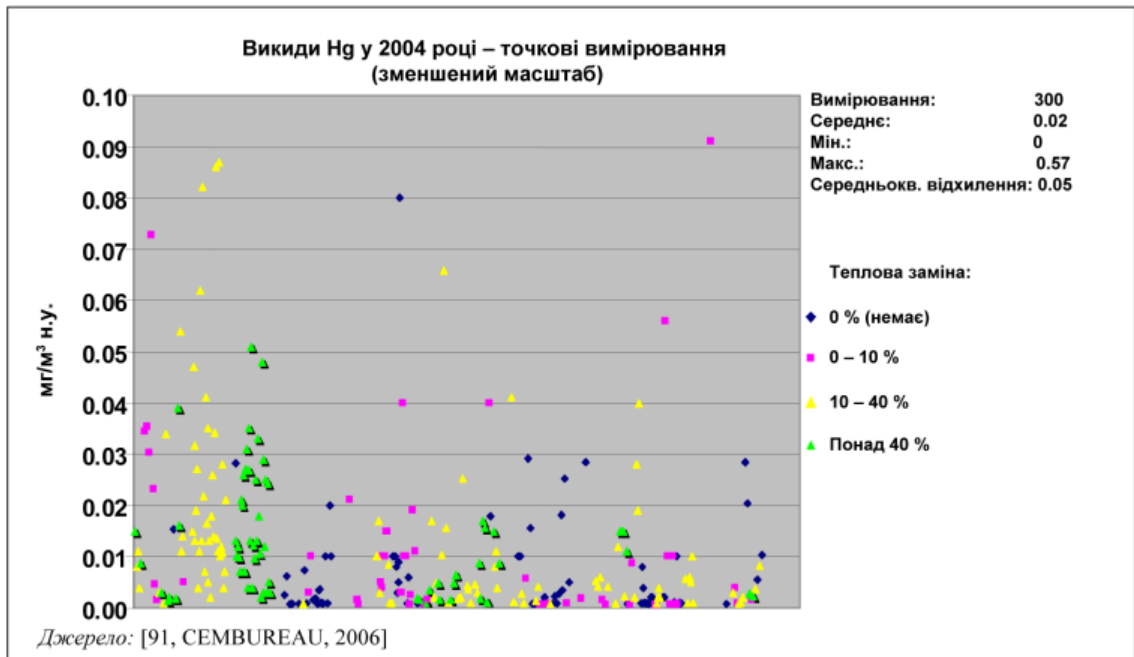


Рисунок 1.46. Значення викидів ртуті, отримані шляхом 306 точкових вимірювань вмісту Hg у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

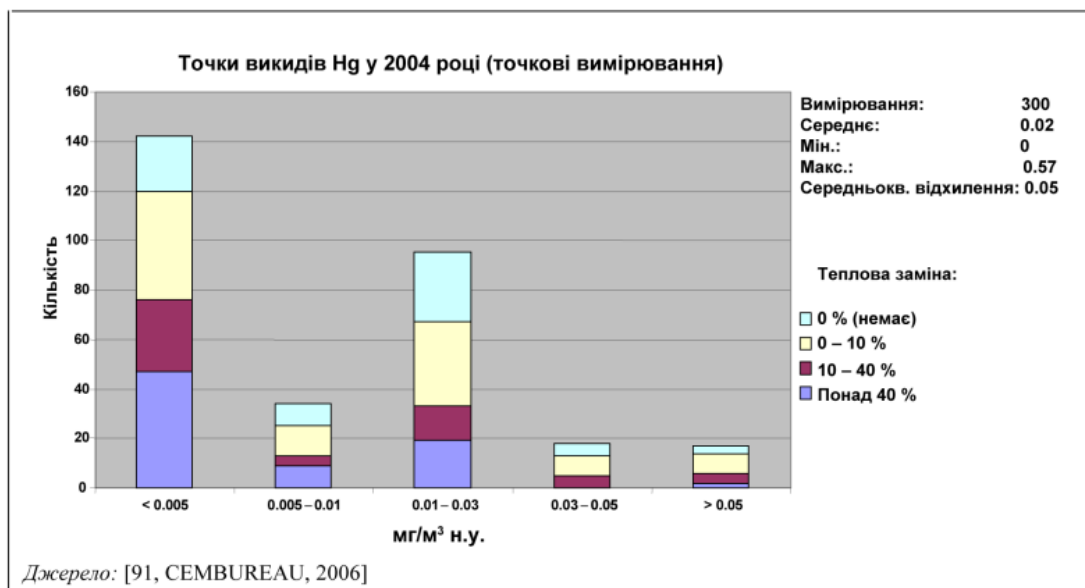


Рисунок 1.47. Значення викидів ртуті, отримані шляхом 306 точкових вимірювань вмісту Hg у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

### 1.3.4.8. Хлороводень та фтороводень (HCl та HF)

Хлориди та фториди – це допоміжні компоненти, присутні у незначних кількостях. Вони можуть потрапляти у пічну систему з різними вхідними потоками, такими як сировина та/або паливо. Для цих речовин доцільно проводити систематичний періодичний моніторинг.

#### 1.3.4.8.1 Газоподібні неорганічні сполуки хлору

Сполуки хлору – це допоміжні компоненти, присутні в незначних кількостях у сировинних матеріалах та паливі, що використовується у процесі випалювання клінкеру. Вони можуть потрапляти у пічну систему з різними вхідними потоками та у процесі випалювання в пічній системі; вони реагують з лугами в матеріалі, що випалюється в печі, утворюючи лужні хлориди. Ці сполуки, спочатку пароподібні, конденсуються на матеріалі, що завантажується в піч, або на пічному пилі за температур від 700 до 900 °C, а потім повторно потрапляють у систему обертової печі і знову випаровуються. Вони демонструють циклічну поведінку і можуть насичуватися в зоні між обертовою піччю та підігрівачем. Влаштування обхідної лінії на завантажувальному кінці печі дає змогу ефективно зменшити інтенсивність циклів лужних хлоридів, а отже, знизити ймовірність несправностей під час експлуатації. За внесеної кількості хлоридів 0,2 г Cl/kg клінкеру, залежно від конкретного заводу, відгалужений потік відхідних газів печі відводиться через обхідну лінію і охолоджується для попередження відкладання речовини у нижній секції підігрівача. По мірі охолодження газового потоку газоподібні сполуки лужних хлоридів конденсуються на частках пічного пилу; після цього їх можна видалити з системи за допомогою пиловловлювача. Зібраний обхідний пил повертається за контрольованих умов у потік матеріалу, що надходить у цементну піч.

Як видно з Рисунка 1.48, у процесі виробництва клінкеру на європейських цементних заводах газоподібні неорганічні сполуки хлору не викидаються взагалі або наявні лише в дуже малих кількостях. Газоподібні неорганічні хлориди, виявлені у відхідних газах систем обертових печей, загалом зумовлені наявністю наддрібних фракцій часток лужних хлоридів у пилі, присутньому в очищених газах [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [76, Німеччина, 2006], [86, EURITS, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007].

У 2004 році з заводів, що знаходяться в кількох країнах ЄС-27 та ЄС-23+, було зібрано приклади даних про викиди HCl шляхом їх безперервних вимірювань та точкових вимірювань. Було зібрано результати безперервних вимірювань вмісту HCl в очищених газах від 98 обертових печей, а також результати 233 точкових вимірювань, як показано на Рисунку 1.48 та Рисунку 1.50. На Рисунку 1.49 та Рисунку 1.51 показано розподіл значень викидів, отриманих шляхом безперервних вимірювань рівнів HCl та точкових вимірювань. Дані про безперервно вимірювані викиди були надані у вигляді середньорічних значень, розрахованих за середньодобовими значеннями. Виміряні значення вказані для 1 м<sup>3</sup> н. у. сухого газу за стандартних умов [97, CEMBUREAU, 2007]. Крім того, на Рисунку 1.52 показано приклади викидів у діапазоні 0 – 8 мг/м<sup>3</sup> н.у. (середньорічне значення), виміряних на 39 німецьких обертових печах, у той час як 91 значення знаходиться нижче межі виявлення, а одне значення перевищує 15 мг/м<sup>3</sup> н.у. [76, Німеччина, 2006].

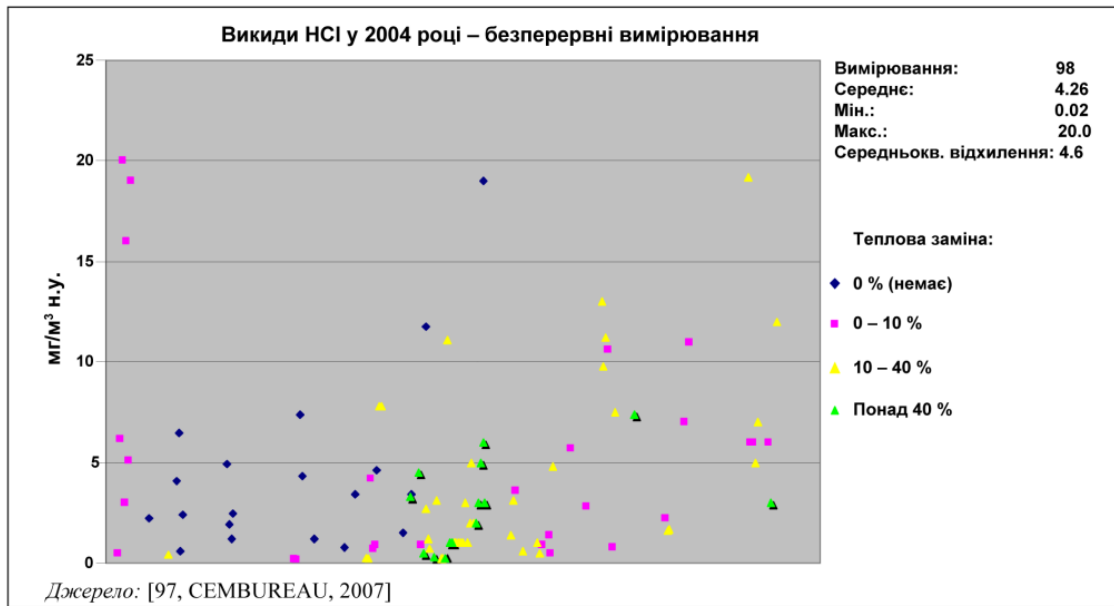


Рисунок 1.48. Значення викидів HCl, отримані шляхом безперервних вимірювань вмісту HCl в очищених газах 98 цементних печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

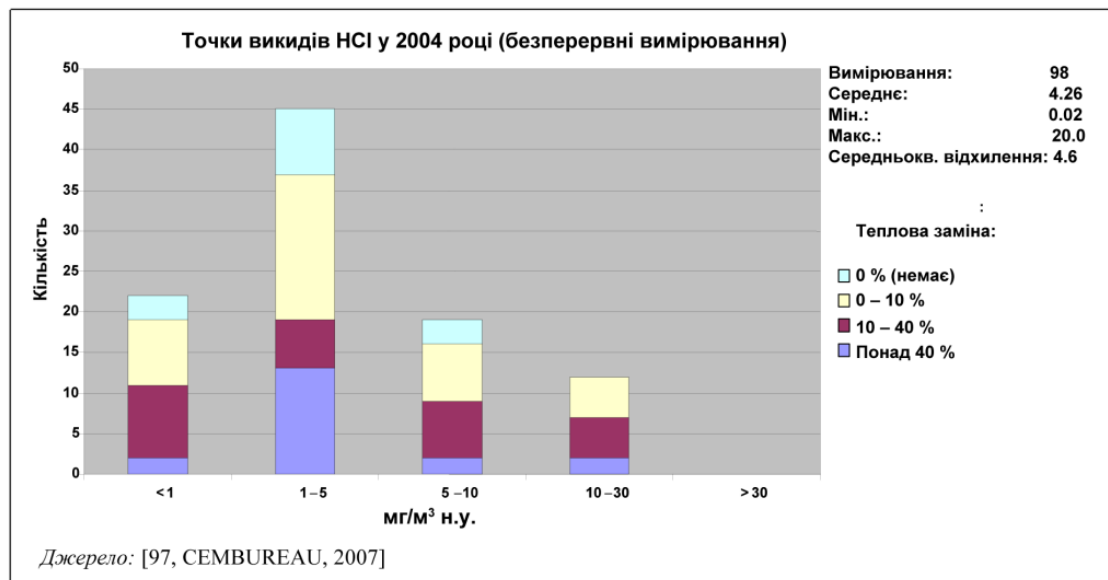


Рисунок 1.49. Розподіл результатів безперервних вимірювань рівнів HCl, згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни

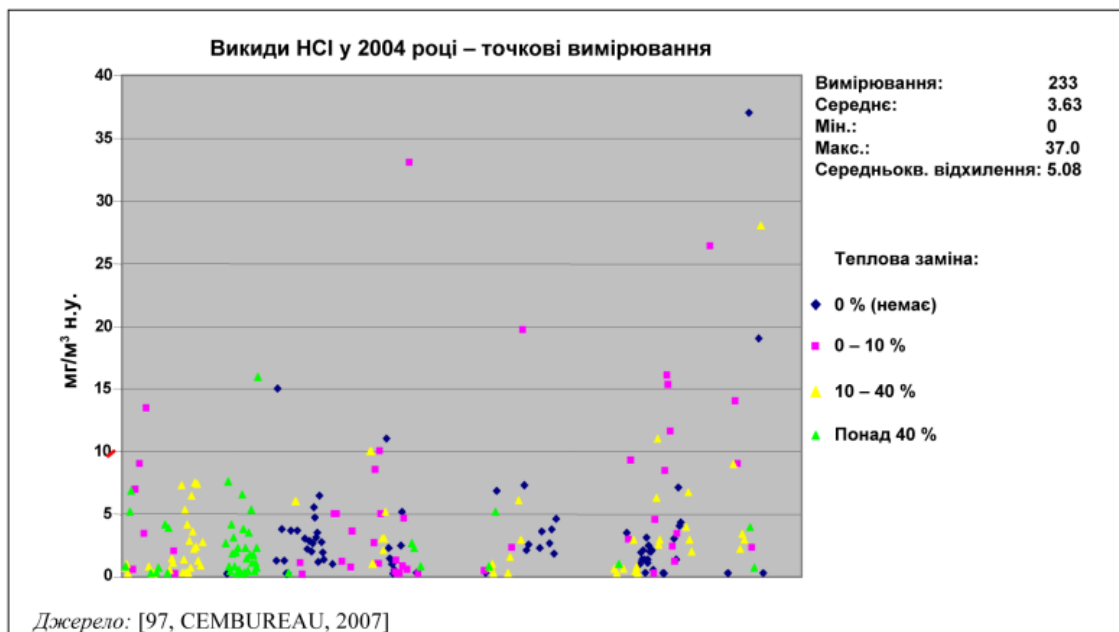


Рисунок 1.50. Значення викидів, отримані у результаті 233 точкових вимірювань в очищених газах обортових печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

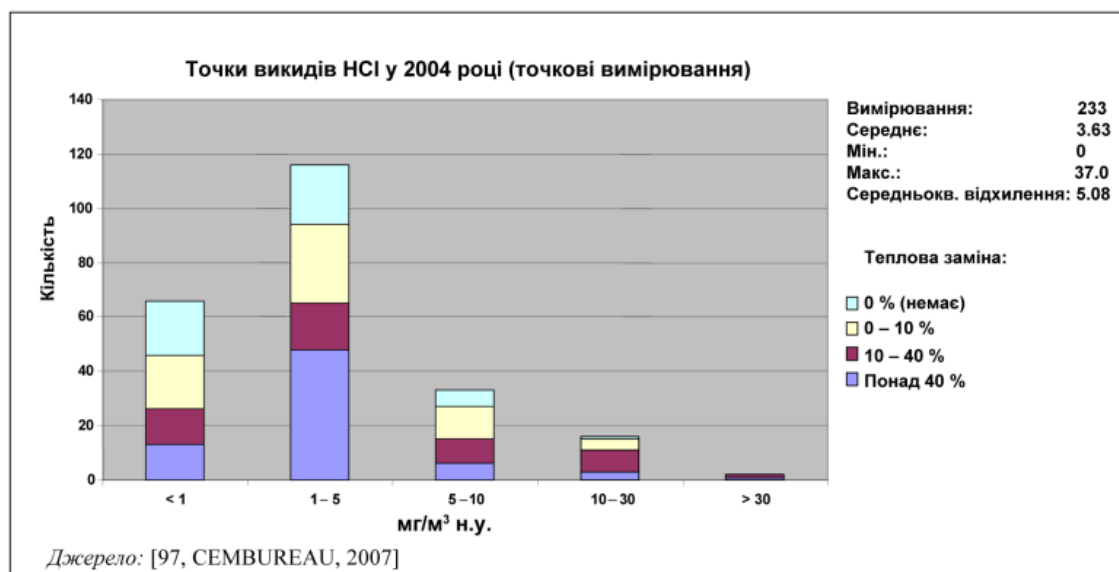


Рисунок 1.51. Розподіл результатів точкових вимірювань вмісту HCl, виражених як рівні HCl і згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни

Приклади виміряних викидів HCl з 38 німецьких цементних печей показані на Рисунку 1.52. Ця інформація отримана в результаті окремих вимірювань, що виконувалися тричі на рік в один конкретний день. У 91 випадку значення викидів було нижче межі виявлення у діапазоні 1,5 – 2,1 мг/м<sup>3</sup> н. у.



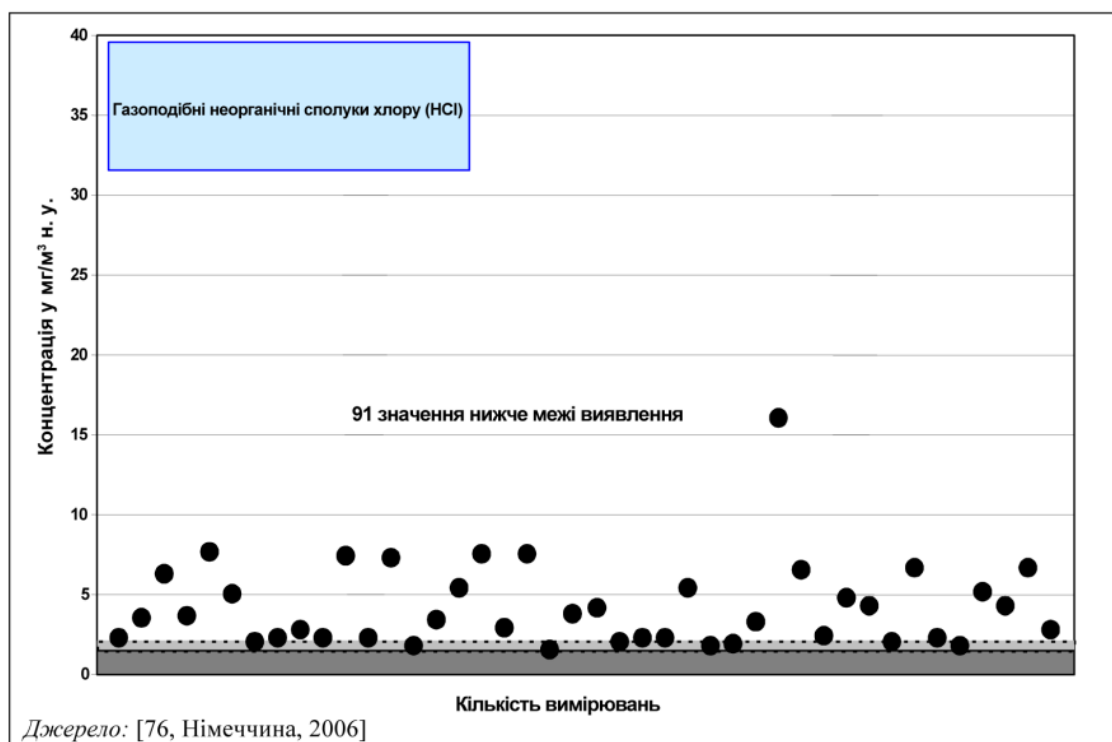


Рисунок 1.52. Викиди газоподібних неорганічних сполук хлору, виражених як HCl, виміряні в очищених газах від 38 німецьких обертових печей у 2004 році

#### 1.3.4.8.2 Газоподібні неорганічні сполуки фтору

З фтору, присутнього в обертових печах, від 90 до 95 % захоплюється у клінкері, а решта зв'язується з пилом у вигляді фториду кальцію ( $\text{CaF}_2$ ), стійкого в умовах процесу випалювання. Через великий надлишок кальцію, викиди газоподібних сполук фтору у цілому та фтороводню зокрема практично виключені. Наддрібні фракції пилу, що проходять крізь вимірювальний газовий фільтр, можуть імітувати низький вміст газоподібних сполук фтору у системах обертових печей. Незначні кількості фторидів виводяться з пічним пилом, як-от у вигляді  $\text{CaF}_2$ .

У 2004 році з різних заводів, що знаходяться в кількох країнах ЄС-27 та ЄС-23+ (див. «Словник термінів»), було зібрано приклади даних про викиди HCl шляхом їх безперервних вимірювань та точкових вимірювань. Було зібрано результати безперервних вимірювань вмісту HF в очищених газах від 28 обертових печей, а також результати 210 точкових вимірювань, як показано на Рисунку 1.53 та Рисунку 1.55. П'ять вимірювань перевищують діапазон шкали. З них чотири відповідають нульовому коефіцієнту заміни, а одне – коефіцієнту заміни понад 40. На Рисунку 1.54 та Рисунку 1.56 показано розподіл значень викидів, отриманих шляхом безперервних вимірювань рівнів HF та точкових вимірювань. Дані про безперервно вимірювані викиди були надані у вигляді середньорічних значень, розрахованих за середньодобовими значеннями. Виміряні значення вказані для  $1 \text{ м}^3 \text{ н. у.}$  сухого газу за стандартних умов. Викиди фторидів з систем цементних печей, виражені як HF, менші, ніж  $1 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$  [76, Німеччина, 2006], [86, EURITS, 2006], [97, SEMBUREAU, 2007].

Крім того, на Рисунку 1.57 показано приклади викидів HF у діапазоні  $0,005 - 0,35 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ , виміряних для 38 німецьких цементних печей, а ще 106 значень знаходяться нижче межі виявлення. Ця інформація отримана в результаті окремих вимірювань, що виконувалися тричі на рік в один конкретний день. Межа виявлення – від  $0,04$  до  $0,06 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$  [76, Німеччина, 2006], [103, SEMBUREAU, 2006].

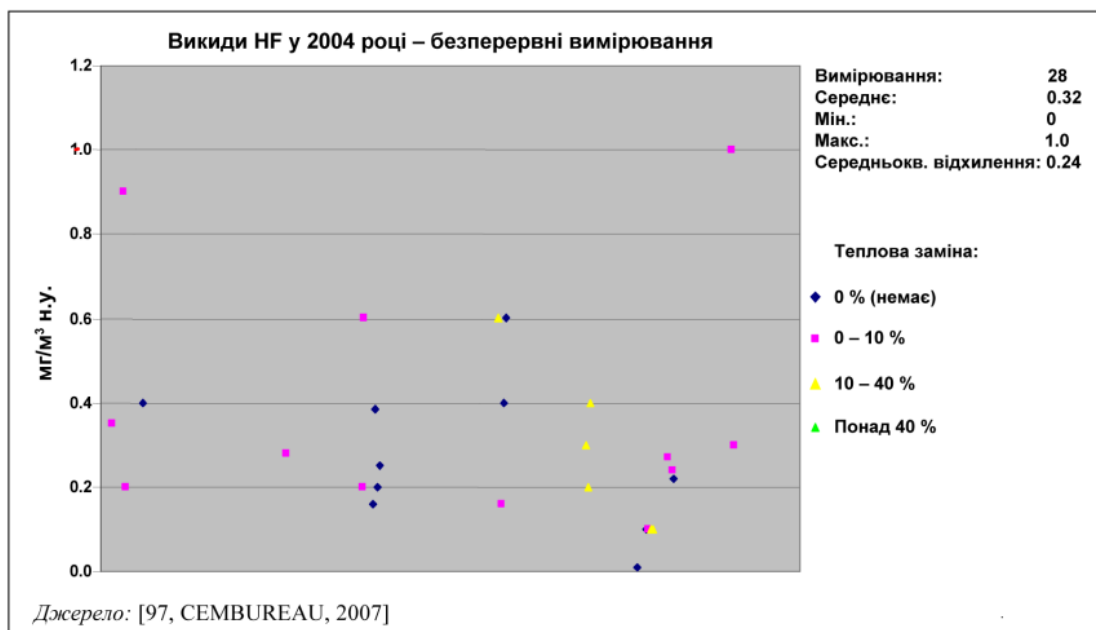


Рисунок 1.53. Значення викидів, отримані шляхом безперервного вимірювання викидів HF з очищеними газами від обортових печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

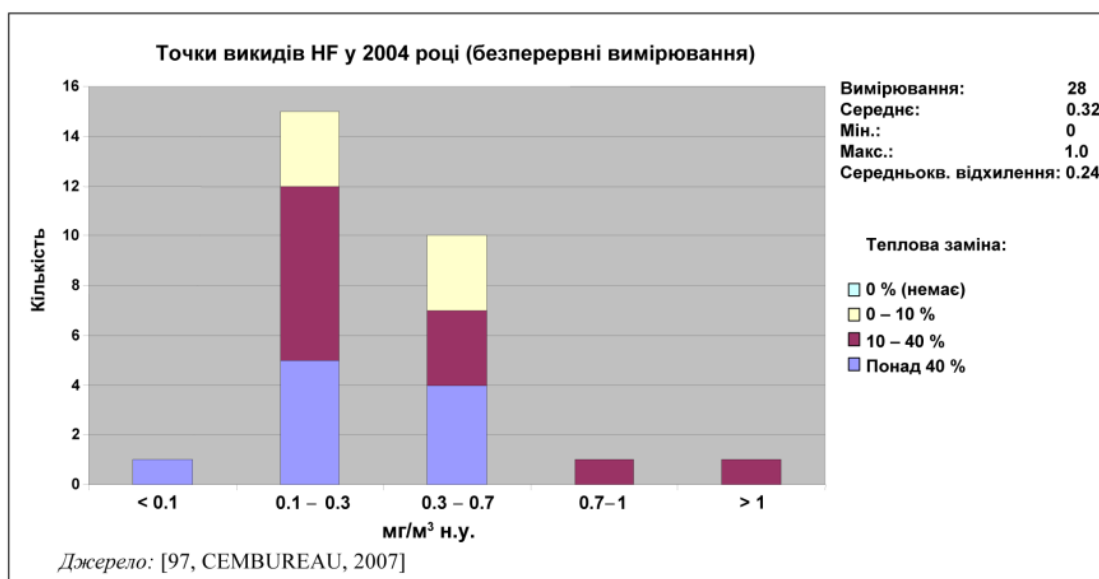


Рисунок 1.54. Розподіл результатів безперервних вимірювань викидів HF, виражених як рівні HF і згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни

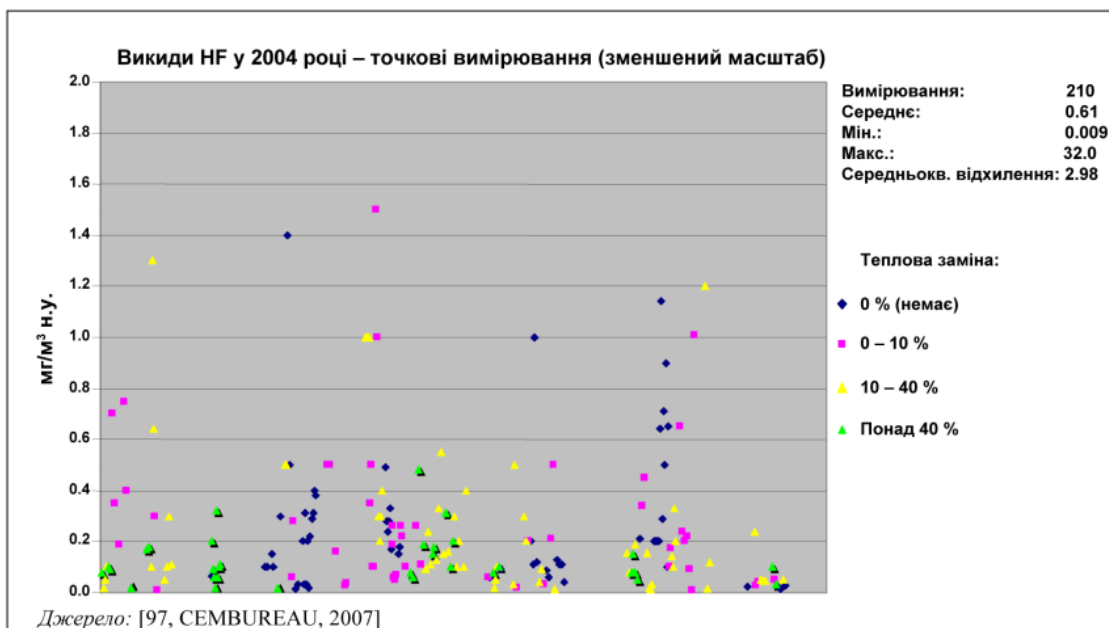


Рисунок 1.55. Значення викидів HF, отриманих шляхом точкових вимірювань в очищених газах обортових печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+

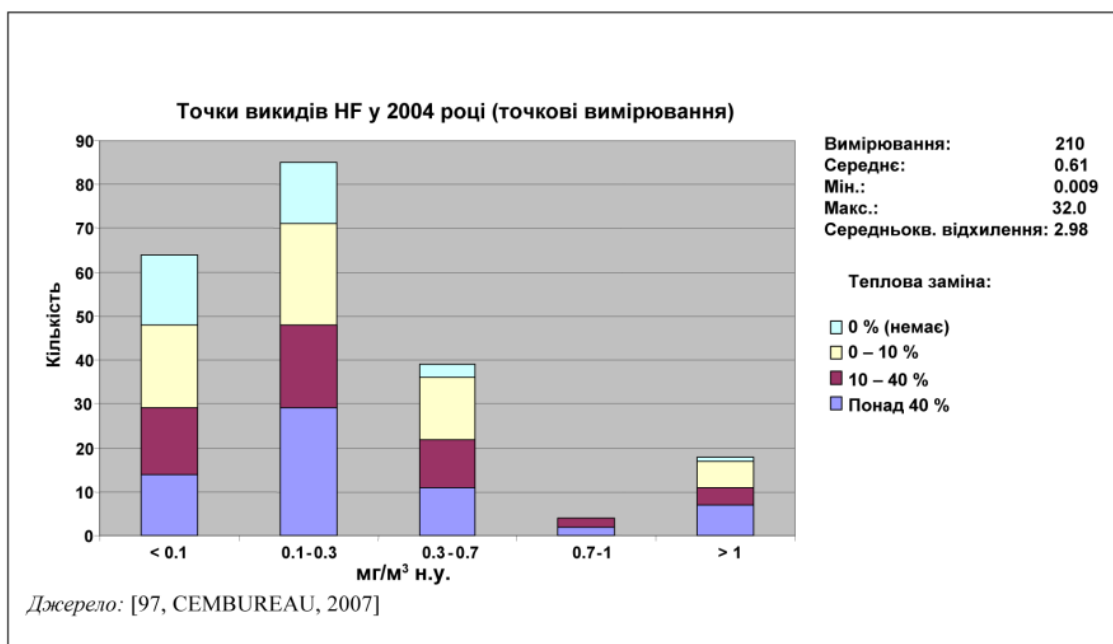


Рисунок 1.56. Розподіл результатів точкових вимірювань вмісту HF, виражених як рівні HF і згрупованих за коефіцієнтом теплової заміни

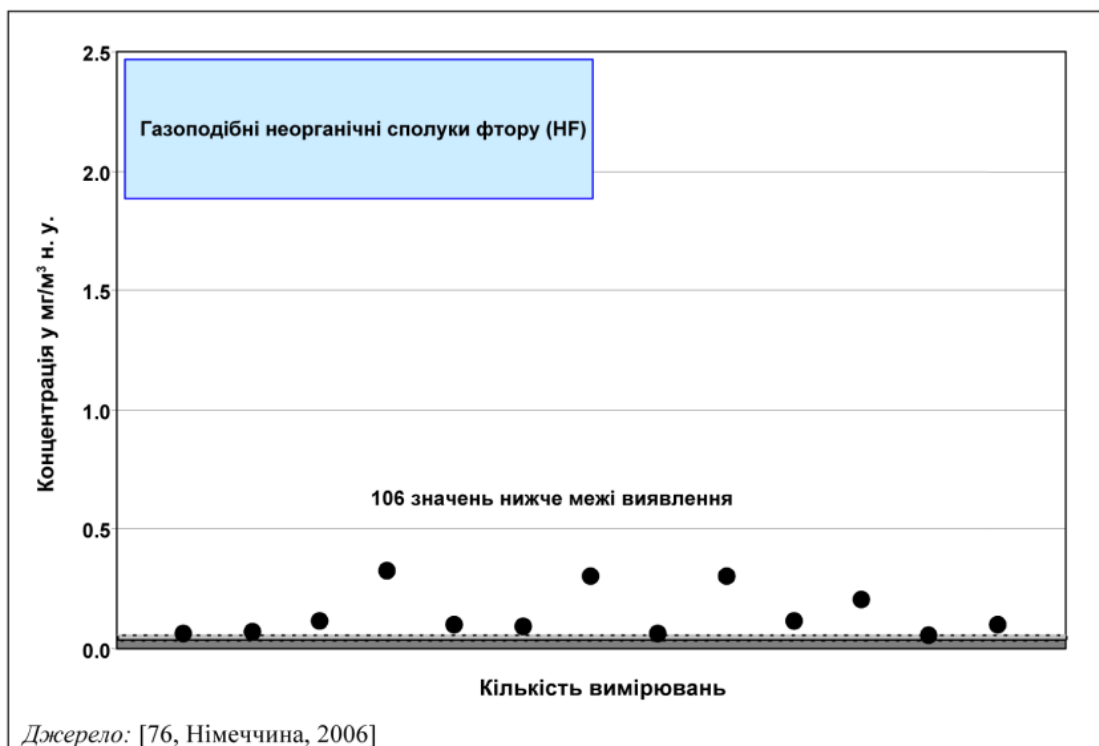
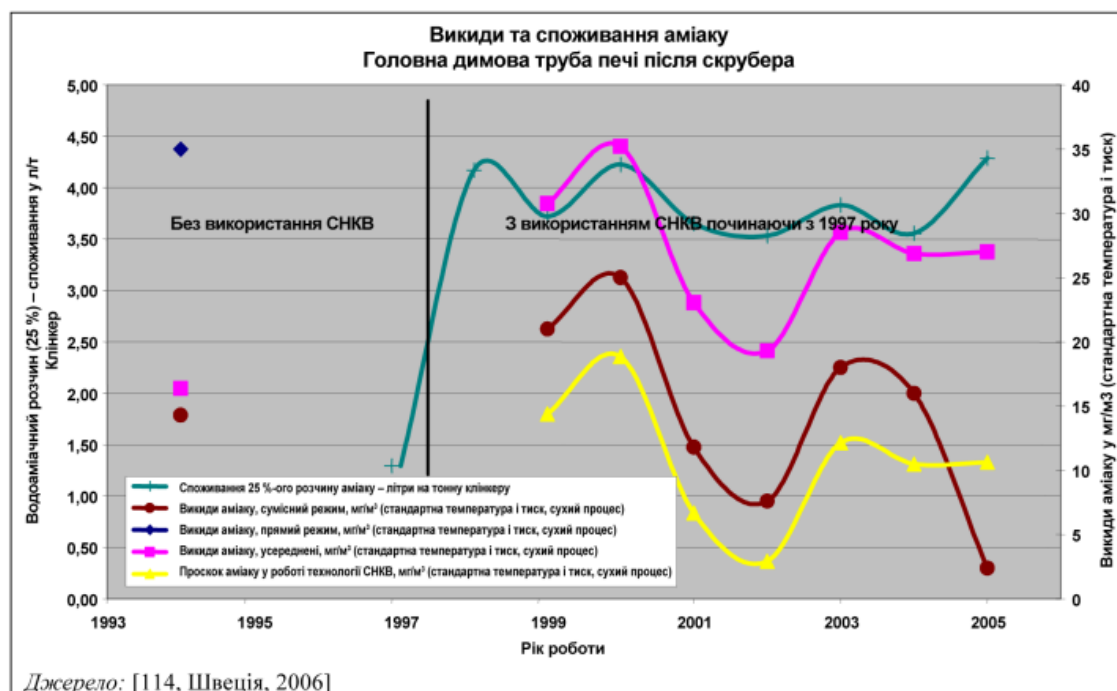


Рисунок 1.57. Викиди газоподібних неорганічних сполук фтору, виражених як HF, виміряні в очищених газах від 38 німецьких обертових печей у 2004 році

#### 1.3.4.9. Аміак (NH<sub>3</sub>)

Викиди NH<sub>3</sub> утворюються з сировини на первинних етапах технологічного процесу. Вміст NH<sub>3</sub> у відхідних газах від цементних печей може досягати 200 мг/м<sup>3</sup> н.у. Додаткова кількість NH<sub>3</sub> може утворюватися внаслідок застосування технологій зниження викидів, таких як селективне некаталітичне відновлення (СНКВ), у ході якого можуть також виникати змінні викиди аміаку, який не прореагував (проскок аміаку). Вкрай важливо забезпечити регулярний моніторинг викидів NH<sub>3</sub>.

Дослідження (початкові експлуатаційні випробування для перевірки викидів аміаку), проведені на двох заводах у Швеції з 1994 по 2006 рік, показали, що викиди NH<sub>3</sub>, які утворюються з сировини, можуть досягати 10 – 35 мг/м<sup>3</sup> н.у. Крім того, з 1998 року один із цих заводів обладнаний скруббером SO<sub>x</sub>, який буферизує аміак у скрубберній рідині і вирівнює піки та провали. Викиди аміаку з димової труби цього скрубера безперервно вимірюються з 1998 року, як показано на Рисунку 1.58. Оскільки скруббер перебував в експлуатації, короточасні піки вищі і становлять до 125 мг/м<sup>3</sup> н.у. Це зумовлено нагріванням скрубберної рідини з 53 до 59 °С та зсувом рівноважного стану, внаслідок якого частина накопиченого аміаку знову вивільнилася. Проте ці заводи обладнані молільними системами (сировинним та вугільним млином), у яких аміак також адсорбується, і лише невелика кількість аміаку транспортується в агрегати цементного млина разом з гіпсом (3 кг/год). Цементний млин працює за низьких температур як замкнений контур, і запах аміаку лише зрідка було чути з цементного силоса.



**Рисунок 1.58. Викиди аміаку зі шведського цементного заводу, обладнаного скрубером SO<sub>x</sub>**

У 2007 році протягом шести місяців проводилися дослідження та експлуатаційні випробування на одному з німецьких цементних заводів, оснащеному високоефективною технологією СНКВ. Шляхом застосування молярних відношень NH<sub>3</sub>:NO 0,7 – 0,8 та 1,4 – 1,5 вдалося досягти відповідних рівнів викидів NO<sub>x</sub> 350 та 200 мг/м<sup>3</sup> (середньодобове значення). Проте вимірювання NH<sub>3</sub> показали, що досягнення нижчого рівня викидів NO<sub>x</sub> супроводжувалося значним проскоком аміаку в діапазоні 50 – 200 мг/м<sup>3</sup> н. у., особливо під час роботи з вимкненим млином. Для досягнення рівня викидів 200 мг/м<sup>3</sup> н. у. проскок аміаку був вдвічі вищий (NH<sub>3</sub>: середнє значення за три місяці 11 мг/м<sup>3</sup> н. у.) ніж для рівня 350 мг/м<sup>3</sup> н. у. (NH<sub>3</sub>: середнє значення за три місяці 21 мг/м<sup>3</sup> н. у.) (також див. розділ 6.2.4.2) [160, Німеччина, 2007], [173, Німеччина, 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

Крім того, у результаті досліджень, проведених на ірландському цементному заводі у 2004 році у рамках короткочасних експлуатаційних випробувань технології СНКВ, було отримано концентрації NH<sub>3</sub> у діапазоні 4 – 26 мг/м<sup>3</sup> н. у. в неочищених газах після підігрівача печі. Ці концентрації були отримані у ході випробування двох конфігурацій вприскування (стандартні умови; молярне відношення NH<sub>3</sub>:NO дорівнювало одиниці (<sup>1</sup>) з ефективністю відновлення NO<sub>x</sub> 50 %). Проскок NH<sub>3</sub> обмежує додавання відновлювальної речовини понад стехіометричне відношення. Для цієї речовини доцільно проводити систематичний періодичний моніторинг [76, Німеччина, 2006], [103, SEMBUREAU, 2006], [114, Швеція, 2006] [123, Ірландія, 2005] [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [173, Німеччина, 2007].

На взятому для прикладу німецькому заводі, оснащеному технологією селективного каталітичного відновлення (СКВ), вдалося досягти проскоку NH<sub>3</sub> нижче 1 мг/м<sup>3</sup> н.у. [173, Німеччина, 2007].

Слід зазначити, що NH<sub>3</sub>, присутній у сировині, також діє як відновлювальний засіб (див. розділ 6.2.5) [76, Німеччина, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

#### 1.3.4.10. Бензол, толуол, етилбензол та ксилен (BTEX)

Рівні цих речовин може бути необхідно зрідка вимірювати за певних особливих умов роботи.

На деяких німецьких заводах з 2004 року проводяться додаткові окремі вимірювання рівнів бензолу, які знаходяться у діапазоні від 0,02 до 3,6 мг/м<sup>3</sup> н.у.

Викиди бензолу з низькими концентраціями обумовлені невеликою кількістю органічних компонентів, що подаються у піч з природною сировиною (рештки організмів та рослин, що збереглися у породі в ході геологічної історії). Приклади виміряних концентрацій викидів бензолу у німецьких печах показані на Рисунку 1.59 (з урахуванням межі виявлення 0,013 мг/м<sup>3</sup> н.у.). Викиди бензолу не залежать від того, які види палива використовуються.

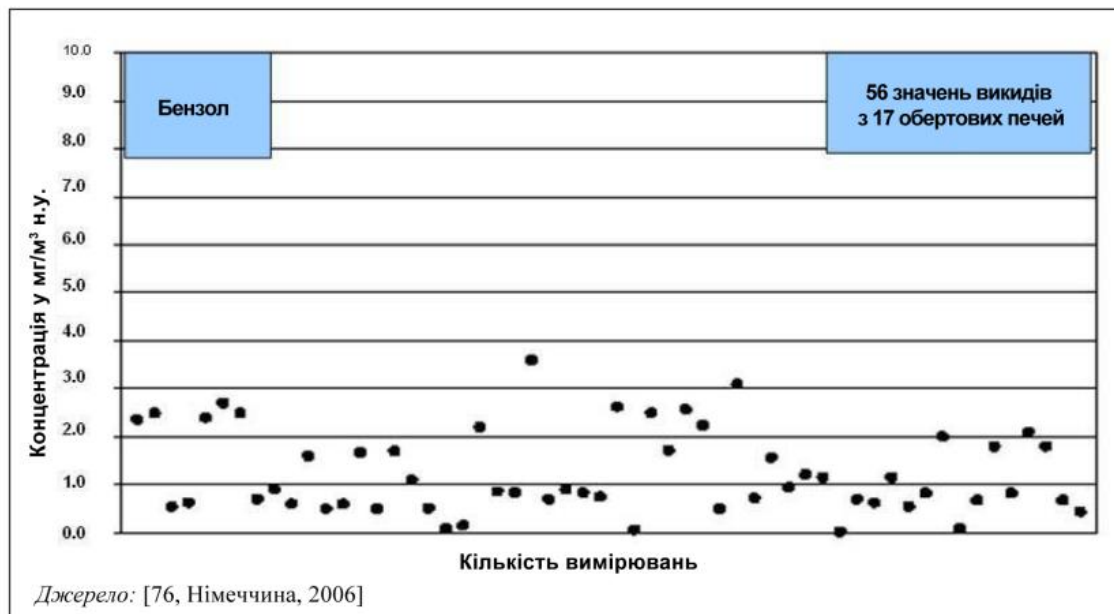


Рисунок 1.59. Концентрації викидів бензолу, виміряні для 17 німецьких обертових печей

### 1.3.4.11. Поліароматичні вуглеводні (ПАВ)

Рівні цих речовин може бути необхідно зрідка вимірювати за певних особливих умов роботи.

### 1.3.4.12. Інші органічні забруднюючі речовини

До інших органічних забруднюючих речовин, що утворюються у процесі виготовлення цементу, належать, наприклад, хлорбензоли, ПХБ (поліхлоровані біфеніли) включно з копланарними конгенерами та хлорнафталіни.

Рівні цих речовин може бути необхідно зрідка вимірювати за певних особливих умов роботи.

### 1.3.4.13. Вплив використання відходів на динаміку викидів та енергоефективність

#### Динаміка викидів

Використання відходів не впливає на викиди пилу в результаті процесу випалювання клінкеру.

На сьогодні відомо, що використання належних відходів лише незначним чином впливає на викиди металів у ході процесу випалювання через високу здатність до утримання зв'язаних з твердими частками металів у підігрівачі та пиловловлювачі. Слід зазначити, що дуже важливим є шлях подавання палива в піч (точка живлення), оскільки він може впливати на викиди (див. розділ 1.2.4.1).

До факторів, які визначають викиди металів у ході процесу виробництва клінкеру, належать поведінка окремих металів у системі обертової печі, умови внесення матеріалів у піч, а також ефективність уловлювання пилу в пиловловлювачі. Самі умови внесення матеріалів у піч залежать від концентрації металів у сировині та паливі, що використовуються. Оскільки відношення мас сировини та палива у виробництві клінкеру становить приблизно 10:1, це означає, що з точки зору викидів вирішальними є вхідні потоки, пов'язані з сировиною. Як показує практика експлуатації, використання відходів може призвести до зменшення чи збільшення загальної кількості окремих елементів, що вносяться у пічну систему. Нелеткі метали великою мірою зв'язуються клінкерною матрицею і виходять із пічної системи у потоці клінкеру. Напівлеткі метали, як-от Pb та Cd, утворюють стабільні цикли у пічній системі. Ці елементи виводяться з циклу, і велика їх кількість захоплюється потоком клінкеру або пилом. Особливими випадками, з огляду на їх леткість, є Hg та Tl. Температури, що переважають у технологічному процесі, у поєднанні з високою леткістю обумовлюють недостатню ефективність відбору цих сполук і встановлюють зв'язок, характерний для конкретного заводу, між вхідним навантаженням та концентрацією викидів у димовій трубі. Залежно від температури відхідних газів, ртуть присутня в пиловловлювачі у складі часток або у формі пари. Тому для контролю викидів ртуті та летких металів може бути необхідно обмежити кількість ртуті та металів, що вносяться у пічну систему. При спалювання палива з відходів, регенованого зі змішаних фракцій відходів, може бути необхідно проводити приймальний аналіз у встановленому порядку для моніторингу кількості летких металів, що вноситься в систему (див. розділ 1.2.4.3.2).

Неорганічні компоненти відхідних газів  $\text{NO}_x$ , HCl та HF не залежать від вибору початкової сировини. На сьогодні відомо, що при використанні належної точки живлення печі переробка відходів у процесі виробництва цементу не справляє суттєвого впливу на ці викиди. Те ж саме стосується компонентів викидів  $\text{SO}_2$ , CO та ЗОВ, за умови, що кількість летких сполук сірки або легких органічних сполук, що вноситься у систему через тракт подавання сировинного муки, не збільшується при переробці відходів. Утворений оксид сірки  $\text{SO}_2$  зв'язується клінкером у обертовій печі чи попередньому кальцинаторі без застосування додаткових технологій.

Умови згорання у системах обертових печей забезпечують низькі концентрації ПХДД/Ф. Відходи, які з великою ймовірністю містять значимі концентрації стійких органічних сполук, – наприклад, відпрацьоване мастило, насичене поліхлорованими біфенілами (ПХБ), – подаються через основну систему випалювання, щоб гарантувати надійний розпад цих сполук. У разі виникнення сумнівів щодо вибору точки живлення у конкретному випадку, слід виконати контрольні вимірювання з використанням та без використання відходів. Згідно з показниками комплексних програм вимірювання, що використовуються у робочій практиці, викиди ПХДД/Ф значно нижчі, ніж встановлене граничне значення  $0,1 \text{ ng I-TEQ/m}^3$  незалежно від того, який вид відходу використовується.

Відходи, що вносяться у систему вторинного випалювання (див. розділи 1.2.4.1 та 1.2.5.1), не проходять через високотемпературну зону обертової печі, що потребує встановлення якісних обмежень на параметри вхідних потоків та технологічного процесу. Проте у багатьох сучасних попередніх кальцинаторах перевищує  $850 \text{ }^\circ\text{C}$ , а час перебування матеріалу в них може бути довшим, ніж 2 секунди, тож вони підходять для використання відходів.

Приклади умов та результат моніторингу щорічних викидів з німецької цементної печі, у якій використовується паливо з відходів, наведені у розділі 6.2.2.1, в Таблиці 6.5 та в Таблиці 6.6.

#### *Фактори впливу на енергоефективність*

Споживання теплової енергії може збільшуватися при використанні палива, отриманого з відходів, з більшим вмістом вологи, більш грубо подрібненого чи з нижчою реактивністю у порівнянні, наприклад, з дрібно помеленим, сухим паливом та/або паливом з високою теплою згорання. Нижча енергоефективність також може призводити до більшого навантаження викидів за забруднювачами повітря внаслідок збільшення об'єму димових газів.

[3, Австрія, 1997], [76, Німеччина, 2006], [86, EURITS, 2006], [137, Кляйн/Хьоніг, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

#### 1.3.4.14. Вплив використання відходів на якість продукції

Використання відходів у процесі випалювання клінкеру може впливати на концентрації металів у цементній продукції. Залежно від загальної кількості внесеної сировини та палива, у результаті переробки відходів може збільшуватися або зменшуватися концентрація окремих компонентів у продукції.

Оскільки цемент змішується з заповнювачами – наприклад, гравієм та піском – для виготовлення бетону або бетонного розчину, то саме поведінка металів у будівельному матеріалі (бетоні чи розчині) є остаточною вирішальним фактором в оцінці екологічно значимих впливів відходів, що використовуються у процесі випалювання клінкеру.

Викиди металів з бетону та розчину низькі. Результати комплексних випробувань підтверджують, що метали міцно вбудовані у матрицю бетонного каменю. Крім того, жорсткий бетон має високий дифузійний опір, який додатково протидіє вивільненню металів.

Випробування на бетоні та розчині показали, що концентрації металів в екстракті з адсорбенту помітно нижчі, ніж нормативні значення, встановлені, наприклад, національним законодавством. Зберігання в різних та частково в екстремальних умовах не призвело до жодних екологічно значимих викидів. Це також справджується для випадку, коли проба матеріалу дробиться або подрібнюється перед випробуваннями на вилугування.

Ретельний вибір та моніторинг відходів гарантує, що використання відходів не призведе до викидів металів у будь-якому шкідливому для довкілля обсязі. Частина величин викидів металів на порядки нижча, ніж застосовні стандарти у рамках контролю забруднення повітря. Використання відходів не справляє негативного впливу на екологічну якість продукції. За цих умов цемент можна продовжувати використовувати, не накладаючи обмежень на виробництво бетону та бетонного розчину. Здатність цих матеріалів до повторного використання залишається незмінною.

Вміст металів у німецьких марках цементу систематично аналізується. Останні значення були опубліковані у 2001 році. Порівняння з результатами попередніх досліджень показало, що вміст металів у цих різновидах цементу не збільшився, хоча використання відходів помітно збільшилося за відповідний період [76, Німеччина, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

#### 1.3.5. Технологічні втрати/відходи

Технологічні втрати / відходи, що виникають у результаті виготовлення цементу, головним чином складаються з таких матеріалів:

- зайва порода, яка видаляється з сировини під час підготовки сировинної муки;
- пічний пил, що видаляється з обхідного потоку та з димової труби;
- фільтрат з фільтрів-пресів, що використовуються у напівмокрому процесі, має доволі високі лужні властивості і містить зважені тверді частки;
- пил, що утворюється в агрегатах очищення відпрацьованих газів, наприклад, у пилоосаджувачі;
- використані поглинальні матеріали (зернистий вапняк, вапняковий пил), що утворюються в системах очищення димових газів;
- відходи упаковки (пластик, дерево, метал, папір, тощо), які утворюються на етапі пакування;

Частину згаданих вище накопичених технологічних втрат можна переробити і повторно використати на самому заводі з огляду на вимоги технологічного процесу та технічні вимоги до продукції. Матеріали, які неможливо переробити тут же на заводі, вивозяться з заводу для використання в інших галузях промисловості або на установці з переробки або оброблення відходів. Пічний пил можна повторно використати безпосередньо у процесі виготовлення цементу або з іншою метою.

У відходах та твердих матеріалах, що утворюються в цементній промисловості, також присутні ПХДД/Ф, для яких у дослідженні 2006 року було отримано такі дані:



- пил цементної печі (ПЦП) та відфільтрований пил
  - середня концентрація 6,7 нг I-TEQ/кг
  - максимальна концентрація 96 нг I-TEQ/кг
- клінкер
  - середня концентрація 1,24 нг I-TEQ/кг
  - максимальна концентрація 13 нг I-TEQ/кг

Це дослідження також продемонструвало, що, у порівнянні з іншими матеріалами, рівні діоксину у технологічних втратах/відходах, що утворюються в результаті виробництва цементу, мають таку ж величину, як і в харчових продуктах, таких як риба, масло або грудне молоко, і менші, ніж максимальна допустима концентрація у 100 нг TEQ на кг для шламу зі стічних вод, що вноситься у землю сільськогосподарського призначення [88, SINTEF, 2006].

### 1.3.6. Викиди (скиди) у водні об'єкти

Цементне виробництво загалом не утворює стоків. У цементному виробництві, в якому застосовується сухий або напівсухий процес, вода використовується лише в невеликих кількостях – наприклад, у процесах очищення. В принципі, викиди (скиди) у воду відсутні, оскільки вода повертається у технологічний процес для повторного використання.

У напівмокрому процесі використовується шлам, який висушується у фільтрах-пресах. У мокрому процесі вода використовується для помелу сировинних матеріалів та приготування шламу. Сировинні матеріали, що використовується, часто надходить з великим вмістом вологи. Шлам подається безпосередньо у піч, де з нього випаровується вода, або спочатку у сушарку для шламу.

Вода, яка іноді використовується у процесі охолодження для охолодження клінкеру, відразу випаровується через високу температуру клінкерного матеріалу.

Водний баланс конкретного заводу, взятого для прикладу, наведено у Таблиці 6.24 в розділі 6.2.2.3.

### 1.3.7. Шум

Шумове випромінювання характерне для всього процесу виготовлення цементу – воно присутнє під час підготовки та обробки сировини, у процесі випалювання клінкеру та виробництва цементу, під час зберігання матеріалу, а також під час відвантаження та перевезення готової продукції. Потужні машини та великі вентилятори, що використовуються на різних етапах процесу виготовлення цементу, можуть створювати шумове та/або вібраційне випромінювання. Це стосується, зокрема, такого обладнання:

- жолоби та бункери;
- будь-які операції, пов'язані з розбиванням, дробленням, подрібненням та просіюванням сировини, палива, клінкеру та цементу;
- витяжні вентилятори;
- повітрорудки;
- вібрація каналів;

Заводи повинні дотримуватися стандартів щодо зниження шуму згідно з національним законодавством; на них проводиться зняття та оцінка картин шумів. Для зниження шумового випромінювання у цементній промисловості використовуються природні шумові бар'єри, такі як адміністративні будівлі, стіни, дерева або куші. У випадках, коли поблизу заводу є житлові території, нові будівлі на майданчику цементного заводу плануються так, щоб обов'язково знизити шумове випромінювання [45, Шорхт, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006]

### 1.3.8. Запахи

На заводі, який належним чином експлуатується, дуже рідко виникають проблеми з неприємними запахами. Якщо сировина містить горючі компоненти (керогени), які не згорають при нагріванні у підігрівачі, а лише піролізується, можливі викиди вуглеводнів, які видно над димовою трубою у вигляді «блакитної димки» або димових шлейфів. За несприятливих погодних умов ці викиди вуглеводнів створюють неприємні запахи навколо цементного заводу.

Спалювання палива, що містить сірку, та/або використання сировини, яка містить сірку, може призвести до появи неприємних запахів (ця проблема особливо характерна для шахтних печей).

Крім того, відходи, що використовуються у якості сировини або палива, можуть призводити до появи неприємних запахів, особливо на різних етапах технологічного процесу, таких як підготовка та зберігання. У випадку, якщо для відновлення  $\text{NO}_x$  використовується аміак, у разі неналежного поводження це також може призводити до появи неприємних запахів на певних етапах процесу.

### 1.3.9. Моніторинг

#### 1.3.9.1 Моніторинг параметрів відхідних газів та викидів забруднюючих речовин

Для контролю пічних процесів рекомендується проводити безперервні вимірювання таких параметрів:

- тиск;
- температура;
- вміст  $\text{O}_2$ ;
- $\text{NO}_x$ ;
- $\text{CO}$ , та, можливо, якщо концентрація  $\text{SO}_x$  висока
- $\text{SO}_2$  (це технологія у розробці для оптимізації співвідношення  $\text{CO}$  з  $\text{NO}_x$  та  $\text{SO}_2$ ).

Для точної кількісної оцінки викидів рекомендується проводити безперервні вимірювання таких параметрів (якщо їх рівні можуть змінитися після того, як точка, в якій вони були виміряні, буде використана для контролю, їх може бути потрібно виміряти ще раз);

- об'єм вихлопу (можна розрахувати, проте іноді вважається, що це складно);
- вологість (можна розрахувати, проте іноді вважається, що це складно);
- температура;
- пил;
- $\text{O}_2$ ;
- $\text{NO}_x$ ;
- $\text{SO}_2$ , та
- $\text{CO}$ .

Систематичний періодичний моніторинг належним чином проводиться для таких речовин:

- метали та їх сполуки;
- ЗОВ;
- $\text{HCl}$ ;
- $\text{HF}$ ;
- $\text{NH}_3$ , та
- ПХДД/Ф.

Проте також можливо безперервно здійснювати вимірювання та моніторинг ЗОВ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCl}$  та  $\text{HF}$  і безперервно відбирати проби ПХДД/Ф та ПХБ для аналізу з періодичністю від 1 до 30 днів. Крім того, рівень  $\text{Hg}$  безперервно вимірюється у двох країнах-членах ЄС з числа ЄС-27.

За певних особливих умов роботи може бути необхідно зрідка вимірювати рівні таких речовин:

- ВТХ (бензол, толуол, ксилол);
- ПАВ (поліароматичні вуглеводні); та
- інші органічні забруднюючі речовини (наприклад, хлорбензоли, ПХБ (поліхлоровані біфеніли) включно з копланарними конгенерами, хлорнафталіни, тощо).

Рівні металів особливо важливо вимірювати, якщо в якості сировинних матеріалів або палива використовуються відходи з підвищеним вмістом летких металів. Крім того, залежно від видів палива, що використовуються, умов технологічного процесу та значимості викидів може бути необхідно виконувати додаткові вимірювання. Необхідно враховувати вимоги існуючих європейських та національних норм – наприклад, при сумісному спалювання відходів потрібно дотримуватися вимог Частини IV та Додатку VI до Директиви 2010/75/EU.

Якщо у цементних печах використовуються відходи, особливо у разі використання шламу зі стічних вод, то, окрім систематичного вимірювання викидів пилу, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> та CO, часто здійснюється моніторинг вмісту ЗОВ і ртуті у відхідних газах цементних печей (у деяких випадках – безперервно). Більше інформації про безперервні вимірювання рівнів ртуті на німецьких цементних заводах наведено у розділі висновків та рекомендацій для цементної промисловості (див. розділ 5.1). Залежно від вхідних матеріалів та типів палива з відходів, що використовується, умов технологічного процесу та значимості викидів, виконуються додаткові вимірювання рівнів HCl, HF, важких металів, бензопірену, бензолу та поліхлорованих дибензопарадіоксинів (ПХДД) та дибензофуранів (ПХДФ). Крім того, у разі використання відходів часто проводяться багатократні вимірювання, наприклад, раз на рік [76, Німеччина, 2006].

Рівні всіх цих речовин варто виміряти хоча б один раз, щоб надати дані при подаванні заявки на перший дозвіл для заводу за Директивою про промислові викиди (IED)

Додаткова корисна інформація наведена у Довідковому документі щодо загальних принципів моніторингу [151, Європейська комісія, 2003].

## 1.4 Технології, які потрібно розглянути при визначенні НДТМ

У цьому розділі описано технології (або їх комбінації) та пов'язані з ними процедури моніторингу, які вважаються потенційно здатними забезпечити високий рівень захисту довкілля у ході діяльності, що входить до обсягу цього документа. До описаних технологій належать як технології, що використовуються на установці, так і способи проектування, будівництва, технічного обслуговування, експлуатації установки та її виведення з експлуатації.

Цей розділ охоплює системи управління навколишнім середовищем, технології, інтегровані у технологічний процес, та заходи зі зниження викидів у кінці виробничого циклу. Також розглядаються процедури запобігання утворенню відходів та керування обробкою відходів, у тому числі процедури мінімізації утворення відходів та переробки, а також технології, які зменшують споживання сировинних матеріалів, води та енергії шляхом оптимізації їх використання та повторного використання.

У Додатку III до Директиви перелічено ряд критеріїв для визначення НДТМ; ці міркування будуть враховані в інформації, наведеній у цій частині. Кожна технологія окреслена, наскільки це можливо, з дотриманням стандартної структури, представленої у Таблиці 1.30, щоб технології та їх оцінку можна було порівнювати з визначенням НДТМ, наведеним у цій Директиві.

Цей розділ не обов'язково містить вичерпний перелік технологій, що можуть застосовуватися у цьому секторі промисловості. Можуть існувати, або бути розроблені, й інші технології, які можна буде врахувати при визначенні НДТМ для конкретної установки.

**Таблиця 1.30. Інформація про кожну технологію**

Тип інформації, що враховується	Тип інформації, що входить до складу цих відомостей
Опис	Стислий опис технології з зазначенням, залежно від конкретного випадку, хімічних або інших рівнянь, рисунків, діаграм та схем технологічного процесу
Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти	Основні потенційні вигоди для навколишнього середовища, яких буде досягнуто завдяки реалізації технології (у тому числі скорочення споживання енергії; зменшення викидів у воду, повітря та землю; заощадження сировинних матеріалів, а також збільшення виходу продукції, зменшення кількості відходів, тощо)
Міжсередовищні наслідки	Значимі негативні наслідки для навколишнього середовища, викликані реалізацією цієї технології, які дають змогу порівнювати різні технології для оцінки їх впливу на навколишнє середовище у цілому. До них можуть належати такі питання: <ul style="list-style-type: none"> <li>• споживання та характер сировини і води;</li> <li>• споживання енергії та внесок у зміну клімату;</li> <li>• потенційна здатність до руйнування стратосферного озону;</li> <li>• потенційна здатність до створення фотохімічного озону;</li> <li>• закислення середовища внаслідок викидів у повітря;</li> <li>• присутність твердих часток у навколишньому повітрі (у тому числі мікрочасток та металів);</li> <li>• евтрофікація земель та вод внаслідок викидів у повітря або воду;</li> <li>• потенційна здатність до виснаження запасів кисню у воді;</li> <li>• стійкі / токсичні / біоаккумулятивні компоненти (у тому числі метали);</li> <li>• утворення решток / відходів;</li> <li>• обмеження здатності повторно використовувати чи переробляти рештки / відходи;</li> <li>• створення шуму та/або неприємного запаху;</li> <li>• підвищений ризик нещасних випадків.</li> </ul> Слід враховувати Довідковий документ щодо економічних та міжсередовищних наслідків (ЕСМ).
Експлуатаційні параметри	Фактичні та притаманні конкретному заводу експлуатаційні параметри (у тому числі рівні викидів, рівні споживання – сировини, води, енергії, – та кількість решток/відходів, що утворюються. Будь-яка інша корисна інформація з таких питань:

Тип інформації, що враховується	Тип інформації, що входить до складу цих відомостей
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• як проєктувати, експлуатувати, виконувати технічне обслуговування, контролювати та виводити з експлуатації цю технологію;</li> <li>• питання моніторингу викидів, пов'язані з використанням цієї технології;</li> <li>• чутливість та довговічність технології;</li> <li>• питання щодо запобігання нещасним випадкам.</li> </ul>
Застосування	<p>Зазначається, чи технологія може застосовуватися у всьому секторі промисловості. Якщо ні – вказуються основні загальні технічні обмеження щодо використання технології у секторі промисловості. Ці обмеження можуть бути такими:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• зазначення типів заводів або технологічних процесів у межах сектору промисловості, з якими технологія не може застосовуватися;</li> <li>• обмеження на реалізацію у певних стандартних випадках, з урахуванням, наприклад, таких моментів: <ul style="list-style-type: none"> <li>• чи розрахована технологія на новий або існуючий завод, з урахуванням факторів, пов'язаних з модернізацією (наприклад, наявність вільної виробничої площі) та взаємодією з уже встановленими технологіями;</li> <li>• розмір заводу, його потужність або коефіцієнт експлуатаційного навантаження;</li> <li>• кількість, тип або якість продукції, що виготовляється;</li> <li>• тип палива або сировини, що використовується.</li> </ul> </li> </ul> <p>Ці обмеження вказуються разом з їх причинами.</p> <p>Ці обмеження не мають на меті надати перелік можливих місцевих умов, які можуть вплинути на застосування технології для конкретного заводу.</p>
Економіка	<p>Інформація про витрати (капітальні витрати / інвестиції, експлуатаційні витрати та витрати на технічне обслуговування, у тому числі дані про те, як ці витрати були розраховані/оцінені), та будь-які можливості заощадження (наприклад, скорочення споживання сировинних матеріалів чи енергії, податки на вироблені відходи, зменшення терміну окупності у порівнянні з іншими технологіями, або доходи чи інші вигоди включно з даними про те, як вони були розраховані/оцінені).</p> <p>Економічні аспекти та витрати на моніторинг розглядаються з урахуванням відповідно Довідкового документа щодо економічних та міжсередовищних наслідків (ЕСМ) і Довідкового документа щодо загальних принципів моніторингу (MON).</p>
Стимули для впровадження	<p>У випадках, де це застосовно – конкретні місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи техніки безпеки) або чинники, не пов'язані з захистом довкілля (наприклад, збільшення виходу продукції, покращення якості продукції, економічні стимули – наприклад, субсидії, податкові пільги), які ініціювали або посприяли впровадженню технології на сьогодні.</p>
Приклади заводів	<p>Посилання на завод(и), де ця технологія реалізована, і з яких була зібрана інформація, використана для написання цього розділу. Зазначення міри, якою ця технологія використовується у ЄС або у всьому світі.</p>
Довідкова література	<p>Література або інші довідкові матеріали (наприклад, книги, звіти, дослідження), які використовувалися у написанні цього розділу і містять детальнішу інформацію про технологію. Якщо довідковий документ містить багато сторінок, буде зроблене посилання на відповідну сторінку (сторінки) або розділ(и).</p>

### **1.4.1 Споживання сировинних матеріалів**

#### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

Переробка та/або повторне використання зібраного пилу у виробничих процесах зменшує загальне споживання сировинних матеріалів. Така переробка може здійснюватися безпосередньо в печі або в матеріалах, що завантажуються в піч (обмежувальним фактором тут є вміст лужних металів), чи шляхом змішування з готовою цементною продукцією.

Використовуючи належні види відходів у якості сировини, можна зменшити кількість природних ресурсів, що подаються в систему, проте при цьому слід завжди належним чином контролювати речовини, що вносяться у пічний процес.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Збереження природних ресурсів.

Використання належних відходів у якості сировини, залежно від їх характеристик, може призвести до зміни рівнів викидів.

Можуть зрости витрати на контроль якості відходів та моніторинг викидів.

#### **Експлуатаційні параметри**

Див. розділ 1.2.4.2.

#### **Застосування**

Цей захід, в принципі, застосовний у цементній промисловості з точки зору контролю якості, вмісту легких органічних речовин та важких металів.

#### **Економіка**

Можна зменшити витрати на сировинних матеріалах.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

Економічні міркування.

#### **Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]

### **1.4.2 Зменшення споживання енергії (енергоефективність)**

Корисна інформація на цю тему також наведена у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для енергоефективності (ENE) [181, Європейська комісія, 2008].

#### **1.4.2.1 Зменшення використання теплової енергії**

Використання теплової енергії можна зменшити шляхом врахування та реалізації різних технологій – наприклад, шляхом реалізації технологій оптимізації за тепловою енергією у пічній системі (див. розділ 1.4.2.1.1.). На споживання енергії сучасними цементними печами впливають кілька факторів, таких як властивості сировини – наприклад, вміст вологи, обпалюваність (див. розділ 1.4.2.1.2), використання палива з різними властивостями та мінливими параметрами (див. розділ 1.4.2.1.3), а також використання системи байпас (див. розділ 1.4.2.1.4). Ці технології можна застосовувати окремо, проте всі технології слід враховувати у контексті одна одної.

Крім того, на споживання енергії впливає виробнича потужність печі.

#### 1.4.2.1.1 Пічні системи

##### Опис

Стандартною технологією для нових заводів та значних модернізацій вважаються пічні системи з багатоступневими (від чотирьох до шести ступенів) циклонними підігрівачами, вбудованим кальцинатором та каналом для третинного повітря. У деяких випадках, коли використовується сировина з великим вмістом вологи, використовуються триступеневі циклонні установки. За оптимізованих умов у такій конфігурації споживається 2 900 – 3 300 МДж/тону клінкеру.

Технології оптимізації за тепловою енергією можна реалізовувати на різних агрегатах заводу, у тому числі на таких:

- холодильник:
  - встановлення сучасного клінкерного холодильника, наприклад, стаціонарного попереднього колосника;
  - використання у колоснику холодильника пластин для кращого опору потоку для забезпечення більш однорідного розподілу охолоджувального повітря;
  - контрольоване подавання охолоджувального повітря в окремі секції колосника;
- піч:
  - високе завантаження потужності;
  - оптимізоване відношення довжини до діаметру;
  - оптимізована конструкція печі з огляду на тип палива, що вноситься в піч;
  - оптимізовані пічні системи випалювання;
  - рівномірні та стабільні умови роботи;
  - оптимізація засобів керування технологічним процесом;
  - канал для третинного повітря;
  - близьке до стехіометричного відношення, проте окисне середовище печі;
  - використання мінералізаторів;
  - зменшення затікання повітря в піч;
- кальцинатор:
  - низький перепад тиску;
  - рівномірний розподіл гарячого сировинної муки у стояку печі;
  - мінімальне утворення привару завдяки слабкій циркуляції лугів
  - глибоке попереднє кальцинування сировинної муки;
- підігрівач:
  - низький перепад тиску та високий ступінь рекуперації тепла у циклонах;
  - висока ефективність уловлювання в циклонах;
  - рівномірний розподіл сировинної муки по перерізах газоходу;
  - рівномірний розподіл потоків твердої речовини та газів у двохгілковому підігрівачі;
  - циклонні ступені (усього від трьох до шести циклонів);
- операції з матеріалом:
  - низький вміст вологи у сировині та паливі;
  - легкозаймисті види палива з високою теплою згорання;
  - гомогенізація та рівномірне подавання (точне відмірювання) матеріалу, що завантажується в піч;
  - гомогенізація та рівномірне подавання палива;
- млини:
  - сумісна робота млинів.

##### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Зниження споживання теплової енергії

##### Міжсередовищні наслідки

Використання газового/повітряного теплообмінника або системи швидкого охолодження у довгих печах, а також влаштування лінії обходу газу у печах з підігрівачем / попереднім кальцинатором, збільшує енергію палива.

Використання засобів охолодження полум'я може потребувати додаткового тепла для випаровування води, а це зменшує енергоефективність.

Менша кількість циклонів означає більші теплові втрати з димовими газами, що виходять із підігрівача.

### Експлуатаційні параметри

У короткочасному випробуванні експлуатаційних показників (тобто 36-годинному випробуванні експлуатаційних показників) за оптимізованих умов споживання теплової енергії складає 2 900 – 3 300 МДж/тону клінкеру. Через події, що супроводжуються відхиленнями від звичайних умов роботи (наприклад, пуски та зупинки), середньорічні значення вищі приблизно на 160 – 320 МДж/тону клінкеру.

У випадках, коли заводи підходять та спеціально спроектовані для використання певних видів палива з відходів, споживання теплової енергії все рівно може знаходитися в діапазоні 3 120 – 3 400 МДж/тону клінкеру. На енергоефективність впливають властивості палива з відходів, що використовуються, – наприклад, теплота згорання, реактивність, грубість подрібнення (див. розділи 1.2.4.3 та 1.3.3.3) [92, Австрія, 2006], [162, А ТЕС, 2006], [171, А ТЕС, 2007].

Значення розраховані та дійсні для пічної системи потужністю 3 000 т/добу. На споживання енергії також впливає виробнича потужність. Випалювання клінкеру в печах більшої потужності, наприклад, 5 000 т/добу, заощаджує близько 100 МДж/тону клінкеру, у той час як менші печі, які виготовляють, наприклад, 1 500 т/добу, споживають більше енергії (різниця може досягати 200 МДж/тону клінкеру). Ці ефекти зумовлені головним чином різними втратами тепла через стінку на тонну виготовленого клінкеру. Оцінюючи споживання енергії піччю, слід враховувати ці ефекти [84, СЕМБЮРЕАУ, 2006].

Чим більше циклонних ступенів у підігрівачі, тим вища енергоефективність печі. Найнижчого споживання енергії можна досягти з п'ятьма або шістьма циклонами (див. розділ 1.3.3.1 та Таблицю 1.17). Проте кількість циклонних ступенів залежить головним чином від вмісту вологи у сировині (також див. розділ 1.4.2.1.2).

### Застосування

Належна кількість циклонних ступенів визначається за пропускною здатністю та вмістом вологи у сировині та паливі, які повинні бути висушені залишковим теплом відхідних газів, оскільки місцева специфіка сировини з точки зору вмісту вологи або обпалюваності дуже різниться [76, Німеччина, 2006].

На споживання енергії сучасними заводами з попередніми кальцинаторами та циклонними підігрівачами може впливати кілька чинників, наприклад:

- властивості сировини, як-от вміст вологи або обпалюваність (див. розділи 1.2.2, 1.2.4.2 та 1.4.2.1.2);
- використання палива з мінливими властивостями (див. розділи 1.2.3, 1.2.4 та 1.4.2.1.3);
- використання обхідної системи для газу (див. розділи 1.2.5.4.1 та 1.4.2.1.4);
- цільова якість клінкеру;
- розмір та потужність печі.

### Економіка

На споживання енергії (теплової та електричної) зазвичай припадає 30 – 40 % собівартості продукції.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

Зменшення витрат на енергію, а також торгівля квотами на викиди, є шляхом до енергоефективності.



## **Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[9, SEMBUREAU, листопад 1997], [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [76, Німеччина, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [84, SEMBUREAU, 2006], [86, EURITS, 2006], [92, Австрія, 2006], [136, Європейська комісія, 1993], [153, Castle Cement, Велика Британія, 2007], [154, SEMEX – Велика Британія, 2006], [162, А ТЕС, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [171, А ТЕС, 2007], [181, Європейська комісія, 2008].

### **1.4.2.1.2 Властивості сировини**

#### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Бажана пропускна здатність та вміст вологи у сировині впливають на загальну енергоефективність. Ці параметри визначають потрібну кількість циклонних ступенів, які слід використовувати, оскільки матеріали повинні висушуватися, бажано теплом відхідних газів (див. розділи 1.2.4.2, 1.3.3 та Таблицю 1.17). Чим вищий вміст вологи, тим більша потреба в енергії. Слід зазначити, що більша кількість циклонів означає менші теплові втрати з димовими газами, що виходять з підігрівача.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Деякі види палива також містять частину вологих мінералів, що використовуються у якості сировини і сушаться в пічній системі: це призводить до збільшення питомого споживання енергії на тонну клінкеру.

#### **Експлуатаційні параметри**

Якщо у піч завантажується сировина, що містить менше 8,5 % вологи, то на сучасному цементному заводі її можна повністю висушити відхідними газами від чотири-, п'яти- чи шестиступеневого підігрівача. Шостий циклонний ступінь заощадить близько 60 МДж/тону клінкеру у порівнянні з п'ятиступеневим підігрівачем завдяки зниженій потребі в енергії для сушіння.

Розрахунок лише для системи пічного підігрівача показує, що чотириступеневий циклонний підігрівач потребує приблизно на 90 МДж/тону клінкеру більше енергії порівняно з п'ятиступеневим. З трьома циклонними ступенями різниця у споживанні енергії стає ще більшою – понад 250 МДж/тону клінкеру. Три циклонні ступені використовуються лише в особливих випадках з використанням дуже вологого матеріалу.

Проте, якщо вміст вологи у сировині перевищує 8,5 % і досягає 10 – 11 %, краще мати менше циклонних ступенів (наприклад, чотири), щоб тепло могло утилізуватися у процесі сушіння (у сировинному млині).

#### **Застосування**

Цей метод, в принципі, застосовний у всій цементній промисловості.

#### **Економіка**

Дані відсутні.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

## **Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[9, SEMBUREAU, листопад 1997], [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [76, Німеччина, 2006], [84, SEMBUREAU, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [86, EURITS, 2006], [92, Австрія, 2006], [136, Європейська комісія, 1993], [137, Кляйн/Хьоніг, 2006], [153, Castle Cement, Велика Британія, 2007], [154, SEMEX – Велика Британія 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

### 1.4.2.1.3 Властивості палива

#### Опис

Характеристики палива, що використовується, як-от достатня теплота згорання, низький вміст вологи, належний вміст сірки, металів, сполук галогенів та летких сполук, а також вприскування з підсмоктуванням повітря, сприятливо впливають на питоми споживання енергії піччю.

Підготовка викопних видів палива, таких як вугілля або лігніт, які частково або повністю висушуються за межами пічної системи, або навіть за межами цементного заводу, може покращити енергоефективність пічної системи, оскільки це один з основних чинників, що впливають на споживання енергії. Лігніт, наприклад, може видобуватися з вмістом вологи понад 50 %, тому його потрібно висушити перед постачанням на цементний завод. Крім того, використання надлишку тепла для сушіння палива заощаджує теплову енергію. Заміна палив, що містять багато вологи, сухішими видами палива зменшує споживання енергії на тону клінкеру у пічній системі.

#### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Робота кальцинатора на різноманітних сортах палива – від високореакційних палив до палив з вкрай низькою реакційною здатністю – впливає на енергоефективність. Використання дрібно помеленого, сухого палива з належною теплотою згорання, у порівнянні з низькореакційним або грубим паливом, покращує енергоефективність,

#### Міжсередовищні наслідки

Деякі види палива також містять частину вологих мінералів, що використовуються у якості сировини і сушаться в пічній системі: це призводить до збільшення питомого споживання енергії на тону клінкеру.

Використання відходів, залежно від їх характеристик, може призвести до зміни рівнів викидів.

Високий коефіцієнт заміни викопного палива паливом з відходів, а також використання палива з нижчою реакційною здатністю чи грубішого палива, призводить до того, що для задоволення потреби в тепловій енергії доводиться використовувати більшу кількість палива (див. розділи 1.3.3, 1.3.3.3, 6.2.2.2 та Таблицю 6.21).

Додаткова енергія може використовуватися для висушування палива за межами пічної системи.

#### Експлуатаційні параметри

Порівняння ідентичних пічних систем, що працюють відповідно на кам'яному вугіллі та на лігніті, і обидві використовують переважно викопні види палива, показує, що споживання енергії в них відрізняється майже на 100 МДж/тону клінкеру через різну якість палива.

Використання дрібно помеленого вугілля, у порівнянні з використанням низькореакційного чи грубого палива, може знизити потребу в енергії, наприклад, більш ніж на 300 МДж/тону клінкеру. Низької потреби в тепловій енергії (зокрема, й на невеликих заводах) можна досягти, використовуючи легкозаймисте паливо з низьким вмістом вологи.

У випадках, коли заводи підходять та спеціально спроектовані для використання певних видів палива з відходів, споживання теплової енергії все рівно може становити всього лише 3 120 – 3 400 МДж/т клінкеру. На енергоефективність впливають параметри та властивості палива з відходів, що використовуються, – наприклад, належна теплота згорання, реактивність, грубість подрібнення (див. розділи 1.2.4.3 та 1.3.3.3) [92, Австрія, 2006], [162, А ТЕС, 2006], [171, А ТЕС, 2007]. Крім того, повідомлялося про випадок, коли у печі з п'ятиступеневим кальцинатором вдалося досягти споживання енергії у 3473 кДж/кг [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [163, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

#### Застосування

Цей метод застосовний, в принципі, до всіх типів цементних печей.

Основними параметрами, які враховуються при визначенні паливної суміші, є місцева доступність палива, технічні можливості та довготермінова гарантія постачання.

У разі використання палива з відходів потрібно враховувати теплоту згорання цих відходів. Слід зазначити, що, у разі використання палива з відходів, яке має нижчу теплоту згорання, для задоволення потреби в тепловій енергії може бути необхідно спалити більшу кількість палива з відходів у порівнянні з викопними видами палива.

#### **Економіка**

Вартість різних типів викопного палива та/або палива з відходів і їх підготовки дуже різняться.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Економічні вимоги.

Місцеві умови.

#### **Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27, зокрема, в Австрії та Великій Британії.

[9, SEMBUREAU, листопад 1997], [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [76, Німеччина, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [84, SEMBUREAU, 2006], [86, EURITS, 2006], [92, Австрія, 2006], [136, Європейська комісія, 1993], [153, Castle Cement, Велика Британія, 2007], [154, SEMEX – Велика Британія, 2006], [162, А ТЕС, 2006], [163, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [171, А ТЕС, 2007].

#### **1.4.2.1.4 Система байпас**

##### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Використання сировини та палива з низьким вмістом хлору, сірки та лугів може звести до мінімуму цикл насичення, що виникає в результаті внутрішньої циркуляції між піччю та підігрівачем. Крім того, можна мінімізувати утворення відкладень у зоні завантажувального кінця печі, кальцинатора та двох нижніх ступенів, яке є наслідком високих концентрацій таких речовин. Оскільки передумовою енергоефективного виробництва клінкеру є рівномірна робота печі, необхідно уникати зупинок печі внаслідок утворення нашарування. Слабка циркуляція лугів, хлору та, меншою мірою, сірки здатна звести до мінімуму використання обхідної лінії для газу на завантажувальному кінці печі. При відведенні частини технологічного газу з печі викидаються не лише хлор, сірка та луги, а й інші речовини (див. розділ 1.2.5.4.1).

##### **Міжсередовищні наслідки**

Випускання з печі гарячої сировини та гарячих газів збільшує питоме споживання енергії приблизно до 6 – 12 МДж/тону клінкеру на один процент видаленого газу на вході печі. Тому мінімізація використання обхідної лінії для газу сприятливо впливає на питоме споживання енергії.

##### **Експлуатаційні параметри**

Стосовно використання енергії див. розділ 1.3.3.

##### **Застосування**

Цей метод, в принципі, застосовний у всій цементній промисловості.

##### **Економіка**

Дані відсутні.

##### **Стимули для впровадження**

Вимоги технології процесу.

##### **Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[9, SEMBUREAU, листопад 1997], [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [76, Німеччина, 2006], [84, SEMBUREAU, 2006], [86, EURITS, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [92, Австрія, 2006], [136, Європейська комісія, 1993], [153, Castle Cement, Велика Британія, 2007], [154, SEMEX – Велика Британія, 2006].

### 1.4.2.1.5 Зменшення вмісту клінкеру у цементі

#### Опис

Технологія зменшення споживання енергії та викидів у цементній промисловості у перерахунку на одиницю маси цементної продукції полягає у тому, щоб знизити вміст клінкеру у цементній продукції. Цього можна досягти шляхом додавання заповнювачів і добавок – наприклад, піску, шлаку, вапняку, золи-виносу та пуцолану – на етапі помелу.

#### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Зменшення споживання енергії.

Зменшення викидів у повітря.

Збереження природних ресурсів.

Відмова від захоронення відходів на звалищах.

#### Міжсередовищні наслідки

У разі додавання заповнювачів і добавок у готову продукцію на цементному заводі потрібно забезпечити контроль над зберіганням та операціями з матеріалом, а також контроль дотримання вимог до якості готового цементу.

#### Експлуатаційні параметри

У Європі середній вміст клінкеру у цементі становить 80 – 85%. Багато виробників цементу працюють над технологіями, які дозволять ще більше знизити вміст клінкеру. Повідомляється, що одна з таких технологій дала змогу замінити 50 % клінкеру, і водночас зберегти якість / робочі характеристики продукції без збільшення собівартості. У стандартах на цемент визначено деякі типи цементу, що містять менш ніж 20 % клінкеру, – його частка компенсується шлаком з доменних печей. Проте типи цементу з низьким вмістом клінкеру призначені лише для спеціальних випадків застосування.

#### Застосування

Цей метод, в принципі, застосовний у всій цементній промисловості.

#### Економіка

Дані відсутні.

#### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Економічні вимоги.

Доступність належних відходів.

Вимоги до технічних характеристик та ефективності за викидами вуглекислого газу.

Вимоги, продиктовані стандартами на цемент.

#### Приклади заводів та довідкова література

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[9, SEMBUREAU, листопад 1997], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]

### 1.4.2.2 Зменшення споживання електроенергії

#### Опис

Споживання електроенергії можна мінімізувати шляхом встановлення систем керування розподілом електроенергії та використання енергоефективного обладнання, як-от помельні валки високого тиску та частотно-регульовані приводи для вентиляторів, а також, у деяких випадках, шляхом заміни старих сировинних млинів новими млинами (див. розділ 1.3.3.2). Споживання електроенергії також можна оптимізувати шляхом використання удосконалених систем моніторингу та зменшення просочування повітря у систему. Деякі з технологій зниження споживання електроенергії, описаних у наступних розділах, також сприятливо впливають на споживання енергії у цілому – наприклад, оптимізація керування технологічним процесом.

**Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Зниження та мінімізація споживання електроенергії.  
Збереження ресурсів та зниження викидів і кількості відходів.

**Міжсередовищні наслідки**

Немає проблем.

**Експлуатаційні параметри**

Порівняння основних характеристик взятих для прикладу технологій помелу наведено в розділі 1.3.3 та у Таблиці 1.19. У деяких випадках споживання енергії вдалося мінімізувати шляхом заміни старих млинів для матеріалу новими альтернативними млинами.

**Застосування**

Цей метод застосовний, в принципі, до всіх цементних печей.

**Економіка**

У 2006 році на споживання електроенергії припадало 15 – 25% загальної собівартості виробництва цементу (див. розділ 1.3.3.2).

**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Економічні вимоги, заощадження коштів.

Місцеві умови.

**Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[76, Німеччина, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [181, Європейська комісія, 2008], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

**1.4.2.3 Вибір технологічного процесу****Опис**

Вибір технологічного процесу впливає на викиди всіх забруднюючих речовин, а також є значним чинником споживання енергії, як показало, зокрема, дослідження з енергетичних технологій у цементному секторі, виконане на замовлення Європейської комісії у 1993 році. Було виявлено ряд технічних вдосконалень або модифікацій, а також відповідних можливостей для заощадження енергії, – наприклад, модифікації технологічного процесу, вдосконалення процесу помелу та підготовки сировинної муки, а також розробка систем енергетичного менеджменту [136, Європейська комісія, 1993].

Теплова енергія, необхідна для висушування та підігрівання сировини, залежить головним чином від вмісту води у сировині, як показано на прикладах у розділі 1.3.3.1 та у Таблиці 1.17. Чим нижчий вміст води, тим нижча потреба в енергії.

Для нових заводів та значних модернізацій найсучаснішою технологією вважається піч, що працює за сухим процесом, з багатоступеневим підігріванням та попереднім кальцинуванням. Загалом очікується, що печі, які працюють за мокрим процесом у Європі, перейдуть на сухий процес у рамках модернізації [12, Нідерланди, 1997] і далі працюватимуть за напівсухим та напівмокрим процесами.

**Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Зниження споживання енергії.  
Збереження ресурсів та зниження викидів і кількості відходів.

**Міжсередовищні наслідки**

Немає проблем.

**Експлуатаційні параметри**

На сучасних цементних заводах, якщо в піч завантажуються сировина, що містить менше 8,5 % води, її можна повністю висушити відхідними газами від чотири-, п'яти- чи шестиступеневого підігрівача без підведення додаткового тепла. У одному з прикладів стратегія максимальної ефективності заводу вимагала закриття заводів, які були розташовані біля покладів сировини на основі крейди з високим вмістом води: крейда містить понад 20 % води.

У Великій Британії, на заводі «Пейдсвуд Веркс» (Padeswood Works), дві печі, що працювали за мокрим процесом, з загальною потребою у тепловій енергії 5 649 МДж/т

клінкеру були замінені одним попереднім кальцинатором. У порівнянні з цими двома печами, що працювали за мокрим процесом, потреба у тепловій енергії для нової печі з попереднім кальцинатором, що працює за сухим процесом, у 2006 році склала 3 473 МДж/т клінкеру – це відповідає покращенню приблизно на 2 176 МДж/т клінкеру і зниженню потреби в енергії приблизно на 36 %. Проте ця потреба в енергії вища, ніж очікувалося б від печі з п'ятиступеневим попереднім кальцинатором, оскільки органічний вуглець з відходів, що використовуються у якості сировини, згорає на верхніх циклонних ступенях башти підігрівача і таким чином створює високі температури у верхній частині башти. У рамках вдосконалення технологічного процесу температури в башті будуть знижені, а це призведе до зниження загального споживання тепла приблизно до 3 150 МДж/т. У печі допускається використовувати до 100 % палива з відходів; проте у 2008 році експлуатаційний показник становив 30 % [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [163, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2008].

### **Застосування**

Цей метод, в принципі, застосовний у всій цементній промисловості для нових установок / значних модернізацій.

### **Економіка**

Перехід з мокрого на сухий технологічний процес дуже витратний і може коштувати до 100 мільйонів євро.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

### **Приклади заводів та довідкова література**

«Пейдсвуд Веркс» (Padeswood Works), Castle Cement, Велика Британія.

[12, Нідерланди, 1997], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006] [136, Європейська комісія, 1993] [163, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2008].

### **1.4.2.4 Регенерація енергії з печей та холодильників / комбіноване виробництво тепла та електроенергії**

#### **Опис**

У цементному виробництві, в принципі, застосовуються когенераційні установки для виробництва пару та електроенергії або теплоелектроцентралі. Це зумовлено одночасною потребою в тепловій та електричній енергії, яку довгий час намагалися задовольнити (див. розділ 1.2.5.8). Наразі використовується органічний цикл Ренкіна (ORC) та традиційні процеси на основі паросилового циклу. Крім того, надлишок тепла регенерується з клінкерних холодильників або відпрацьованих газів печі і використовується для централізованого опалення.

Ключовим елементом когенераційної установки є привідний двигун, проте на двох цементних заводах електроенергія генерується з низькотемпературних відхідних газів. У більшості випадків надлишок тепла регенерується з клінкерного холодильника та, меншою мірою, з відпрацьованих газів печі.

#### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Регенерація надлишкового тепла від технологічного процесу та комбіноване виробництво пари та електроенергії, а також більша незалежність від вартості електроенергії та зниження викидів CO<sub>2</sub>.

Збереження ресурсів та зниження викидів.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Немає проблем.

#### **Експлуатаційні параметри**

*Традиційний процес на основі паросилового циклу та процес з використанням органічного циклу Ренкіна (ORC)*

На цементному заводі в поселенні Сліте (Slite), що у Швеції, використовується процес на основі традиційного паросилового циклу. Тепло, що регенерується, передається на існуючу електростанцію, яка розташована поруч із цементним заводом і експлуатується третьою стороною. Там воно повторно використовується у паровій турбіні для

виробництва електроенергії. Пара виробляється у двоступеневій системі утилізаційних парових котлів – один з них знаходиться у клінкерному холодильнику, а інший у низхідному каналі печі. Цей завод постачає близько 6 МВт енергії. Інвестиційні витрати, розраховані з 1999 року, склали 8 мільйонів євро за котел та систему розподілу пару, з яких 25 % були надані як субсидія. Повторно використана існуюча парова турбіна є значною складовою економіки установки, проте витрати на неї не враховувалися. Річне виробництво електроенергії становить приблизно 50 ГВт· год. – це  $\frac{1}{4}$  загальної потреби заводу в електроенергії. Детальніший опис наведено у розділі 6.2.3.1.

Органічний цикл Ренкіна (ORC) використовується на цементному заводі у поселенні Ленгфурт (Lengfurt), що в Німеччині, з метою регенерації низькотемпературного відхідного тепла від клінкерного холодильника для виробництва електроенергії. Ця технологія, по суті, базується на використанні органічного рухомого теплоносія (пентану). Результати показали, що в заданому режимі роботи можна генерувати 1,1 МВт електроенергії. Ступінь готовності, якого вдалося досягти, склав 97 % часу роботи цементної печі. Клінкерний холодильник виділяє 14 МВт відхідного тепла, що виходить з відпрацьованим повітрям клінкерного холодильника, а температура відхідних газів становить 300 – 350 °С. З цього тепла відбирається у середньому 9 МВт. Ця технологія з використанням органічного циклу Ренкіна близько 10 років добре працює на цементному заводі у Ленгфурті. Детальніший опис наведено у розділі 6.2.3.2.

*Регенерація тепла з клінкерних холодильників або відпрацьованих газів печі для централізованого опалення.*

Відхідне тепло також можна регенерувати з клінкерного холодильника для постачання гарячої води. У більшості випадків котел знаходиться з боку очищених газів фільтра, тож у якості пиловловлювача в таких випадках потрібно використовувати електрофільтр. Як варіант, якщо в якості знепилювального пристрою за котлом встановлений рукавний фільтр, можна використовувати міцний, стійкий до абразивного зношування котел-утилізатор. До заводів, обладнаних системами гарячої води з регенерацією відхідного тепла, належить, зокрема, завод у місті Бургленгенфельд (Burglengenfeld), що в Німеччині, та заводи в містах Бююкчекмедже (Büyükkçekmedje) та Чанаккале (Çanakkale), що в Туреччині.

На шведському цементному заводі у місті Шевде (Skövde) також використовується утилізаційний паровий котел, розташований у низхідному каналі відпрацьованих газів печі. Як і на цементному заводі в поселенні Сліте, він регенерує менше тепла, ніж очікувалося, – 1,2 МВт замість проєктних 2,5 МВт. Ситуація з ним така ж, як і на заводі в Сліте: властивості типового дрібнодисперсного пилу, що надходить від башти підігрівача, заважають ефективному теплообміну. Це досі залишається проблемою і обмежує використання відпрацьованих газів підігрівача у якості джерела тепла – як з технічної, так і з економічної точки зору.

### **Застосування**

Цей метод застосовний, в принципі, до всіх цементних печей, якщо вони здатні виробляти достатньо надлишкового тепла і підтримувати належні параметри технологічного процесу. Потрібно враховувати місцеві умови та питання вартості.

### **Економіка**

Велика повномасштабна електростанція коштує у середньому від приблизно 0,8 до 1,2 мільйона євро за МВт встановленої вихідної потужності. Завод у Ленгфурті (Німеччина), що працює за органічним циклом Ренкіна (ORC), перевищує цей показник приблизно у 3,3 разу. Завод у Ленгфурті потужністю 1 МВт, що працює за органічним циклом Ренкіна, зовсім малий, проте він рентабельний, оскільки частково фінансується німецьким урядом.

Схожа ситуація з цементним заводом у Сліте (традиційний процес на основі паросилового циклу), де паротурбінний генератор встановлений з 25 %-им фінансуванням, і наявна життєво необхідна та дорога частина обладнання. З огляду лише на кошти, виручені від його роботи, важко обґрунтувати повний обсяг інвестицій у пароводяний котел та систему генерування електроенергії.

З введенням в експлуатацію нових ефективних башт підігрівачів та клінкерних холодильників надлишок невикористаного тепла зменшиться, і економічний масштаб комбінованого виробництва тепла та електроенергії може стати не вигідним, особливо у випадку, коли більшість тепла потрібна для процесів висушування матеріалу.

Регенерація відхідного тепла від печі та клінкерного холодильника для виробництва електроенергії може оцінюватися для кожного конкретного випадку. Рентабельність також може залежати від місцевих цін на електроенергію та розміру заводу.

Окрім випадків, коли тепло – особливо від клінкерного холодильника – регенерується для централізованого опалення, регенерація тепла може бути доцільною, якщо:

- доступна певна кількість надлишкового тепла;
- регенероване тепло можна продати шляхом центрального опалення;
- наявна система центрального опалення, або ж вона фінансується та експлуатується партнером;
- генератор виробляє електроенергію, яку можна використовувати на заводі або постачати в комунальну електромережу.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства – наприклад, Директива про комбіноване виробництво тепла та електроенергії [94, Європейський Союз, 2004].

Зменшення витрат.

Збереження ресурсів.

### Приклади заводів та довідкова література

Окрім двох описаних вище енергетичних установок для комбінованого виробництва тепла та електроенергії з відхідного тепла (на цементних заводах у Швеції та Німеччині, існують також установки в інших містах, як-от Алпіна (40 МВт) у штаті Мічиган, США; Халла (Halla) (10,6 МВт) у Кореї; Тагада (Tagada) та Канда (Kanda) у Японії [133, SEMBUREAU/Federhen, 2007], [76, Німеччина, 2006], [78, Е. Баатц + Дж. Хайдт, 2000], [79, Німеччина, 2001], [94, Європейський Союз, 2004], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [181, Європейська комісія, 2008].

## 1.4.3 Загальні технології

### 1.4.3.1 Оптимізація контролю технологічного процесу

#### Опис

Оптимізація процесу випалювання клінкеру зазвичай здійснюється з метою зниження споживання тепла, покращення якості клінкеру та збільшення терміну служби обладнання (наприклад, вогнетривкої футеровки) шляхом стабілізації параметрів технологічного процесу. Другорядними ефектами такої оптимізації є зниження викидів, таких як викиди  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  та пилу. Безперебійна та стабільна робота печі, за якої параметри технологічного процесу близькі до проектних значень, сприятливо впливає на всі викиди з печі. Оптимізація охоплює такі технології, як гомогенізація сировини, забезпечення рівномірного дозування вугілля та вдосконалення роботи холодильника. Щоб забезпечити стабільну швидкість подавання твердого палива з мінімумом піків вкрай важливою є правильна конструкція бункерів, транспортних конвеєрів та живильників – наприклад, сучасна гравіметрична система подавання твердого палива.

Відновлення (зниження викидів)  $\text{NO}_x$  досягається шляхом зниження температур факела та випалювання і зменшення споживання палива, а також влаштування зон з відновлювальною атмосферою у пічній системі (також див. розділ 1.4.5.1.6). Для контролю викидів  $\text{NO}_x$  вкрай важливо контролювати вміст кисню (надлишку повітря). Загалом, чим менший вміст кисню (надлишок повітря), наприклад, у холодному кінці цементної печі, тим менше  $\text{NO}_x$  там утворюється. Проте це зменшення має бути збалансоване зі збільшенням викидів  $\text{CO}$  та  $\text{SO}_2$  за нижчих рівнів кисню [37, Велика Британія, 1996].

Оптимізація пічного процесу суттєво впливає на викиди  $\text{SO}_2$  у довгих печах, що працюють за мокрим або сухим способом, та дуже слабко – у печах з підігрівачами. Зниження рівня  $\text{SO}_2$  зумовлене наявністю  $\text{CaO}$ , що утворюється у результаті процесу кальцинування внаслідок зниженої легкості  $\text{SO}_2$  за нижчих температур факела і випалювання та окисної атмосфери в печі у поєднанні зі стабільною роботою печі [9, SEMBUREAU, листопад 1997].

Недопущення збоїв у роботі печі та відключень за рівнем  $\text{CO}$  при застосуванні електрофільтрів призводить до зниження викидів пилу, а отже, і до зниження викидів будь-яких речовин, що адсорбуються пилом, – наприклад, металів.

Сучасні системи контролю зі швидшим вимірювальним та контрольним обладнанням



дають змогу встановити вищі критерії вимкнення, і таким чином зменшити кількість відключень за рівнем CO (також див. розділи 1.3.4.1.1, 1.4.5.3 та б.2.6).

Кілька постачальників обладнання для виробництва цементу розробили експертні системи автоматичного контролю, робота яких зазвичай базується на контролі горіння шляхом моніторингу рівнів NO<sub>x</sub> [37, Велика Британія, 1996].

Моніторинг і вимірювання параметрів технологічного процесу та викидів є невід'ємною частиною оптимізації керування технологічним процесом та досягнення стабільного пічного процесу.

#### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

Зниження температур факела та випалювання призводить до зниження викидів NO<sub>x</sub>. Крім того, можна зменшити споживання палива. Викиди пилу знижуються за рахунок запобігання збоєм у роботі печі та відключенням за рівнем CO завдяки використанню електрофільтрів.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Зниження викидів та споживання палива.

#### **Експлуатаційні параметри**

Для довгих печей, що працюють за мокрим або сухим процесом, повідомлялося про випадки зниження рівнів NO<sub>x</sub> на величину до 30 % та зниження рівнів SO<sub>2</sub> на величину до 50 % (залежно від початкових рівнів NO<sub>x</sub>), проте для печей з підігрівачами цей ефект є дуже слабким [9, SEMBUREAU, листопад 1997].

#### **Застосування**

Оптимізація контролю технологічного процесу може застосовуватися до всіх печей і складатися з різних заходів – від інструктажу/навчання операторів печей до встановлення нового обладнання, такого як системи дозування, гомогенізаційні силоси, шари попереднього перемішування та нові клінкерні холодильники. Оптимізація контролю технологічного процесу суттєво впливає на викиди SO<sub>2</sub> у довгих печах, що працюють за мокрим або сухим способом, проте дуже слабо – у печах з підігрівачами.

Шляхом використання електрофільтрів у цементній промисловості можна реалізувати керування відключеннями за рівнем CO (див. розділ 1.4.5.3).

#### **Економіка**

Витрати на технології оптимізації керування технологічним процесом значно різняться і можуть досягати 5 мільйонів євро.

Інвестиції, необхідні для реалізації розвинених експертних систем автоматичного контролю, що зазвичай базуються на контролі горіння шляхом моніторингу рівнів NO<sub>x</sub>, тобто комп'ютеризованих систем високорівневого контролю, складають близько 300 000 євро. Крім того, можуть знадобитися додаткові інвестиції для встановлення необхідних систем відмірювання та дозування на заводі.

Оптимізація печі зазвичай здійснюється для зменшення експлуатаційних витрат, збільшення потужності та покращення якості продукції. Експлуатаційні витрати оптимізованої печі зазвичай менші у порівнянні з неоптимізованим станом. Заощадження досягаються, зокрема, за рахунок таких факторів, як зменшення споживання палива та вогнетривких матеріалів, зниження витрат на технічне обслуговування та підвищення продуктивності.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

#### **Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[9, SEMBUREAU, листопад 1997], [37, Велика Британія, 1996], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2008].

### 1.4.3.2 Вибір палива та сировини

#### Опис

За допомогою ретельного вибору та контролю речовин, що подаються у піч, можна знизити викиди. Наприклад, шляхом обмеження вмісту сірки як у сировині, так і в паливі можна знизити викиди SO<sub>2</sub>. Те ж саме справджується для сировини та палива, що містять інші речовини – наприклад, азот, метали, органічні сполуки, HCl, HF. Проте існують деякі відмінності між різними пічними системами та точками живлення. Наприклад, паливна сірка не є проблемою для пічних систем з сухим підігрівачем та попереднім кальцинатором, а всі органічні сполуки, що вносяться з паливом через основний пальник, повністю розпадаються.

Обмеження вмісту хлору в матеріалах, які завантажуються в піч, зменшує інтенсивність утворення лужних хлоридів (та інших хлоридів металів), які можуть призводити до появи нашарувань та збоїв у роботі печі, а отже, погіршувати робочі показники електрофільтрів, що, в свою чергу, призводить до збільшення викидів пилу. У разі використання матеріалів з високим вмістом лугів може бути необхідно випускати деяку частину пилу, а не переробляти її в пічній системі, щоб готова продукція не містила велику кількість лугів. У цьому випадку використання матеріалів з низьким вмістом лугів дає змогу повертати пил у технологічний процес, а отже, зменшити кількість відходів, що утворюються у процесі.

Викопні види палива та сировини можна замінити різними типами відходів. Проте при цьому обов'язковим є ретельний контроль якості з точки зору конкретних характеристик і параметрів цих відходів (див. розділи 1.2.4 та 1.2.4.3.2). Використовуючи у якості палива відходи з правильно підбраною теплою згорання та реактивністю, а також з низьким вмістом вологи та забруднюючих речовин, можна заощадити на викопному паливі (див. розділи 1.3.3 та 1.4.3.3). Використання у якості сировини відходів, які містять ЛОС, галогенізовані сполуки та ртуть, може бути особливо проблематичним з точки зору викидів. Слід уникати завантаження в пічну систему матеріалів з високим вмістом летких металів (див. розділи 1.3.4.7, 1.3.4.7.1 та 1.4.7). Вміст ртуті в матеріалах потрібно мінімізувати; при цьому може бути необхідно обмежити кількість ртуті, що вноситься у пічну систему (див. розділ 1.3.4.13). Стосовно цього питання також див. розділ 6.2.2.1.1, де наведені приклади діапазонів концентрацій речовин у відходах. Відходи, що містять ЛОС / галогенізовані сполуки, можна використовувати лише в тому разі, якщо леткі сполуки можуть розкластися за високих температур, і забезпечується достатній час їх перебування у системі. У разі використання відходів необхідно забезпечити систематичний моніторинг.

#### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Шляхом ретельного вибору палива та сировини можна обмежити внесення у систему речовин, які можуть призводити до викидів. Використання палива з відходів дає змогу заощадити на викопному паливі і, крім того, зменшити кількість відходів, що викидаються на звалища.

#### Міжсередовищні наслідки

Будь-які типи палива та сировини, у тому числі й відходи, можуть впливати на викиди (особливо на викиди, зумовлені наявністю летких металів, таких як ртуть).

#### Експлуатаційні параметри

Дані відсутні.

#### Застосування

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у цементній промисловості. Використання належних відходів доцільне у випадках, коли забезпечується повне згорання органічної речовини, а контроль відходів, що завантажуються в піч, а також контроль викидів, гарантує низький рівень викидів – наприклад, металів та діоксинів.

#### Економіка

Дані відсутні.

#### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

## Приклади заводів та довідкова література

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[74, SEMBUREAU, 2006], [76, Німеччина, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

### 1.4.3.3 Використання відходів у якості палива

#### Опис

Вибрані відходи з належною (нижчою) теплою згорання (див. розділ 1.3.3.3 та Таблицю 1.20) можна використовувати у якості палива в цементній печі замість викопних видів палива, таких як вугілля, якщо вони відповідають певним технічним умовам та характеристикам (див. розділ 1.2.4.1, розділ 1.2.4.3). Часто їх можна використовувати лише після певної попередньої переробки для отримання палив, спеціально адаптованих до процесу випалювання клінкеру (див. розділ 1.2.4.3.2). Вирішальну роль у виборі відходів, що будуть використовуватися в якості палива, відіграють різні критерії, оскільки вони можуть впливати на роботу печі та викиди, як-от:

- фізичні критерії, наприклад, проникність для повітря;
- хімічні критерії, наприклад, вміст хлору, сірки, лугів та фосфатів, реактивність та вміст летких металів.

Щоб гарантувати необхідні характеристики палива з відходів, потрібна система контролю якості. Ця система, зокрема, встановлює процедури відбору проб, підготовки проби, аналізу та зовнішнього моніторингу. Більше корисної інформації можна знайти у технічних вимогах Європейського комітету зі стандартизації, таких як CEN/TC 343 «Тверде відновлене (відновлювальне) паливо». Стосовно цього питання також див. розділ 6.2.2.1.1, де наведені приклади діапазонів концентрацій речовин у відходах.

Залежно від типів палива, що використовується, та їх характеристик, потрібно враховувати точки, через які паливо вноситься в піч (див. розділ 1.2.5.1), оскільки спосіб завантаження палива у піч може впливати на викиди. Найвищих температур згорання загалом можна досягти, завантажуючи паливо через основний пальник. Для всіх точок живлення температура та час перебування в печі залежать від конструкції печі та роботи печі (див. розділ 1.2.4.1). Для дотримання вимог стосовно сумісного спалювання відходів, встановлених Директивою щодо промислових викидів, технологічні гази повинні зберігати температуру 850 °C протягом двох секунд (див. розділи 1.2.4.3.2 та 1.3.4.5). У разі використання палива, що містить понад 1 % хлору, умови роботи повинні бути такими: температура 1100 °C та час перебування у печі – дві секунди.

З метою контролю викидів може встановлюватися деяке додаткове обладнання для контролю впливу на навколишнє середовище. Для дотримання стандартів охорони навколишнього середовища, безпеки та якості потрібно застосовувати спеціальні технології контролю та виробничого процесу.

У разі використання небезпечних відходів (рідкого палива з відходів) при поводженні з таким паливом (наприклад, при його зберіганні та завантаженні в піч) потрібно враховувати питання керування безпекою (див. розділ 1.2.4.3.3). Крім того, у разі використання палива з відходів, отриманого з попередньо перероблених та відсортованих фракцій відходів, може виявитися доцільно організувати керування безпекою для потенційно самозаймистих матеріалів.

#### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Вибір палива з відходів диктується рядом взаємопов'язаних міркувань, зокрема, таких:

- зниження викидів – наприклад, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> з викопних відходів;
- скорочення споживання природних ресурсів – наприклад, викопного палива та сировини.

#### Міжсередовищні наслідки

Питоме споживання енергії на тонну клінкеру може залежати від характеристик різних типів палива з відходів, таких як вміст вологи чи теплота згорання. Наприклад, низька (нижча) теплота згорання та високий вміст вологи можуть призвести до збільшення питомого споживання енергії на тонну клінкеру.

Для задоволення тієї ж потреби в енергії використана кількість палива з відходів, яке має нижчу теплоту згорання, буде більшою у порівнянні з викопними видами палива.

Залежно від своїх характеристик – наприклад, високих концентрацій летких металів, – паливо з відходів може впливати на викиди. Цей вплив можна контролювати та мінімізувати за допомогою належного вхідного контролю.

### Експлуатаційні параметри

При зміні паливної суміші, що використовується, питома споживання енергії на тонну клінкеру може різнитися з різноманітних причин, залежно від типів палива та теплоти згорання палива, що використовується. З літератури можна дізнатися, що теплота згорання (середня нижча теплота згорання) викопних видів палива становить, наприклад, 26 – 30 МДж/кг для звичайного вугілля, 40 – 42 МДж/кг для звичайного мазуту, у той час як теплота згорання пластмасових матеріалів становить від 17 до 40 МДж/кг. Слід зазначити, що теплота згорання цих відходів дуже різниться і може досягати 40 МДж/кг. Повідомляється, що теплота згорання тваринної муки (кісткової муки), яке використовується в цементних печах, знаходиться в діапазоні від 14 до 22 МДж/кг.

### Застосування

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у цементній промисловості за умови повного згорання органічної речовини. Вхідний контроль відходів, а також контроль викидів, гарантує низький рівень викидів, наприклад, металів та ПХДД/Ф.

### Економіка

У порівнянні з викопними видами палива, використання палива з відходів може знизити експлуатаційні витрати. На споживання енергії зазвичай припадає 30 – 40 % собівартості продукції. Тому витрати на паливо є значною складовою витрат на виготовлення цементу. Паливо з відходів може бути дешевшим, ніж викопне паливо, хоча його вартість різниться залежно від типу палива з відходів та місцевих умов. Проте паливо з відходів часто потрібно попередньо переробляти та робити достатньо однорідним для використання у цементній печі, а це може призвести до додаткових витрат. Крім того, можливі додаткові витрати на моніторинг та аналіз.

### Стимули для впровадження

Економічні вимоги.

Зменшення витрат на паливо.

Місцеві умови.

Доступність ресурсів.

### Приклади заводів та довідкова література

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[59, Європейський Союз, 2000], [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [74, SEMBUREAU, 2006], [76, Німеччина, 2006], [92, Австрія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### 1.4.4 Викиди пилу (твердих частинок)

У цьому розділі описано технології запобігання організованим (див. розділи 1.3.4.1.1 та 1.3.4.1.2) і неорганізованим (див. розділ 1.3.4.1.3) викидам пилу. Додаткова інформація на цю тему також наведена у Довідковому документі з НДТМ для викидів зі складів та у Довідковому документі з НДТМ для загальних систем переробки/керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі [95, Швеція, 2006], [96, Європейська комісія, 2006].

##### 1.4.4.1 Технології для операцій, що супроводжуються утворенням пилу

###### Опис

Джерелами неорганізованих викидів пилу є головним чином зберігання та вантаження сировини, палива та клінкеру, а також рух транспортних засобів, що використовуються на виробничому майданчику. Для мінімізації можливих джерел неорганізованих викидів пилу рекомендується забезпечити просте та лінійне компонування майданчику. Належне та повне технічне обслуговування установки завжди опосередковано зменшує утворення неорганізованого пилу за рахунок зменшення витоків повітря та кількості точок просипання. Використання автоматичних пристроїв та систем контролю, як і безперебійна

та безаварійна робота, також допомагають зменшити неорганізовані викиди пилу. У цьому розділі представлено кілька технологій для зниження неорганізованих викидів пилу, які можна застосовувати окремо або у комбінації (див. розділ 1.3.4.1):

- огороження / закриття кожухами операцій, що супроводжуються утворенням пилу, таких як помел, просіювання та перемішування;
- укриття конвеєрів та елеваторів, які конструюються як закриті системи, якщо є велика ймовірність, що пилоподібні матеріали будуть створювати неорганізовані викиди пилу;
- зменшення витоків повітря та кількості точок просипання, повне укомплектування установки;
- використання автоматичних пристроїв та систем контролю;
- забезпечення безаварійної роботи;
- використання пересувних та стаціонарних пирососів для належного та повного технічного обслуговування установки:
  - під час операцій технічного обслуговування або у разі відмови транспортних систем матеріали можуть просипатися. Для запобігання утворенню неорганізованого пилу під час операцій з прибирання матеріалів слід використовувати вакуумні системи. Нові будівлі можна легко обладнати стаціонарними вакуумними очисними системами, а існуючі будівлі зазвичай зручніше оснащувати пересувними системами з гнучкими з'єднаннями;
  - у певних випадках для пневматичних транспортних систем більш доцільно реалізувати циркуляційний процес;
- вентиляція та уловлювання пилу рукавними фільтрами:
  - усі вантажні операції з матеріалами, наскільки це можливо, слід виконувати у закритих системах, в яких підтримується розрідження. Всмоктане з цією метою повітря потім очищається від пилу в рукавних фільтрах, і лише тоді викидається в повітря;
- використання закритого сховища з автоматичною системою завантаження-розвантаження:
  - силоси для клінкеру та повністю автоматизовані закриті складські майданчики для сировини вважаються найефективнішим рішенням проблеми неорганізованого пилу, що утворюється великими об'ємами запасів. Ці типи сховищ обладнані одним або кількома рукавними фільтрами для запобігання утворенню неорганізованого пилу під час операцій завантаження та розвантаження;
  - використання силосів для зберігання належної місткості, індикаторів рівня з рубильниками та фільтрами для очищення запиленого повітря, що рухається під час операцій заповнення;
- для процесів відвантаження та завантаження – використання гнучких наповнювальних труб, обладнаних системою відсмоктування пилу для вантаження цементу і спрямованих на завантажувальну підлогу вантажівки.

#### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Зменшення неорганізованих викидів пилу.

За допомогою огороження машин кожухами також можна знизити рівень шуму.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Збільшення споживання енергії внаслідок використання вакуумних систем.

При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

#### **Експлуатаційні параметри**

Залежать від конкретного процесу/технології для окремого випадку.

#### **Застосування**

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у цементній промисловості.

#### **Економіка**

Залежить від конкретного процесу/технології для окремого випадку.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

Вимоги до охорони здоров'я та техніки безпеки на робочих місцях.

## Приклади заводів та довідкова література

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[76, Німеччина, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

### 1.4.4.2 Технології для майданчиків зберігання насипом та кагатів (відкриті склади)

#### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

З метою зменшення неорганізованих викидів пилу на складських майданчиках під відкритим небом, де зберігається пилка мінеральна сировина або паливо, такі кагати або майданчики зберігання насипом можна вкрити чи обгородити екранами, стінами або огорожами, що складаються з вертикальних зелених насаджень (штучними або природними вітрозахисних бар'єрами для захисту відкритих складів від вітру).

Ось деякі технології зниження неорганізованих викидів пилу:

- захист відкритих складів від вітру;
  - слід уникати зберігання пилоподібних матеріалів у кагатах під відкритим небом, проте якщо такі кагати існують, неорганізовані викиди пилу можна зменшити за допомогою вітрових бар'єрів належної конструкції;
- розбризкування води або хімічні засоби придушення пилу:
  - якщо точкове джерело неорганізованого пилу точно локалізоване, можна встановити струменеву систему розбризкування води. Зволожені частки пилу краще злипаються, а це сприяє осадженню пилу. Існує велике розмаїття засобів для покращення загальної ефективності розбризкування води;
- вимощування, змочування доріг та підтримання чистоти:
  - ділянки, по яких їздять вантажівки, повинні бути вимощені, якщо це можливо, а поверхні слід тримати максимально чистими. За допомогою змочування доріг можна знизити неорганізовані викиди пилу, особливо у суху погоду. Дороги також можна прибирати підмітально-прибиральними машинами. Для зведення до мінімуму неорганізованих викидів пилу слід дотримуватися належних практик прибирання;
- зволоження кагатів:
  - неорганізовані викиди пилу з кагатів можна зменшити шляхом достатнього зволоження пунктів завантаження і розвантаження та використання конвеєрних стрічок з регульованою висотою.

Якщо неорганізованих викидів пилу у пунктах завантаження та розвантаження на складських майданчиках неможливо уникнути, їх можна зменшити: для цього потрібно слідкувати (якщо це можливо, автоматично) за тим, щоб висота розвантаження відповідала змінній висоті кагату, або зменшити швидкість розвантаження.

#### Міжсередовищні наслідки

Якщо на ділянках зберігання підтримується волога, споживання води збільшується.

У результаті використання вакуумних систем та систем розбризкування води збільшується споживання енергії.

При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

#### Експлуатаційні параметри

Залежать від конкретного процесу/технології для окремого випадку.

#### Застосування

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у цементній промисловості.

#### Економіка

Залежить від конкретного процесу/технології для окремого випадку.

#### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

Вимоги до охорони здоров'я та техніки безпеки на робочих місцях.

### Приклади заводів та довідкова література

Цементні заводи у країнах ЄС-27, завод у поселенні Гадор (Gador), що в Іспанії. [9, SEMBUREAU, листопад 1997], [45, Шорхт, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### 1.4.4.3 Зменшення організованих викидів пилу

Основні точкові джерела викидів пилу з цементних заводів можуть бути різними. До них належать пічні системи, клінкерні холодильники та млини для сировини, цементу та вугілля, а також допоміжні процеси. Основну частку викидів дрібнодисперсного пилу (фракції  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) можна зменшити шляхом зменшення загального пилового навантаження та використання високоефективних систем знепилювання. У минулому з цією метою використовувалися різні знепилювальні пристрої, проте станом на 2007 рік основними системами сухого фільтрування димових газів, що використовуються для зменшення викидів пилу, є рукавні фільтри, електрофільтри (ЕСП) або так звані комбіновані фільтри, що поєднують у собі риси обох цих видів фільтрів. У деяких випадках повідомляється про використання спечених пластинчатих фільтрів, але не в цементних печах. Приклади типів систем електрофільтрів і рукавних фільтрів та кількостей відфільтрованого та відсмоктаного пилу наведено в Таблиці 1.24. Значними також можуть бути неорганізовані викиди пилу, що утворюються при вантаженні та зберіганні матеріалів, дробленні та помелу сировинних матеріалів та палива (див. розділи 1.4.4.1 та 1.4.4.2). У Таблиці 1.31 підсумовано експлуатаційні параметри, наведені в тексті цього розділу. Ця таблиця містить загальні відомості, і її слід розглядати разом з відповідними розділами та наведеними нижче параграфами.

Електрофільтри та рукавні фільтри мають свої переваги та недоліки. Для обох цих різновидів фільтрів властива дуже висока ефективність видалення пилу у нормальному режимі роботи. За особливих умов – наприклад, за високих концентрацій  $CO$ , під час пуску чи зупинки печі або переходу з сумісного режиму роботи (сировинний млин увімкнений) у прямий режим роботи (сировинний млин вимкнений) – ефективність електрофільтрів значно зменшиться, у той час як ефективність рукавних фільтрів зазнає меншого впливу. Проте використання електрофільтрів дає змогу мінімізувати наслідки відключень за рівнем  $CO$ , як описано у розділі 6.2.6. Для електрофільтрів та рукавних фільтрів властива висока загальна ефективність – вони затримують понад 99 % твердих часток. При цьому ефективність обох видів фільтрів залежить від розміру часток. Обидва типи фільтрувальних систем потребують належного (періодичного) технічного обслуговування для підтримання належної ефективності. Залежно від температури відхідних газів, потрібно використовувати різні типи фільтрувальних матеріалів. Недоліком рукавних фільтрів є те, що використані фільтрувальні мішки є відходами, і їх потрібно утилізувати згідно з національними нормами [9, SEMBUREAU, листопад 1997], [103, SEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].



Таблиця 1.31. Огляд технологій контролю викидів пилу у процесі виробництва цементу

Захід/технологія	Застосування	Дані про викиди <sup>(1)</sup>		Витрати <sup>(2)</sup>	
		мг/м <sup>3</sup> н.у. ( <sup>3</sup> )	кг/тону ( <sup>4</sup> )	Інвестиційні Мільйони євро	Експлуатаційні Євро/т клінкеру
Електрофільтри	Усі пічні системи, клінкерні холодильники, цементні млини	<10 – <20	0,02 – 0,05	2,1 – 6,0	0,1 – 0,2
		<10 – <20	0,02 – 0,05	0,8 – 1,2	0,09 – 0,18
		<10	0,02	0,8 – 1,2	0,09 – 0,18
Рукавні фільтри	Усі пічні системи, клінкерні холодильники, млини (сировинні, цементні, вугільні млини)	<5	0,01	2,1 – 6,0 ( <sup>5</sup> )	0,15 – 0,35
		<5	0,01	1,0 – 1,4 ( <sup>5</sup> )	0,1 – 0,15
		<10	0,02	0,3 – 0,5 ( <sup>5</sup> )	0,03 – 0,04
Комбіновані фільтри	Усі пічні системи, клінкерні холодильники, цементні млини	<10 – 20	0,02 – 0,05		
Зниження неорганізованих викидів пилу	Усі заводи	-	-	-	-

(<sup>1</sup>) Дані про викиди наведені у відповідному параграфі цього розділу  
(<sup>2</sup>) Витрати на зниження викидів до 10 – 30 мг/м<sup>3</sup> н. у., зазвичай вказані для потужності печі у 3 000 тонни клінкеру на добу та початкових викидів до 500 г пилу/м<sup>3</sup> н. у.  
(<sup>3</sup>) Дані для пічних систем, зазвичай визначені як середньодобові значення, за таких умов: сухий газ, 273 К, 101,3 кПа та 10 % O<sub>2</sub>  
(<sup>4</sup>) кг/тону клінкеру: з розрахунку на 2 300 м<sup>3</sup>/тону клінкеру  
(<sup>5</sup>) Залежно від того, який фільтрувальний матеріал використовується, див. Таблицю 1.32, за ефективностями уловлювання пилу понад 99,9 %

Більше прикладів типів систем електрофільтрів і рукавних фільтрів разом з кількостями відфільтрованого та відсмоктаного пилу наведено в розділі 1.3.4.1.1 та у Таблиці 1.24. Ці значення означають типові діапазони, проте загальний огляд також дає змогу оцінити кількість відфільтрованого та відсмоктаного пилу у тих випадках, коли це має сенс [76, Німеччина, 2006].

#### 1.4.4.3.1 Електрофільтри (ЕСП)

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Електрофільтри (ЕСП) створюють електростатичне поле на шляху твердих часток у потоці повітря. Частки набувають негативного заряду і рухаються до позитивно заряджених осаджувальних пластинчатих електродів. Осаджувальні пластини періодично струшуються за допомогою простукування чи вібрації, скидаючи матеріал, який падає у збиральні бункери під осаджувальними пластинами. Цикли струшування електрофільтра важливо оптимізувати таким чином, щоб мінімізувати вторинне винесення твердих часток, а отже, звести до мінімуму можливість того, що шлейф викидів стане видимим. Електрофільтри характеризуються здатністю працювати в умовах високої температури (приблизно до 400 °С) та високої вологості.

Ефективність роботи електрофільтра залежить від різноманітних експлуатаційних параметрів, таких як:

- вміст вологи у газі;
- хімічний склад димових газів;
- витрата димових газів;
- гранулометричний та хімічний склад часток;
- питомий електричний опір твердих часток;
- інтенсивність навантаження твердими частками;
- температура газу;
- робота в режимі пуску та зупинки;
- напруженість електричного поля;
- площа та форма електродів;
- концентрація SO<sub>2</sub>;
- вміст вологи;
- перехідні фази між різними умовами роботи.

Ефективність роботи, зокрема, може погіршитися внаслідок накопичення матеріалу, який утворює на електродах ізоляційний шар, і таким чином послаблює електричне поле. Це може трапитися, якщо у пічний процес вноситься велика кількість хлору та сірки, з яких утворюються хлориди та сульфати лужних металів. Хлориди лужних металів можуть утворювати субмікронний пил (0,1 – 1 мкм) і мають високий питомий опір пилу (у діапазоні  $10^{12}$  –  $10^{13}$  Ом/см). Цей пил утворює на електродах ізоляційні шари і таким чином призводить до проблем з видаленням пилу.

Проблеми, пов'язані з високим питомим опором пилу, можна частково вирішити шляхом вприскування води у випарні охолоджувачі. Іншим способом вирішення цієї проблеми є використання рукавних фільтрів.

### **Міжсередовищні наслідки**

Можуть утворюватися хлориди та сульфати лужних металів з субмікронними частками пилу.

За високих концентрацій СО виникає ризик вибуху (див. розділ 1.4.5.3).

Споживання електроенергії збільшується зі збільшенням ефективності видалення пилу.

При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

Пил можна використати повторно.

### **Експлуатаційні параметри**

Електрофільтри достатнього розміру, у поєднанні з належним кондиціонуванням повітря та оптимізованим режимом очищення електрофільтра, здатні знизити рівні викидів до 5 – 15 мг/м<sup>3</sup> н.у. у перерахунку на середньомісячне значення (сухий газ, 273 К, 10 % O<sub>2</sub>). Проектна ефективність уловлювання твердих часток перевищує 99,99 %, а отже, можна досягти рівнів викидів всього у кілька мг/м<sup>3</sup> н.у. Електрофільтри є дуже ефективними пристроями для уловлювання наддрібних часток (<0,5 мкм) за умови, що ці частки здатні злипатися. Електрофільтри розраховані на важкі умови експлуатації, а тому можуть застосовуватися у широкому спектрі умов і порівняно нечутливі до порушень технологічного процесу. Існуючі установки електрофільтрів часто можна модернізувати без потреби у їх повній заміні, а це дає змогу скоротити витрати. Ці фільтри можна модернізувати шляхом їх оснащення сучаснішими електродами або встановлення засобів автоматичного регулювання напруги на старіших установках. Крім того, іноді можна покращити проходження газу через електрофільтр або додати допоміжні ступені. У 2006 році багато добре сконструйованих електрофільтрів, які отримували належне технічне обслуговування, знижували рівні викидів пилу до <10 мг/м<sup>3</sup> н. у. (середньодобове значення). Електрофільтр, який знижує викиди до менш ніж <10 мг/м<sup>3</sup> н. у., можна побудувати шляхом застосування найсучасніших засобів керування технологічним процесом, оптимального живлення високої напруги, вибору належного розміру та потрібної кількості електричних полів.

Окрім пилу, електрофільтр також видаляє речовини, адсорбовані частками пилу, як-от діоксини та метали, якщо вони присутні.

Розмір та споживання електроенергії електрофільтром експоненційно збільшується зі зниженням вмісту пилу в очищених газах. Для оптимальної роботи електрофільтр повинен працювати в умовах заданого стану неочищених газів – наприклад, за заданої температури та вологості. Термін служби електрофільтра може становити кілька десятків років за умови, що всі рекомендовані заходи технічного обслуговування виконуються належним чином. Деякі деталі, як-от ударники та підшипники, потребують регулярної заміни через кілька років роботи у рамках планового технічного обслуговування.

### **Застосування**

Через свою високу ефективність, малу втрату тиску, високу готовність до роботи та енергоефективність електрофільтри успішно зарекомендували себе як пристрої для уловлювання пилу з відхідних газів обертової печі та відхідних газів клінкерного холодильника. Електрофільтри можна використовувати майже у всіх випадках застосування цементних печей для уловлювання пилу з відхідних газів печі, пилу з обхідних газів або вихідного повітря від колосникових холодильників.

У існуючій літературі зазначено, що немає обмежень на застосування електрофільтрів у різних типах технологічних процесів, що використовуються у цементній промисловості. Проте електрофільтри часто не обирають для знепилювання цементних млинів через

інвестиційні витрати та ефективність (порівняно високі викиди) під час пусків та зупинок. Електрофільтри характеризуються здатністю працювати в умовах високої температури (приблизно до 400 °С) та високої вологості. Основним недоліком цього засобу/технології є їх знижена ефективність при появі ізоляційного шару та нашаруванні матеріалу, який може утворюватися, якщо в піч вноситься велика кількість хлору та сірки.

Для забезпечення загальної ефективності електрофільтрів важливо уникати відключень за рівнем CO (див. розділи 1.2.5.6.1, 1.4.5.3 та 6.2.6).

У деяких випадках електрофільтрам доводиться вимикатися з міркувань безпеки за підвищених рівнів CO в димових газах (відключення за рівнем CO) (також див. розділи 1.3.4.1.1, 1.4.3.1, 1.4.5.3 та 6.2.6).

### **Економіка**

У 2000 році інвестиційні витрати на новий електрофільтр для печі потужністю 3 000 тонн клінкеру/добу, з початковими рівнями викидів до 500 г/м<sup>3</sup> н. у. та вмістом пилу в очищених газах 10 – 50 мг/м<sup>3</sup> н. у. складала близько 1,5 – 3,8 мільйона євро, і ще 0,6 – 0,8 мільйона євро за колону-кондиціонер та фільтр, якщо вони потрібні. Експлуатаційні витрати для електрофільтра тієї ж печі складала 0,1 – 0,2 євро на тонну клінкеру. Для клінкерного холодильника з потужністю печі 3 000 тонн клінкеру/добу, початковими рівнями викидів до 20 г/м<sup>3</sup> н. у. та вмістом пилу в очищених газах 10 – 50 мг/м<sup>3</sup> н. у. і кульового цементного млина потужністю 160 тонн цементу/годину, з початковими рівнями викидів до 300 г/м<sup>3</sup> н. у. та вмістом пилу в очищених газах 10 – 50 мг/м<sup>3</sup> н. у. інвестиційні витрати на електрофільтр складала 0,8 – 1,2 мільйона євро, а експлуатаційні витрати складала 0,09 – 0,18 євро на тонну клінкеру.

У 2006 році повідомлялося, що інвестиційні витрати для знепилення відхідних газів печі знаходилися в діапазоні від 4,5 мільйона до 6 мільйонів євро (піч: 3 000 т/добу). Такий широкий діапазон зумовлений місцевою собівартістю виробництва, вартістю монтажу (яка може суттєво різнитися) та розмірами печі і самого електрофільтра (які є функцією від ефективності). Експлуатаційні витрати та витрати на обслуговування, як правило, низькі. Розбіжність великою мірою залежить від місцевої оцінки споживання електроенергії та витрат на технічне обслуговування (також див. розділ 1.3.4.1.1, Таблиця 1.24) [76, Німеччина, 2006].

Також див. розділ 1.4.8.1 і Таблицю 1.39, де наведені приклади значень витрат на різні технології зниження викидів пилу.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Вимоги до охорони здоров'я та техніки безпеки на робочих місцях.

Місцеві умови.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[3, Австрія, 1997], [9, CEMBUREAU, листопад 1997], [10, Cementa AB/Хагстрьом (Hagström), 1994], [12, Нідерланди, 1997], [27, Університет Карлсруе, 1996], [76, Німеччина, 2006], [86, EURITS, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### **1.4.4.3.2 Рукавні фільтри**

##### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

Рукавні фільтри є ефективними пиловловлювачами. Принцип роботи рукавного фільтра базується на використанні тканинної мембрани, яка є проникною для газу, але утримує пил. По суті, фільтрувальний матеріал розташований геометрично, проте розрізняють циліндричні фільтрувальні мішки (які звисають вертикально), як показано на Рисунок 1.60, та фільтрувальні кишені, які зазвичай встановлюються горизонтально. Спочатку пил відкладається як на поверхневих волокнах, так і в глибині тканини, проте по мірі того, як накопичується поверхневий шар, фільтрувальним матеріалом переважно стає сам пил. Відпрацьовані гази можуть протікати зсередини назовні мішка або навпаки. По мірі того, як пиловий кек стає товстішим, його опір потоку газу збільшується. Тому фільтраційний матеріал необхідно періодично чистити, щоб контролювати перепад тиску газу на фільтрі. Залежно від типу чищення, до найбільш поширених методів чищення належать імпульсне

подавання стисненого повітря (фільтр з імпульсним очищенням), зворотний потік повітря, механічне простукування чи струшування та вібрація. Рукавний фільтр повинен складатися з кількох відсіків, які можна ізолювати від інших у випадку несправності мішка. Цих відсіків має бути достатньо, щоб підтримувати належну ефективність роботи, якщо один відсік був виведений з експлуатації. У кожному відсіку мають бути передбачені «детектори розриву мішка», які будуть повідомляти про необхідність технічного обслуговування у разі розриву мішка.

Фільтрувальні мішки доступні в асортименті мішків з тканого та нетканого полотна. Для застосування в умовах високих температур потрібні більш екзотичні типи тканин, ніж ті, що постачаються «звичай». Проте такі мішки також доступні у чималому асортименті. Сучасні синтетичні тканини можуть працювати за досить високих температур до 280 °С. Основні характеристики різних рукавних фільтрів разом з розцінками на них наведені у Таблиці 1.32.



**Рисунок 1.60.** Приклад рукавного фільтра та фільтрувального матеріалу, що використовується на цементному заводі у Великій Британії

### Міжсередовищні наслідки

Збільшення споживання електроенергії зі збільшенням ефективності видалення пилу.

Збільшене споживання стисненого повітря для циклу очищення.

При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

У разі використання спечених пластинчатих фільтрів можливе шумове випромінювання.

### Експлуатаційні параметри

Серед сучасних синтетичних тканин є матеріали, які можуть працювати за досить високих температур до 280 °С. Типові значення пропускної здатності фільтру – від 0,5 до 2,0 м/хв. Ефективність уловлювання пилу може перевищувати 99,9 %, а отже, за допомогою добре сконструйованих рукавних фільтрів, які отримують належне технічне обслуговування, можна знизити викиди до менш ніж 5 мг/м<sup>3</sup> н.у. (сухий газ, 273 К, 10 % O<sub>2</sub>). Окрім пилу, рукавний фільтр також видаляє речовини, адсорбовані частками пилу, як-от діоксини та метали, якщо вони присутні.

Основні характеристики різних рукавних фільтрів разом з розцінками на них наведені у Таблиці 1.32:

Таблиця 1.32. Основні характеристики різних фільтрувальних матеріалів та розцінки на них

Технічне застосування волокна у процесах виготовлення цементу та на цементних заводах											
Типи волокна (без зазначення торгової марки)	Температура (°C)		Стійкість до кислот	Стійкість до лугів (більшості)	Стійкість до гідролізу / гарячих вологих умов	Стійкість до окиснення / вмісту кисню >13%	Стійкість до стирання на цементних заводах	Ефективність фільтрування без поверхневої обробки	Хімічна або механічна поверхнева обробка для покращення фільтрування та економічності	Відносна вартість на одиницю встановленої площі	
	Номіналь на	Піков а									Опір може змінюватися залежно від температур та засобів, з якими матеріал використовується у комплексі
Бавовна		80	80	Незадовільна	Хороша		Хороша	Дуже хороша		Низька	
Поліпропілен	ПП	90	100	Відмінна	Відмінна	Відмінна	Відмінна	Хороша	Не потрібно для передбачених випадків застосування	Низька	
Вовна				Задовільна	Незадовільна			Дуже хороша		Низька	
Поліестер	ПЕС	150	160	Низька	Задовільна	Незадовільна	Відмінна	Хороша	«Так» для технологічного процесу, «Ні» для силосів або уловлювачів неорганізованого пилу	Низька	
Співполімер поліакрилонітрилу	ПАН	110	120	Хороша	Задовільна	Відмінна	Відмінна	Хороша		Низька	
Гомополімер поліакрилонітрилу >95 %		125	135					Хороша			Низька
Нейлон			205	Від незадовільної до задовільної	Відмінна			Відмінна			
(Мета) арамід / ароматичний поліамід	АР/ПА	180	200	Задовільна	Хороша	Задовільна	Відмінна	Хороша	«Так» для очищення технологічних газів	Середня	
Поліфеніленсульфід	ПФС	180	200	Відмінна	Відмінна	Хороша	Незадовільна	Хороша		Середня	
Поліімід	ПІ	180	240	Задовільна	Задовільна	Задовільна	Хороша	Хороша	Відмінна	Не потрібно з огляду на структуру волокна	Висока
Ткане скловолокно	СВ	280	280	Хороша, за винятком HF	Відмінна	Відмінна	Відмінна	Незадовільна	Задовільна	Рекомендується низька швидкість фільтрування	Середня
Скловолокно з мембраною зі спіненого політетрафторетилену (спіненого ПТФЕ)	СВ+мембран а	260	280					Задовільна	Найвища	Передбачено з огляду на наявність мембрани	Висока
Політетрафторетилен	ПТФЕ	250	260	Найвища	Найвища	Найвища	Найвища	Задовільна	Незадовільна	Дуже рекомендується	Дуже висока
У таблиці наведена середня вартість для закупівель середнього-великого масштабу, характерних для цементних заводів. Фактичні витрати будуть різнитися залежно від споживання енергії та фільтрувального матеріалу.											
Розцінки	Низька	до 10 євро на м <sup>2</sup> фільтрувальної тканини, з заводу, в упаковці, без монтажу									
	Середня	від 10 до 20 євро на м <sup>2</sup> фільтрувальної тканини, з заводу, в упаковці, без монтажу									
	Висока	від 20 до 40 євро на м <sup>2</sup> фільтрувальної тканини, з заводу, в упаковці, без монтажу									
	Дуже висока	понад 40 євро на м <sup>2</sup> фільтрувальної тканини, з заводу, в упаковці, без монтажу									
Джерело: [86, EURITS, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006] [134, CEMBUREAU/Federhen, 2007]											

### Застосування

Цей захід/технологія, в принципі, може застосовуватися у цементній промисловості, майже у всіх випадках застосування цементних печей, для уловлювання пилу з відхідних газів печі, пилу з обхідних газів або вихідного повітря від колосникових холодильників. У існуючій літературі зазначено, що немає обмежень на застосування рукавних фільтрів у різних типах технологічних процесів, що використовуються у цементній промисловості. Проте слід враховувати вміст вологи та температуру.

На ефективність роботи рукавних фільтрів впливають головним чином різні параметри, такі як сумісність фільтрувального матеріалу з характеристиками димових газів та пилу, належні властивості з точки зору термічного, фізичного та хімічного опору – наприклад, опір гідролізу, кислотам, лугам та окисненню – та температура технологічного процесу. Важливими характеристиками фільтра є розмір фільтрувальної поверхні, ефективність уловлювання пилу та опір фільтрації – так званий «перепад тиску на фільтрі». Це значення залежить від властивостей фільтрувального матеріалу та пилу. Основним параметром для проектування фільтра є об'ємна витрата. Тому потрібно визначити пропускну здатність фільтра, яка залежить від типу, кількості та властивостей пилу і газу.

Термін служби рукавних фільтрів, їх потреба в енергії та вимоги до технічного обслуговування залежать від теплових та механічних навантажень. На ефективність видалення пилу може впливати витрата газу, товщина пилового кека, пористість та цикл очищення. Вдосконалення фільтра – наприклад, зменшення перепаду тиску на фільтрувальному матеріалі, швидке виявлення потенційних витоків за допомогою постійного моніторингу та детекторів, а також застосування систем очищення – подовжують його термін служби та зменшують витрати. Крім того, цикли очищення та методи очищення фільтрувального матеріалу можуть впливати на ефективність системи очищення. Випробування показують, що, наприклад, за допомогою системи імпульсного очищення низького тиску можна збільшити ефективність і водночас мінімізувати споживання електроенергії та отримати великі переваги з точки зору шумового випромінювання. Цю систему можна використовувати для знепилення відхідних газів, що виходять з обертових печей, а також для знепилення обхідної лінії для лугів, клінкерного холодильника, млинів та класифікаторів.

У поєднанні з рукавними фільтрами в системах охолодження клінкеру можна застосовувати циклони. У циклонному/відцентровому сепараторі частки пилу, які потрібно видалити з потоку відпрацьованих газів, відтискаються до зовнішньої стінки агрегату під дією відцентрової сили, а тоді викидаються через отвір у днищі агрегату. Відцентрові сили можна створювати шляхом спрямування потоку газу вниз по спіралі через циліндричні посудини (циклонні сепаратори) або за допомогою встановленої в агрегаті крильчатки, що обертається (механічні відцентрові сепаратори). У цементній промисловості циклони використовуються у поєднанні з повітряними теплообмінниками для зниження температури та з системами рукавних фільтрів (мішкових фільтрів) для видалення пилу, наприклад, з відхідних газів, які охолоджуються. Циклон зданий знизити концентрацію пилу на 70 %. Використовуючи циклон у поєднанні з повітряним теплообмінником та мішковим фільтром, можна досягти ефективності очищення до 99,99 % разом з низькими значеннями викидів у 5 – 7 мг/м<sup>3</sup> н. у. Проте, з огляди на великі розміри циклону (наприклад, 25 м у довжину, 6,4 м у висоту, 6,4 м у діаметрі) та теплообмінника, що використовується у поєднанні з ним, необхідно передбачити достатньо місця для їх встановлення. Крім того, при цьому споживається додаткова електроенергія, хоча збір та регенерація уловленого пилу дає змогу зменшити споживання сировини [148, Райтмаєр (Reitemeier), 2005].

У якості фільтрувального матеріалу іноді використовуються спечені пластинчаті фільтри, проте вони не застосовуються для цементних печей. Практичний досвід показав, що, завдяки своїй повністю спеченій і компактній формі та спеціальному покриттю з ПТФЕ, спечені пластинки дуже міцні і невимогливі до технічного обслуговування. Основними перевагами цього сучасного фільтрувального матеріалу є дуже висока ефективність очищення димових газів від пилу у поєднанні з малим падінням тиску, а також висока стійкість до зношування внаслідок стирання. Геометрія фільтра забезпечує дуже компакту структуру, і фільтр можна встановлювати в умовах дуже обмеженого простору. Шумове випромінювання можна мінімізувати за допомогою компактного шумозахисного

кожуха [144, Адлхох (Adlhoch), 1996].

### **Економіка**

Інвестиції, потрібні для встановлення нового рукавного фільтра на печі потужністю 3 000 тонн клінкеру/добу, з початковим рівнем викидів до 500 г/м<sup>3</sup> н. у. та вмістом пилу в очищених газах 10 – 50 мг/м<sup>3</sup> н. у., складають приблизно 1,5 – 6 мільйона євро, і ще 0,6 мільйона – 0,8 мільйона євро за колонну-кондиціонер та фільтр, якщо вони потрібні. Якщо ефективність уловлювання пилу при знепиленні відхідних газів печі перевищує 99,9 %, то інвестиційні витрати на такі установки фабричних фільтрів (мішкових фільтрів) можуть варіюватися в діапазоні від 4 мільйонів до 8 мільйонів євро залежно від типу та кількості фільтрувальних мішків, що використовуються. Фільтри можуть виявитися невибагливими до технічного обслуговування – витрати на нього складають до 10 євро на м<sup>2</sup> н. у. фільтрувального мішка, як видно з Таблиці 1.32. Проте фільтри відхідних газів печі можуть складатися з багатьох тисяч мішків, тож дуже велика площа фільтрувальної тканини відповідає багатьом тисячам м<sup>2</sup> н.у. Експлуатаційні витрати та витрати на технічне обслуговування великою мірою залежать від місцевої оцінки споживання електроенергії та витрат на технічне обслуговування (також див. розділ 1.3.4.1.1 та Таблицю 1.24).

Потрібні температури для роботи рукавних фільтрів досягаються, як правило, за допомогою колон-кондиціонерів. Експлуатаційні витрати для рукавного фільтра тієї ж печі складають 0,10 – 0,35 євро на тонну клінкеру. Рукавний фільтр з імпульсним очищенням, з повітряно-повітряним теплообмінником та вентилятором фільтра, для колосникового клінкерного холодильника, що обслуговує піч потужністю 3 000 тонн клінкеру/добу, з початковим рівнем викидів до 20 г/м<sup>3</sup> н. у. та вмістом пилу в очищених газах 10 – 50 мг/м<sup>3</sup> н. у., коштує приблизно 1,0 мільйона – 1,4 мільйона євро, а експлуатаційні витрати складають близько 0,10 – 0,15 євро на тонну клінкеру. Для кульового цементного млина потужністю 160 тонн цементу/годину, з початковим рівнем викидів до 300 г/м<sup>3</sup> н. у. та вмістом пилу в очищених газах 10 – 50 мг/м<sup>3</sup> н. у., інвестиційні витрати на рукавний фільтр з імпульсним очищенням складають приблизно 0,3 мільйона – 0,5 мільйона євро включно з вентилятором фільтра, а експлуатаційні витрати складають 0,03 – 0,04 євро на тонну клінкеру [9, SEMBUREAU, листопад 1997].

Для оптимізації експлуатаційних витрат на різних цементних заводах встановлено оптимізовані системи імпульсного очищення під тиском. Трьома основними важливими факторами, що впливають на скорочення вартості рукавних фільтрів, є навантаження на площу фільтра, перепад тиску на фільтрі та система очищення. Оскільки ці параметри впливають один на одного, мета полягає в тому, щоб досягти якомога більшого відношення об'єму повітря до площі тканини, якомога нижчого перепаду тиску та якомога нижчого тиску очищення. Повідомлялося про загальне зниження витрат (інвестиційних та експлуатаційних витрат) у розмірі від 12 до 25 %.

Також див. Таблицю 1.32 вище, у якій наведені основні характеристики різних рукавних фільтрів разом з розцінками на них. Крім того, див. розділ 1.4.8.1 і Таблицю 1.39, де наведені приклади значень витрат на різні технології зниження викидів пилу.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

Вимоги до охорони здоров'я та техніки безпеки на робочих місцях.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27; цементний завод у поселенні Дадфілд (Dudfield), що в Південній Африці (використовується циклон у поєднанні з повітряно-повітряним теплообмінником та установками рукавних фільтрів (мішкових фільтрів)); цементний завод у Німеччині (використовуються спечені пластинчаті фільтри).

[3, Австрія, 1997], [9, SEMBUREAU, листопад 1997], [12, Нідерланди, 1997], [76, Німеччина, 2006], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [86, EURITS, 2006], [103, SEMBUREAU, 2006], [134, SEMBUREAU/Federhen, 2007], [144, Адлхох, 1996], [145, Лайбінгер/Кьоберль (Leibinger/Köberl), 2001], [146, Лайбінгер/Нойманн (Leibinger/Neumann), 2003], [147, Мармор/Петцольд (Marmor/Petzold), 2006], [148, Райтмаєр, 2005], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

### 1.4.4.3.3 Комбіновані фільтри

#### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Комбіновані фільтри – це поєднання електрофільтрів та рукавних фільтрів в одному пристрої. Вони зазвичай є результатом перетворення існуючих електрофільтрів. Ці фільтри дають змогу частково повторно використати старе обладнання. Принцип роботи комбінованого фільтра показаний на Рисунку 1.61.

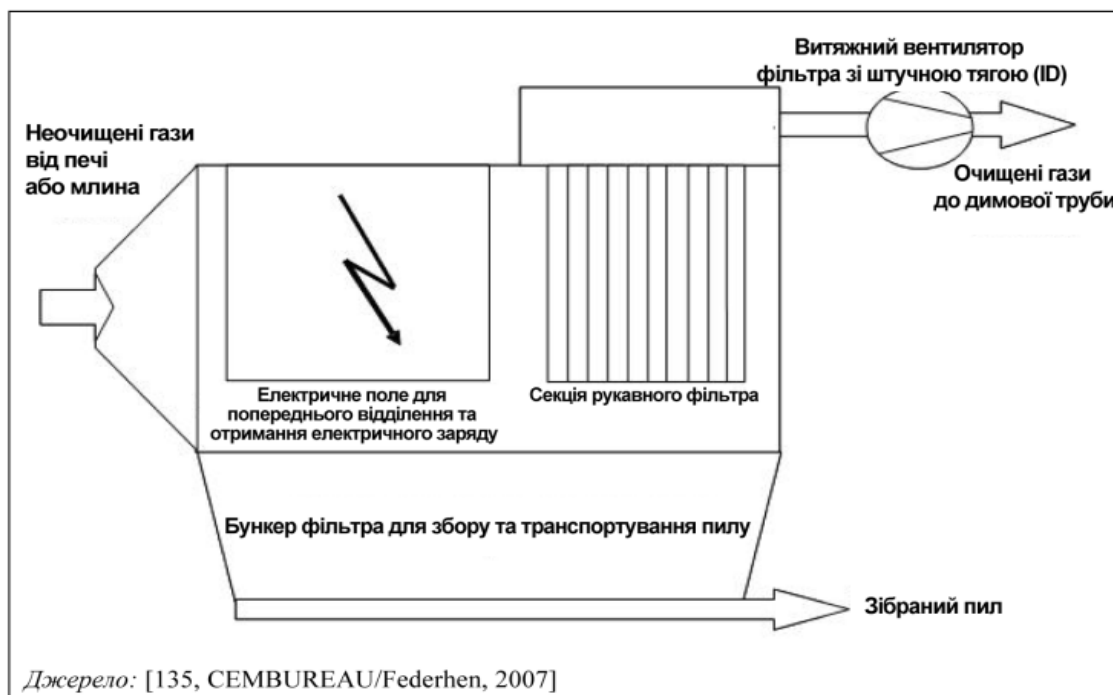


Рисунок 1.61. Комбінований фільтр для збору пилу

#### Міжсередовищні наслідки

У разі високих концентрацій CO виникає ризик вибуху (відключення за рівнем CO). При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи. Менше споживання води у порівнянні з електрофільтрами. Менша кількість технологічних втрат / відходів у порівнянні з рукавними фільтрами.

#### Експлуатаційні параметри

Повідомлені значення викидів пилу з комбінованих фільтрів, встановлених на печах, знаходяться в діапазоні середньодобових значень від <math><10</math> до 3 н. у. (див. розділ 1.3.4.1.1). Проте за допомогою рукавних фільтрів, що отримують хороше технічне обслуговування, викиди пилу вдається знизити до менш ніж 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. (див. розділ 1.4.4.3.2).

#### Застосування

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у цементній промисловості.

#### Економіка

Також див. розділ 1.4.8.1 і Таблицю 1.39, де наведені приклади значень витрат на різні технології зниження викидів пилу.

#### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

#### Приклади заводів та довідкова література

Завод у місті Сагунто та завод у поселенні Гадор в Іспанії, цементні заводи у країнах ЄС-27.

[86, EURITS, 2006], [103, CEMBUREAU, 2006], [135, CEMBUREAU/Federhen, 2007], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].



## 1.4.5 Газоподібні сполуки

### 1.4.5.1 Зниження викидів NO<sub>x</sub>

Для зниження чи контролю викидів NO<sub>x</sub> придатним вважається поєднання первинних та/або інтегрованих у технологічний процес і вторинних технологій або окрема така технологія. До первинних технологій належать:

- охолодження полум'я – наприклад, високий вміст води, рідке/тверде паливо;
- пальники з низьким виділенням NO<sub>x</sub>;
- випалювання в серединній частині печі;
- додавання мінералізаторів для покращення обпалюваності сировинної муки (мінералізованого клінкеру);
- ступінчасте спалювання (викопного палива або палива з відходів), також у поєднанні з попереднім кальцинатором та використанням оптимізованої паливної суміші;
- оптимізація технологічного процесу.

Крім того, для зниження викидів NO<sub>x</sub> можна використовувати вторинні технології, як-от:

- технологія селективного некаталітичного відновлення (СНКВ) та високоефективна технологія СНКВ;
- технологія селективного каталітичного відновлення (СКВ).

З міркувань охорони довкілля / безпеки та з економічних міркувань, процес зниження викидів за можливості повинен починатися з реалізації загальних первинних технологій, таких як технології, інтегровані у технологічний процес, та технології керування, ступінчасте спалювання та охолодження полум'я, удосконалена технологія випалювання, оптимізовані з'єднання з холодильником та вибір палива, які також знижують викиди NO<sub>x</sub> (наприклад, використання вибраних відходів). У деяких добре оптимізованих пічних системах з підігрівачами та пічних системах з підігрівачами / попередніми кальцинаторами вдається знизити викиди до менш ніж 500 мг NO<sub>x</sub>/м<sup>3</sup> н. у. за допомогою одних лише первинних технологій або їх поєднання зі ступінчастим спалюванням, а також шляхом використання паливних сумішей у поєднанні з технологіями, інтегрованими у технологічний процес. Серед чинників, які не дозволяють досягти цього рівня, – якість сировини, наприклад, обпалюваність сировинних сумішей, а також горючість паливних сумішей та конструкції пічних систем. Проте на багатьох цементних заводах у ЄС-27 (42 % у 2008 році), використовується технологія СНКВ у поєднанні з первинними технологіями зниження NO<sub>x</sub>, як показано у Таблиці 1.33 [76, Німеччина, 2006], [85, СЕМБUREAU, 2006]. Крім того, на двох цементних заводах використовується технологія СКВ (для високого вмісту пилу).

У Таблиці 1.33 наведена кількість повномасштабних установок, відомих у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ (див. «Словник термінів»), на яких для зменшення викидів NO<sub>x</sub> використовуються технології зниження викидів.

**Таблиця 1.33. Технології зниження викидів NO<sub>x</sub>, що використовуються в цементній промисловості у країнах ЄС-27 та ЄС-23+**

Технології зниження/контролю викидів NO <sub>x</sub>						
Країна		Охолодження полум'я	Мінералізований клінкер	Ступінчасте спалювання	СНКВ	СКВ
Бельгія	BE	2			2	
Болгарія	BG					
Чехія	CZ				2 <sup>(1)</sup>	
Данія	DK		2		1	
Німеччина	DE			7	33	1 <sup>(2)</sup>
Естонія	EE					
Греція	EL			1		
Іспанія	ES		4	2	3 + 5 (пілотний етап)	
Франція	FR	2		7	14 + 4 <sup>(3)</sup>	
Ірландія	IE			1	2 <sup>(4)</sup>	
Італія	IT	2		7	16 <sup>(2)</sup>	1 <sup>(5)</sup>
Кіпр	CY					
Латвія	LV					
Литва	LT					
Люксембург <sup>(1)</sup>	LU					
Угорщина	HU				3	
Мальта	MT					
Нідерланди	NL				1	
Австрія	AT	3		2	8 <sup>(1)</sup>	
Польща	PL			9		
Португалія	PT	6			4	
Румунія	RO					
Словенія	SI					
Словаччина	SK					
Фінляндія	FI				2	
Швеція	SE				3	
Велика Британія	UK			1	9 <sup>(6)</sup>	
Швейцарія	CH	2	1	1	4	
Норвегія	NO					
Туреччина	TR	1	1	2		

(<sup>1</sup>) Заплановано на 2008 рік  
 (<sup>2</sup>) Повідомляється, що технологія введена в експлуатацію, проте звіти досі відсутні  
 (<sup>3</sup>) Заплановано на 2008 рік  
 (<sup>4</sup>) Введення в експлуатацію заплановане на 2007 рік  
 (<sup>5</sup>) Один завод експлуатується з середини 2006 року, а другий завод – з 2007 року  
 (<sup>6</sup>) Введено в експлуатацію у 2007 році  
 Джерело: [85, CEMBUREAU, 2006]

У Таблиці 1.34 наведено огляд технологій, які справляють позитивний (але не обов'язково кумулятивний) вплив, тобто зменшують викиди NO<sub>x</sub>, що виникають під час виготовлення цементу. У цій таблиці підсумовані експлуатаційні параметри, наведені у тексті цього розділу; її слід розглядати разом з відповідними параграфами у наступних розділах.

Таблиця 1.34. Технології зниження викидів NO<sub>x</sub>, що виникають у процесах виготовлення цементу

Захід/технологія	Застосування у пічних системах	Ефективність зниження викидів (%)	Дані про викиди <sup>(15)</sup>		Дані про вартість <sup>(3)</sup>	
			мг/м <sup>3</sup> н.у. <sup>(1)</sup>	кг/т <sup>(2)</sup>	Інвестиційні витрати (мільйони євро)	Експлуатаційні витрати (євро/т клінкеру)
Охолодження полум'я <sup>5)</sup>	Усі	0 – 35	Первинне зниження до <500 – 1 000 <sup>(9)</sup>	1,15 – 2,3	До 0,2	До 0,5
Пальники, що виділяє мало NO <sub>x</sub>	Усі	0 – 35	500 – 1 000	1,15 – 2,3	До 0,45	0,07
Первинні технології Експертної групи з технічно-економічних проблем (EGTEI) за 2003 рік <sup>(4)</sup>	Усі	25	1 400, зменшено до 1050	2,4	0,25	0,056
Випалювання в середній частині печі	Довга піч	20 – 40	Інформація відсутня	-	0,8 – 1,7	Інформація відсутня
Мінералізований клінкер	Усі	10 – 15	Інформація відсутня	-	Інформація відсутня	Інформація відсутня
Ступінчасте спалювання	Попередній кальцинатор	10 – 50	<450 – 1 000 <sup>(9)</sup>	1,04 – 2,3	0,1 – 2	Інформація відсутня
	Підігрівач				1 – 4	
СНКВ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup> <sup>(6)</sup> <sup>(12)</sup>	Підігрівач та попередній кальцинатор	від 30 до 90 <sup>(10)</sup>	<200 <sup>(10, 11)</sup> – 500 <sup>(14)</sup>	0,4 – 1,15	0,5 – 1,2	0,1 – 1,7
	Колосниковий підігрівач	35	<500 <sup>(16)</sup> – 800 <sup>(5, 6)</sup>	1,15 – 1,84	0,5	0,84
СКВ <sup>(7)</sup>	Ймовірно, всі печі, підігрівач та попередній кальцинатор	43 <sup>(13)</sup> – 95	<200 <sup>(8)</sup> – 500	0,23 – 1,15	2,2 – 4,5	0,33 – 3,0

(1) Зазвичай виражено як середньодобові значення для сухого газу, 273 К, 101,3 кПа та 10 % O<sub>2</sub>

(2) кг/тону клінкеру: з розрахунку на 2 300 м<sup>3</sup>/тону клінкеру

(3) Зазвичай вказано для потужності печі 3 000 тонн клінкеру/добу та початкових викидів до 2 000 мг NO<sub>x</sub>/м<sup>3</sup> н. у.

(4) Кошторис EGTEI для потужності печі 1 100 т/добу у 2000 році

(5) Експеримент у Франції у співпраці з Міністерством охорони довкілля, Агентством з навколишнього середовища та керування енергетикою (ADEME) та Технічною асоціацією галузі гідравлічних в'язучих речовин (ATILH) у 2000 році (випуск 2003 року)

(6) Внесок CEMBUREAU у зниження викидів NO<sub>x</sub> у 2006 році, середньорічні значення, див. розділ 1.3.4.2 та Рисунок 1.29

(7) Німеччина та Італія, також див. Таблицю 1.35 та Таблицю 6.26, дані про вартість вказані для потужності печі 1 500 м<sup>3</sup>/тону клінкеру

(8) Результати дослідно-промислових випробувань у Німеччині, Італії та Швеції та результати випробувань у 2007 році (200 мг/м<sup>3</sup> н. у.) на італійському цементному заводі, де використовується СКВ; у 1997 році двоє постачальників пропонували впровадження повномасштабної технології СКВ у цементній промисловості з гарантованими рівнями ефективності 100 – 200 мг/м<sup>3</sup> н. у.

(9) Результати випробування на французькому цементному заводі (проект 10), піч з попереднім кальцинатором, початковий рівень NO<sub>x</sub> 1 000 мг/м<sup>3</sup> н. у.; досягнутий рівень NO<sub>x</sub> 800 мг/м<sup>3</sup> н. у.

(10) Шведські цементні заводи, середньорічне значення, початковий рівень NO<sub>x</sub> 800 – 1 000 мг/м<sup>3</sup> н. у., проскок аміаку 5 – 20 мг/м<sup>3</sup> н. у. (див. розділ 6.2.4.1), високоефективна технологія СНКВ, потрібно враховувати проскок аміаку

(11) Німеччина: 200 – 350 мг/м<sup>3</sup> н. у., виражено як середньодобове значення, потрібно враховувати проскок аміаку

(12) Нижчі викиди NO<sub>x</sub> можуть призвести до вищих викидів NH<sub>3</sub> (проскоку аміаку) залежно від рівня NO<sub>x</sub> у потоці неочищених газів

(13) Результати дослідно-промислових випробувань та довготермінової роботи демонстраційного заводу, див. Таблицю 1.35

(14) У поєднанні з технологіями, інтегрованими у технологічний процес; початковий рівень NO<sub>x</sub> 1 200 мг/м<sup>3</sup> н. у.; Французький посібник з цементної промисловості з питань технологій зниження викидів NO<sub>x</sub>, Франція / ADEME / Міністерство охорони довкілля та сталого розвитку (MEDD)

(15) Дані про викиди наведені у відповідному параграфі цього розділу

(16) [92, Австрія, 2006], [185, Хакль і Маушітц (Hackl und Mauschitz), 2003], також див. НДТМ 19

Джерело: [12, Нідерланди, 1997], [76, Німеччина, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [92, Австрія, 2006], [101, Франція / ADEME / Міністерство охорони довкілля та сталого розвитку, 2002], [114, Швеція, 2006], [140, Італія, 2007], [141, Лайбахер/Беллін/Лінеро (Leibacher/Bellin/Linero), 2007], [173, Німеччина, 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008], [185, Хакль і Маушітц, 2003]

1.4.5.1.1 Охолодження полум'я

**Опис**

Додавання води у паливо або безпосередньо у полум'я за допомогою різних методів вприскування, зображених на Рисунку 1.62, як-от вприскування одного текучого середовища (рідини) або двох текучих середовищ (рідини та стисненого повітря чи твердих речовин), або використання рідких/твердих відходів з високим вмістом води зменшує температуру і збільшує концентрацію гідроксильних радикалів. Це може сприятливо впливати на зниження викидів NO<sub>x</sub> у зоні випалювання.

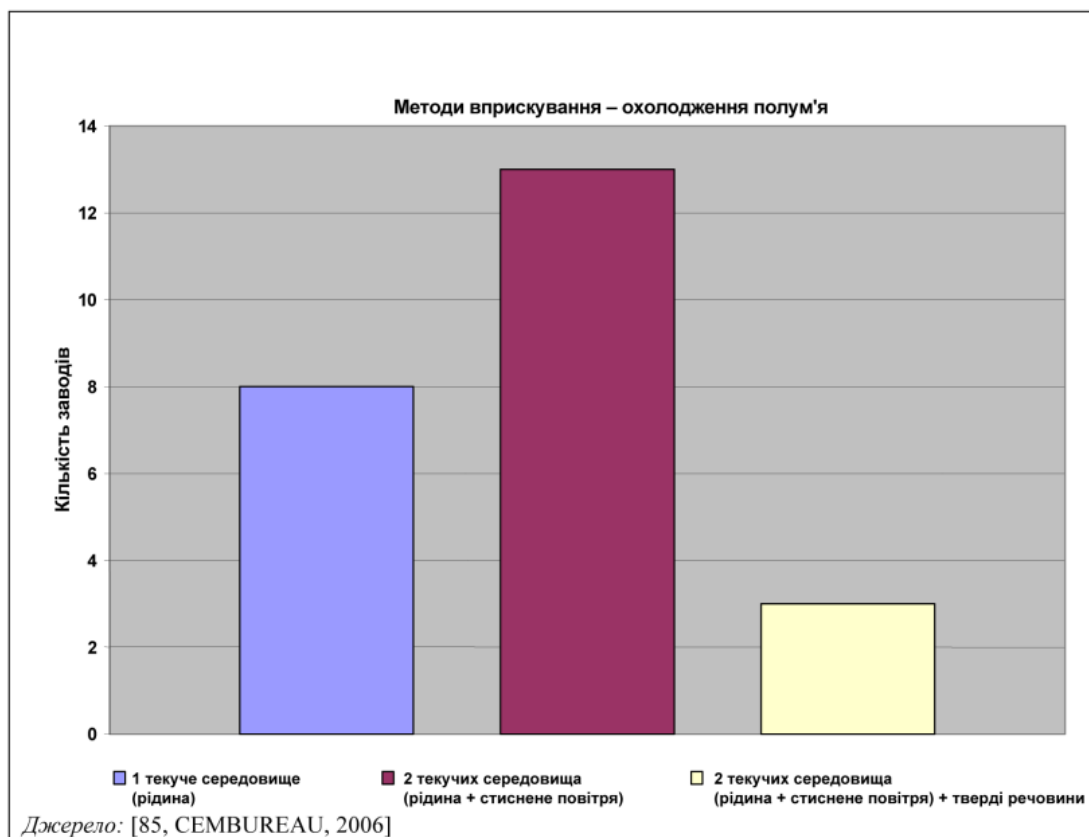


Рисунок 1.62. Методи вприскування, що використовуються для охолодження полум'я в виробництві цементу у країнах ЄС-23+

**Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Зниження рівня NO<sub>x</sub> у зоні випалювання.  
 Зниження викидів NO<sub>x</sub>.

**Міжсередовищні наслідки**

Може знадобитися додаткове тепло для випаровування води, а це дещо збільшує викиди CO<sub>2</sub> (приблизно на 0,1 – 1,5 %) у порівнянні з загальними викидами CO<sub>2</sub> з печі.  
 Енергоефективність процесу випалювання в печі знижується.

Вприскування води може призводити до проблем з роботою печі, як-от зменшення виходу клінкеру, і може впливати на якість клінкеру.

**Експлуатаційні параметри**

Повідомлялося про ступені/ефективність відновлення у діапазоні 10 – 35%. Повідомлені діапазони викидів склали <500 – 1 000 мг/м<sup>3</sup> н. у. (середньорічні значення) (див. розділ 1.3.4.2, Рисунок 1.27 та Рисунок 1.28).

## Застосування

Охолодження полум'я може застосовуватися у всіх типах печей, що використовуються для виробництва цементу. Як видно з Рисунка 1.63, майже 40 печей з установками підігрівання у зваженому стані обладнані засобами охолодження полум'я.

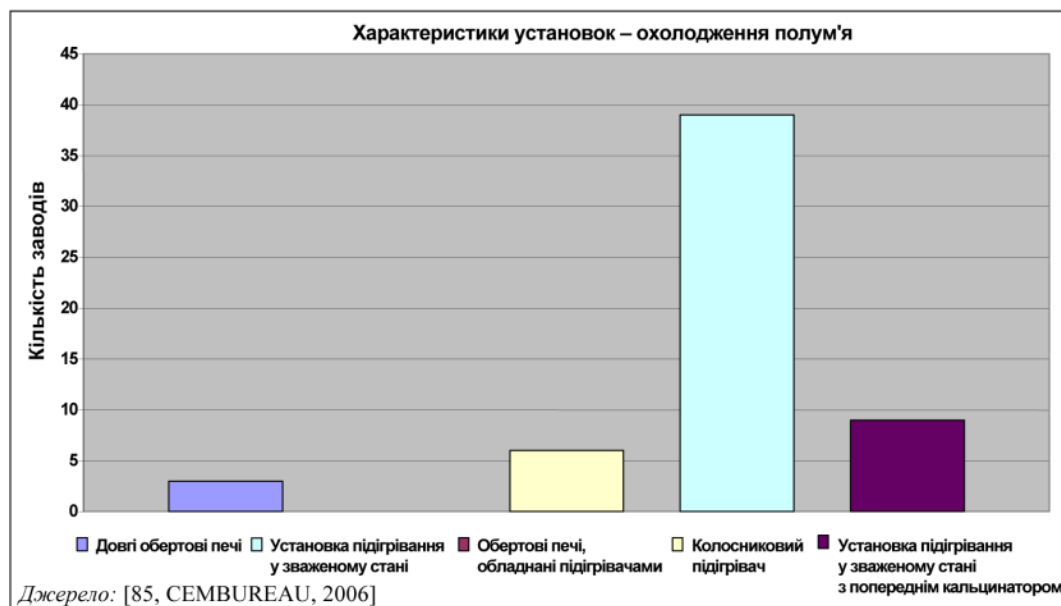


Рисунок 1.63. Характеристики установок з охолодженням полум'я у країнах ЄС-23+

### Економіка

За оцінками, інвестиційні витрати для потужності печі 3 000 т/добу складають до 0,2 мільйона євро, а експлуатаційні витрати – до 0,25 євро на тону клінкеру. Крім того, як видно з Таблиці 1.34, для ефективності зниження викидів  $\text{NO}_x$  до 35 % повідомлені інвестиційні витрати склали до 0,2 мільйона євро, а експлуатаційні витрати – до 0,5 євро/т клінкеру.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

### Приклади заводів та довідкова література

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, листопад 1997], [76, Німеччина, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### 1.4.5.1.2 Пальники з низькими викидами $\text{NO}_x$

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Конструкції пальників з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  (з опосередкованим нагріванням) різняться у деталях, проте їх суть полягає в тому, що паливо та повітря уприскуються в піч через концентричні трубки. Пропорція первинного повітря зменшується всього до 6 – 10 % від кількості, необхідної для стехіометричного згорання (зазвичай 10 – 15 % у традиційних пальниках). Осьовий потік повітря вприскується з великою енергією у зовнішній канал. Вугілля може задуватися через центральну трубу або середній канал. Третій канал використовується для завихрення повітря: завихрення створюється лопатями на виході пічної форсунки або за нею.

Кінцевий ефект цієї конструкції пальника полягає в тому, щоб забезпечити дуже раннє займання, особливо легких сполук у паливі, у атмосфері з недостатнім вмістом кисню, а це великою мірою запобігає утворенню  $\text{NO}_x$ .

##### Міжсередовищні наслідки

Немає проблем.

### Експлуатаційні параметри

На успішно виконаних установках можна досягти зниження викидів  $\text{NO}_x$  до 35 %; повідомлялося про рівні викидів близько 500 – 1 000  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. (середньодобове значення).

### Застосування

Пальники з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  можна застосовувати у всіх обертових печах, в основній печі, а також у попередньому кальцинаторі. Проте застосування пальників з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  не завжди призводить до зниження викидів  $\text{NO}_x$ .

Налаштування пальника потрібно оптимізувати. Якщо початковий пальник працював з малим відсотком первинного повітря, ефект використання пальника з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  буде слабким.

### Економіка

Інвестиційні витрати на новий пальник з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  складають приблизно від 150 000 до 450 000 євро для потужності печі у 3 000 тонн клінкеру/добу. Проте у разі заміни пальника новим пальником з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  інвестиційні витрати можуть зрости до 600 000 євро, і необхідно буде виконати додаткові роботи з модифікації систем зберігання та відмірювання дрібного вугілля. Якщо в існуючій системі випалювання використовується пряме випалювання, її слід замінити системою випалювання з опосередкованим нагріванням, щоб згорання могло протікати за малої витрати первинного повітря, а це потребує додаткових інвестиційних витрат розміром приблизно від 600 000 до 800 000 євро для потужності печі у 3 000 тонн клінкеру/добу.

Також див. Таблицю 1.34 та Таблицю 1.40 (розділ 1.4.8.2), де наведені приклади витрат.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

### Приклади заводів та довідкова література

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[9, SEMBUREAU, листопад 1997], [12, Нідерланди, 1997], [20, Ротер (Rother), січень 1996], [76, Німеччина, 2006], [85, SEMBUREAU, 2006], [101, Франція / ADEME / Міністерство охорони довкілля та сталого розвитку, 2002], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### 1.4.5.1.3 Ступінчате горіння

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Ступінчате горіння застосовується в цементних печах зі спеціально сконструйованим попереднім кальцинатором. Перший ступінь горіння протікає в обертовій печі за оптимальних умов для процесу випалювання клінкеру. Другий ступінь спалювання протікає в пальнику у завантажувальному кінці печі: він створює відновлювальну атмосферу, у якій розкладається частина оксидів азоту, що утворилися в зоні спікання. Висока температура у цій зоні особливо сприятлива для протікання реакції, яка перетворює  $\text{NO}_x$  назад в елементарний азот. На третьому ступені спалювання паливо для кальцинування подається у кальцинатор з деякою кількістю третинного повітря, також створюючи в ньому відновлювальну атмосферу. Ця система знижує інтенсивність утворення  $\text{NO}_x$  з палива, а також зменшує кількість оксидів  $\text{NO}_x$ , що виходять із печі. На четвертому і остаточному ступені згорання залишок третинного повітря подається у систему як «верхнє повітря» для залишкового спалювання.

Кальцинатори відрізняються один від одного головним чином розташуванням місця завантаження палива, способом розподілу палива, завантаженого в піч матеріалу та третинного повітря, а також геометричною конфігурацією.

Технологію ступінчастого випалювання загалом можна використовувати лише в печах, обладнаних попереднім кальцинатором. Для систем циклонних підігрівачів без попереднього кальцинатора необхідно значно модифікувати установку. Якщо це неможливо здійснити водночас зі збільшенням виробничої потужності, виробники пропонують рішення з так званою «малою» системою каналів третинного повітря та кальцинатором.

У цьому випадку через кальцинатор проходить лише невелика частка (10 – 25 %) загального тепла, що має надходити від печі, якого, однак, буде достатньо для створення відновлювальної зони для розкладання оксидів азоту. З іншого боку, досвід роботи печі з 10 %-им випалюванням у завантажувальному кінці печі показав, що цього не завжди достатньо для створення достатньо ефективної відновлювальної зони.

Можливим варіантом реалізації технології ступінчатого горіння є спалювання грудкового палива з відходів (наприклад, покришок), оскільки при спалюванні грудкового палива створюється відновлювальна зона. У печах з підігрівачем / попереднім кальцинатором грудкове паливо може подаватися в завантажувальний кінець печі або у попередній кальцинатор. Повідомляється, що спалювання грудкового палива сприятливо впливає на зниження рівня  $\text{NO}_x$  (досягається зниження на величину до 20 – 30 %) [76, Німеччина, 2006]. Проте у разі спалювання грудкового палива дуже важко створити контрольовану відновлювальну атмосферу [9, CEMBUREAU, листопад 1997].

#### **Міжсередовищні наслідки**

Викиди  $\text{CO}$  та  $\text{SO}_2$  можуть збільшитися, якщо процес згорання не завершується у кальцинаторі, а при спробах досягти високих рівнів ефективності повідомлялося про проблеми з рівнем  $\text{CO}$  та забиванням.

#### **Експлуатаційні параметри**

На деяких сучасних добре оптимізованих заводах досягаються рівні викидів нижче  $450 \text{ мг NO}_x/\text{м}^3$  н. у. (середньодобове значення) з багатоступеневим спалюванням та використанням належної паливної суміші, такої як паливо з високою реакційною здатністю, у той час як паливо з низькою реакційною здатністю дає змогу досягти рівнів  $800 - 1\,000 \text{ мг}/\text{м}^3$  н. у. (середньодобове значення), як також показав досвід заводів в Іспанії. Про подібне зниження рівнів  $\text{NO}_x$  повідомлялося у випадках використання вторинних видів палива.

Під час випробувань у Франції в 2002 році (наприклад, експлуатації попереднього кальцинатора в режимі ступінчастого спалювання з паливом, що на 100 % складалося з сірчастого нафтового коксу), вдалося досягти зниження викидів  $\text{NO}_x$  приблизно до  $200 \text{ мг}/\text{м}^3$  н. у. з початковими рівнями  $\text{NO}_x$  у  $1\,000 \text{ мг}/\text{м}^3$  н. у. Проте цього було досягнуто лише протягом коротких періодів випробувань і з використанням сировинної муки, оптимального з точки зору обпалюваності. За більш крайніх умов роботи можуть досягатися нижчі рівні викидів  $\text{NO}_x$ . Проте ці умови роботи часто призводять до проблем у роботі, як-от посилене утворення нашарувань у печах та кальцинаторах. Збільшення викидів  $\text{CO}$  спостерігається лише на зовсім невеликій кількості заводів, розрахованих на порівняно короткий час перебування у печі, або на яких спалювання не оптимізоване належним чином.

У деяких випадках постачальники вказували для систем випалювання з різною кількістю ступенів можливе зниження рівнів  $\text{NO}_x$  на величину до 50 %. Проте для зниження викидів  $\text{NO}_x$  до цього рівня важко підтримувати гарантовані значення водночас із обмеженням викидів  $\text{CO}$ .

#### **Застосування**

Технологію ступінчастого випалювання загалом можна використовувати лише в печах, обладнаних попереднім кальцинатором. Для систем циклонних підігрівачів без попереднього кальцинатора необхідно значно модифікувати установку.

*Печі з попередніми кальцинаторами* дають змогу незалежно налаштувати окисні/відновлювальні рівні у цементній печі та печі з попереднім кальцинатором. Вприскування частини палива може призвести до зниження викидів  $\text{NO}_x$ .

Додавання палива у колосник *печі Леполя* може значно знизити рівень  $\text{NO}_x$ , проте може призвести до появи/збільшення інших викидів.

*Печі з циклонними підігрівачами без попереднього кальцинатора* дають змогу знизити викиди  $\text{NO}_x$ , проте через наявність місцевої відновлювальної зони можуть збільшуватися викиди  $\text{SO}_2$  та ЛОС. Ці викиди потребують безперервного моніторингу.

У Великій Британії протягом кількох років експлуатується *довга піч зі ступінчастим спалюванням на серединній частині печі*.

### Економіка

Інвестиційні витрати на встановлення системи ступінчастого спалювання у печі з попереднім кальцинатором становлять від 0,1 мільйона до 2,0 мільйона, залежно від конструкції існуючого кальцинатора. Інвестиційні витрати на попередній кальцинатор та третинний канал для перетворення печі з підігрівачем та колосниковим холодильником потужністю 3 000 тонн/добу у піч з попереднім кальцинатором складають приблизно від 1 мільйона до 4 мільйонів євро. Інвестиційні витрати на перетворення печі з підігрівачем та рекуператорним холодильником потужністю 3 000 тонн/добу у піч з попереднім кальцинатором та колосниковим холодильником складають приблизно від 15 мільйонів до 20 мільйонів євро.

Також див. Таблицю 1.34 та Таблицю 1.40 (розділ 1.4.8.2), де наведені приклади витрат.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

### Приклади заводів та довідкова література

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[9, CEMBUREAU, листопад 1997], [12, Нідерланди, 1997], [42, Білльхардт/Кульман/Руланд/Шнайдер/Кселлер (Billhardt/Kuhlmann/Ruhland/Schneider/Xeller), жовтень 1996], [76, Німеччина, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [92, Австрія, 2006], [101, Франція / ADEME / Міністерство охорони довкілля та сталого розвитку, 2002], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008], [185, Хакль і Маушітц, 2003].

#### 1.4.5.1.4 Технологія випалу клінкеру з частковим дозуванням палива в середню частину печі

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

У довгих печах, що працюють за мокрим або сухим способом, викиди  $\text{NO}_x$  можна знизити шляхом створення відновлювальної зони за рахунок спалювання грудкового палива. Оскільки температурна зона діапазону приблизно 900 – 1 000 °C зазвичай недоступна у довгих печах, на деяких заводах встановлені системи випалювання на серединній частині печі, які дають змогу використовувати паливо з відходів, що не може пройти крізь основний пальник (наприклад, покришки) [9, CEMBUREAU, листопад 1997].

##### Міжсередовищні наслідки

Інтенсивність згорання палива з відходів може призвести до вигорання ланцюгів або вплинути на якість продукції.

##### Експлуатаційні параметри

Існує кілька таких установок; у деяких випадках повідомлялося про зниження рівня  $\text{NO}_x$  на 20 – 40 %.

##### Застосування

Випалювання на серединній частині печі, в принципі, можна застосовувати в обертових печах.

Інтенсивність згорання палива може мати критичне значення. Якщо паливо горить надто повільно, у зоні випалювання можуть створюватися відновлювальні умови, які можуть серйозно впливати на якість продукції. Якщо паливо горить надто інтенсивно, зона ланцюгової завіси у печі може перегрітися, а це призведе до вигорання ланцюгів.

З огляду на міркування механічної конструкції, паливо можна вприскувати лише періодично, один раз на оберт печі. Для підтримання постійного підведення тепла можна використовувати тверде паливо, яке повільно згорає, як-от покришки чи інші види палива з відходів.

Температурний діапазон нижче 1 100 °C виключає можливість використання небезпечних відходів з вмістом хлору понад 1 %.

### Економіка

Капітальні витрати на перетворення печі та обладнання для перевантаження палива можуть бути в районі 0,8 мільйона – 1,7 мільйона євро, а річні трудові витрати та витрати на технічне обслуговування можуть бути такого ж порядку.



**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

**Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[9, SEMBUREAU, листопад 1997], [21, Британська асоціація цементної промисловості (BCA), жовтень 1997], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

**1.4.5.1.5 Використання мінералізаторів випалу клінкеру****Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Додавання мінералізаторів, таких як фтор, до сировини – це технологія, яка дає змогу регулювати якість клінкеру та зменшити температуру у зоні спікання. Завдяки зменшенню/зниженню температури випалювання також зменшується інтенсивність утворення  $\text{NO}_x$ .

**Міжсередовищні наслідки**

Додавання надто великої кількості фториду кальцію може призвести до збільшення викидів HF.

Зниження потреби в енергії.

Добавки можуть вплинути на якість готової продукції.

**Експлуатаційні параметри**

Рівень  $\text{NO}_x$  може знизитися на 10 – 15 %, проте повідомлялося про зниження на величину до 50 %.

**Застосування**

Цей захід/технологію в принципі, можна застосовувати в обертових печах.

**Економіка**

Залежить від ціни мінералізаторів.

**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

**Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[10, Cementsa AB/Хагстрьом, 1994], [103, SEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

**1.4.5.1.6 Оптимізація технологічного процесу для зниження викидів ( $\text{NO}_x$ )****Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Для зниження викидів  $\text{NO}_x$  можна застосовувати заходи з оптимізації технологічного процесу, як-от вирівнювання та оптимізація роботи печі та умов випалювання, оптимізація контролю над роботою печі та/або гомогенізація палива, що подається в піч. На сьогодні були застосовані загальні первинні технології оптимізації, як-от технології керування технологічним процесом, удосконалена технологія випалювання з опосередкованим нагріванням, оптимізовані з'єднання з холодильником та вибір палива, а також оптимізація рівнів кисню. До 2007 року спостерігався прогрес у зниженні викидів  $\text{NO}_x$  шляхом застосування технологій, інтегрованих у технологічний процес.

**Міжсередовищні наслідки**

Зниження потреби в енергії.

**Експлуатаційні параметри**

У разі застосування технологій оптимізації керування технологічним процесом викиди  $\text{NO}_x$  знаходяться в діапазоні від 500 до 1 000 мг/м<sup>3</sup> н. у.

У деяких сучасних добре оптимізованих пічних системах з підігрівачами та пічних системах з підігрівачами / попередніми кальцинаторами завдяки застосуванню всіх технологій, інтегрованих у технологічний процес, можуть досягатися рівні викидів  $\text{NO}_x$  менше 500 мг/м<sup>3</sup> н. у.

### **Застосування**

Серед чинників, які перешкоджають досягненню цього рівня, – якість сировини (властивості сировинної суміші з точки зору випалювання), наявність палива з високим вмістом летких речовин та конструкція пічної системи.

### **Економіка**

Мета оптимізації технологічного процесу полягає у зниженні витрат.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[76, Німеччина, 2006], [101, Франція / ADEME / Міністерство охорони довкілля та сталого розвитку, 2002], [103, SEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### **1.4.5.1.7 Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)**

##### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

У 2008 році в країнах ЄС-27 та ЄС-23+ експлуатувалося близько 100 повномасштабних установок СНКВ. Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ) полягає у вприскуванні водоаміачного розчину (до 25 %  $\text{NH}_3$ ), аміачних сполук-прекурсорів або розчину карбаміду у газоподібні продукти згорання для відновлення  $\text{NO}$  до  $\text{N}_2$ . Ефект цієї реакції оптимальний у температурному вікні приблизно від 830 до 1050 °С, а для того, щоб вбризнуті реагенти прореагували з  $\text{NO}$ , необхідно забезпечити достатній час перебування в системі.

З метою визначення оптимального температурного вікна для карбаміду або водоаміачного розчину потрібно провести лабораторні експерименти, а також повномасштабні експлуатаційні випробування. Належне температурне вікно зазвичай можна отримати у печах з установками підігрівання у зваженому стані, печах з попередніми кальцинаторами та печах Леполя. Проте деякі заводи з довгими обертливими печами також обладнані системами СНКВ для зниження викидів  $\text{NO}_x$ . На Рисунку 1.64 представлено огляд характеристик цементних заводів, на яких було застосовано СНКВ.

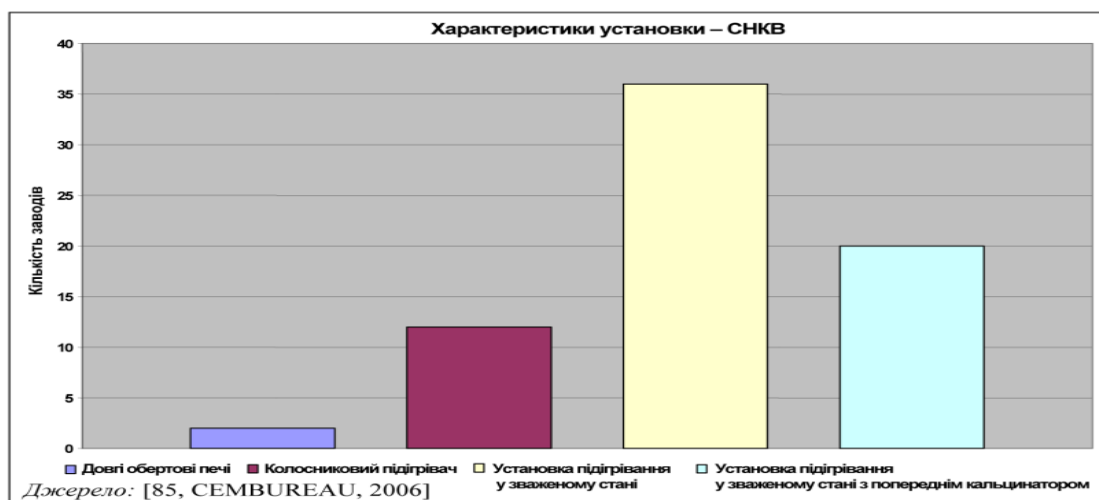


Рисунок 1.64. Характеристики цементних заводів, на яких застосовується СНКВ, у країнах ЄС-23+

Найбільш поширеним реагентом  $\text{NH}_2\text{-X}$  є карбамід, на який припадає до 32 % випадків застосування; за ним йде водоаміачний розчин, на який припадає до 27 %, як показано на Рисунок 1.65 [85, SEMBUREAU, 2006]. У якості носіїв аміаку також можна використовувати водні розчини, що утворюються в інших виробничих процесах [76, Німеччина, 2006]. До інших відновлювальних реагентів, які можуть застосовуватися у промисловому масштабі, належить аміачний газ, розчини солей амонію, висушений карбамід (гранули карбаміду), розчини карбаміду, ціанаміди (зокрема, ціанамід кальцію) та інші подібні речовини [20, Ротер, січень 1996]. Складські споруди та транспортні засоби потрібно конструювати з урахуванням фізико-хімічних властивостей відповідних реагентів і можуть потребувати додаткових технологій забезпечення безпеки. Досвід показує, що в більшості випадків водоаміачний розчин є найкращим реагентом для СНКВ у пічних системах з підігрівачами та попередніми кальцинаторами [9, SEMBUREAU, листопад 1997]. Для досягнення максимально ефективного відновлення  $\text{NO}_x$  та для зменшення проскоку аміаку важливо забезпечити сприятливий і ефективний стехіометричний розподіл аміаку. Для оптимального використання вбризнутого відновлювального реагенту – водоаміачного розчину чи розчину карбаміду – та для забезпечення високої ефективності відновлення  $\text{NO}_x$  при проектуванні та експлуатації системи СНКВ слід врахувати описані нижче моменти. Врахування цих факторів дасть змогу забезпечити оптимальну – з технічної та економічної точки зору – експлуатацію системи СНКВ:

- вприскуйте реагент у належному температурному вікні від 830 до 1050 °С для уникнення проскоку аміаку або горіння аміаку – останнє є потенційним джерелом вторинних оксидів  $\text{NO}_x$ ;
- якщо температурне вікно змінилося, відрегулюйте розташування впорскувальних форсунок; можливо, для вирішення цієї проблеми доцільно буде використовувати кілька рівнів форсунок; можливо, для задоволення цієї потреби потрібно буде сформуванню температурний профіль вприскування та здійснювати безперервний моніторинг;
- відрегулюйте кут розпилювання та глибину проникнення водного розчину, що вприскується, шляхом зміни таких параметрів:
  - вміст води у розчині;
  - рівень тиску в розпилювальному повітрі;
  - розташування форсунки та
  - напрямок вприскування аміаку;
- форсунки на рівнях, що тимчасово не використовуються, в ідеалі слід охолоджувати повітрям для уникнення зношування під впливом високої температури; форсунки, що використовуються лише іноді, слід виймати для уникнення зайвого споживання повітря;
- переконайтеся, що зона вприскування належним чином вкрита правильною кількістю аміачного розчину для уникнення вприскування вище або нижче

стехіометричного відношення. Це дає змогу уникнути небажаного проскоку аміаку або руху необробленого NO в обхід системи СНКВ;

- за потреби виміряйте рівень NO<sub>x</sub> в кожній гілці циклонів у випадках, коли це застосовно (тобто влаштовані двостоякові канали), і відповідним чином збалансуйте вприскування;
- перевірте стехіометричне відношення за допомогою балансу мас оксидів NO<sub>x</sub>, викиди яких потрібно зменшити, та аміаку, що вприскується, щоб не вприскувати зайвого аміаку. Це дасть змогу звести до мінімуму проскок аміаку. Крім того, чим ближче стехіометричне відношення до одиниці, тим кращі економічні показники.

На Рисунку 1.65 показані різні носії азоту / реагенти NH<sub>2</sub>-X, що використовуються для зменшення рівня NO<sub>x</sub> за допомогою СНКВ на кількох цементних заводах у країнах ЄС-23+.

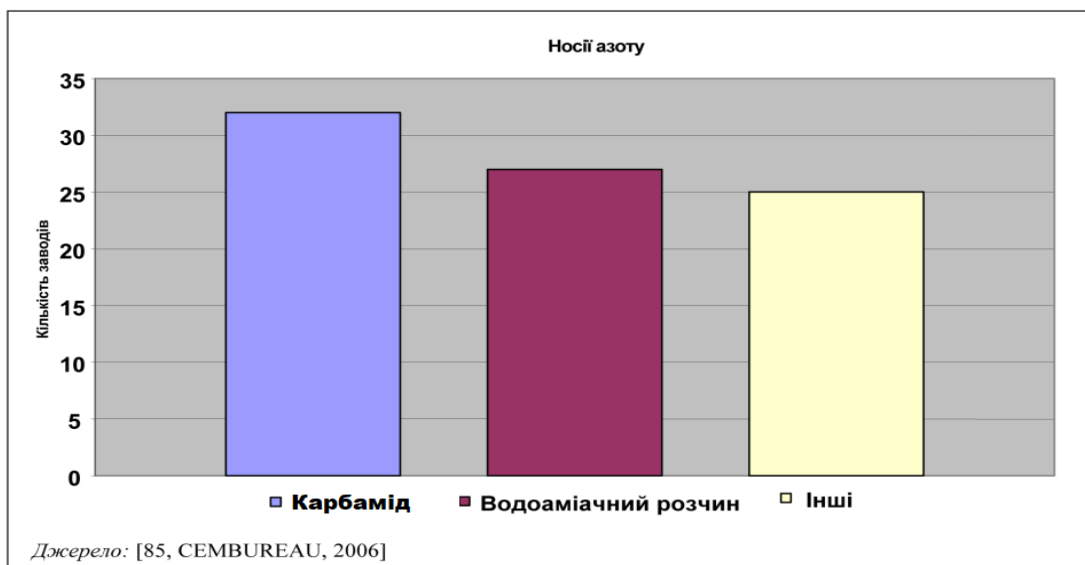


Рисунок 1.65. Носії азоту/реагенти NH<sub>2</sub>-X, що використовуються для СНКВ у країнах ЄС-23+

Якщо завод уже обладнаний системою ступінчастого спалювання, потрібні додаткові розробки з використання технології СНКВ. Для одночасного використання цих технологій температури, час перебування в системі та газу атмосферу у зоні реагування потрібно відрегулювати так, щоб вони відповідали одне одному. Для збору практичних знань про одночасне застосування цих двох технологій зниження викидів були проведені експлуатаційні випробування на кількох пічних установках, обладнаних попередніми кальцинаторами. Випробування показали, що поєднувати ці дві технології, в принципі, можливо. Зниження викидів NO<sub>x</sub> можна досягти шляхом вприскування відновлювального реагенту в окисну зону, а також у відновлювальну зону ступінчастого кальцинатора. Вприскування краще здійснювати в окисну зону, оскільки ймовірність підвищених викидів СО при цьому нижча, ніж коли вприскування відбувається у відновлювальній зоні. З огляду на те, що кальцинатори працюють за різними технологіями, конструкцію та засоби контролю установки СНКВ слід адаптувати та оптимізувати з урахуванням відповідної технології. Якщо відновлювальний реагент додається якраз перед нижнім циклонним ступенем, час перебування відновлювальних реагентів у правильному температурному вікні стає недостатнім для досягнення значного зниження викидів NO<sub>x</sub>. Відповідно, дуже ймовірним стає підвищений проскок амонію. З іншого боку, кілька експлуатаційних випробувань показали, що при вприскуванні відновлювального реагенту перед змішувальною камерою кальцинатора у зоні, де досі триває згорання палива кальцинатора, можуть збільшитися викиди СО.

#### Високоєфективне СНКВ

Технологія високоєфективного СНКВ – це результат подальшого розвитку технології СНКВ, що використовується на цементних заводах. Водоаміачний розчин (25 %-ий розчин аміаку) вприскується у контрольованих умовах крізь форсунки (трубки) влаштовані у кілька рівнів. Компонування трубок визначається температурним профілем каналу стояка. Технологічне керування вприскуванням водоаміачного розчину здійснюється за температурним профілем, вимірним у підігрівачі біля трубок. Сприятливий і ефективний

розподіл аміаку дає змогу зменшити проскок  $\text{NH}_3$  та споживання водоаміачного розчину. Системи, що працюють за цією технологією СНКВ, були встановлені у 1996/1997 роках на двох шведських заводах та принаймні на одному німецькому заводі.

#### *Проскок аміаку*

Важливо, щоб аміак вприскувався у пічну систему з температурним діапазоном 830 – 1 050 °С. Якщо температура падає нижче цього рівня, аміак, що не прореагував, викидається (трапляється так званий проскок  $\text{NH}_3$ ), а за значно вищих температур аміак окиснюється до  $\text{NO}_x$ . Проскок  $\text{NH}_3$  також спостерігається за підвищених молярних відношень  $\text{NH}_3:\text{NO}_2$ , тобто за молярних співвідношень близько 1,0 – 1,2. У інших секторах промисловості проскок  $\text{NH}_3$  іноді призводить до утворення аерозолів аміаку, які проходять через фільтр і стають видимими у вигляді білого шлейфу над димовою трубою відхідних газів. Дослідження показали, що на цементних заводах утворюються значно нижчі рівні аерозолів. Невикористаний аміак може окислитися і перетворитися у  $\text{NO}_x$ , а присутня в атмосфері вода та проскок  $\text{NH}_3$  також можуть призвести до утворення насиченого аміаком пилу, який не можна переробити у цементному млині. Можливий проскок  $\text{NH}_3$  слід враховувати при проєктуванні установок СНКВ. Ступінь відновлення  $\text{NO}_x$  не можна просто довільно збільшувати, оскільки надто високе дозування може призвести до проскоку  $\text{NH}_3$  (також див. Рисунок 2.50 у частині, присвяченій вапну). За правильної роботи (належна система контролю, оптимізоване вприскування розчину  $\text{NH}_3$  у воді) система СНКВ не утворює більших викидів аміаку, ніж за звичайної роботи.

#### **Міжсередовищні наслідки**

У разі використання розчину аміаку в воді у якості відновлювального реагенту може виникати проскок аміаку, як описано вище, і аміак, що не прореагував, буде викидатися. Також можливі викиди закису азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ); проте вони відіграють лише незначну роль, оскільки точкові випробування показали, що їх концентрації становлять від 1 до 5  $\text{mg/m}^3$  н. у., тобто приблизно дорівнюють межі виявлення. З іншого боку, кілька випробувань показали, що при вприскуванні відновлювального реагенту перед змішувальною камерою кальцинатора у зоні, де досі триває згорання палива кальцинатора, можуть збільшитися викиди  $\text{CO}$ .

Додаткове тепло, потрібне для випаровування води, компенсується теплом, що вивільняється в екзотермічній реакції денітрифікації ( $\text{DeNO}_x$ ), яка призводить до невеликого збільшення викидів  $\text{CO}_2$ . Транспортування та зберігання водного розчину аміаку є потенційно небезпечним для навколишнього середовища і потребує деяких додаткових заходів безпеки. Також потрібно враховувати наслідки утворення аміаку та транспортування води для розбавлення розчину.

Якщо у якості відновлювального реагенту використовується карбамід, основними кінцевими продуктами є аміак та вуглекислий газ. Повідомляється, що в результаті розкладу карбаміду спостерігалися викиди закису азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ) та різних концентрацій ізоціанової кислоти ( $\text{HNCO}$ ) та оксиду азоту ( $\text{NO}$ ). Кількість  $\text{N}_2\text{O}$ , що утворюється з карбаміду, завжди значно вища, ніж та, що утворюється з водного розчину аміаку. Кількість закису азоту, що утворюється з карбаміду, різниться залежно від температури. Дослідження показують, що інтенсивне відновлення  $\text{NO}_x$  та максимальне утворення  $\text{N}_2\text{O}$  спостерігаються в одному й тому ж температурному вікні. Більша частина ізоціанової кислоти гідролізується, перетворюючись в аміак та вуглекислий газ, проте повідомляється, що на установках СНКВ спостерігається проскок ізоціанової кислоти. Крім того, одне з досліджень показано, що, окрім закису азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ) та ізоціанової кислоти ( $\text{HNCO}$ ), з вбригнутого карбаміду також утворюються ціанід-іони ( $\text{NCO}$ ). Цей продукт не утворюється, якщо в умовах СНКВ використовується аміак. Також слід зазначити, що у разі використання карбаміду утворюються більші викиди монооксиду вуглецю ( $\text{CO}$ ), ніж у разі використання аміаку.

#### **Експлуатаційні параметри**

Більшість установок СНКВ, що експлуатувалися станом на 2006 рік, були спроектовані та/або експлуатувалися таким чином, що ступінь відновлення  $\text{NO}_x$  складав 30 – > 50% (з молярними відношеннями  $\text{NH}_3:\text{NO}_2$  у діапазоні 0,5 – 0,9), а рівні викидів  $\text{NO}_x$  знаходилися в діапазоні < 350 – 800  $\text{mg/m}^3$  н. у. (середньодобове значення), залежно від початкового рівня  $\text{NO}_x$ .

Установки, що спроектовані та/або експлуатуються з розрахунку на вищі ступені відновлення, покажуть кращі результати, як описано нижче (високоєфективне СНКВ). На двох заводах з установками СНКВ, поставленими двома різними постачальниками, обидва

з яких гарантували зниження викидів на 80 %, було досягнуто ступенів відновлення у 80 – 90 % (з початковим рівнем  $\text{NO}_x$  у діапазоні 800 – 1 100  $\text{мг/м}^3$  н. у.), що відповідає викидам  $\text{NO}_x$  менше 200  $\text{мг/м}^3$  н. у., вимірним як середньорічне значення (див. розділ 6.2.4).

Крім того, повідомлялося, що на шведському заводі у 2006 році викиди  $\text{NO}_x$  вдалося знизити до 190  $\text{мг/м}^3$  н. у. (середньорічне значення).

У поєднанні з технологіями, інтегрованими в технологічний процес, та високоефективними установками СНКВ, що працюють зі ступенями відновлення 80 – 90 %, можна досягти середньодобових концентрацій на рівні менш ніж 500  $\text{мг/м}^3$  н. у., навіть якщо початкові рівні перевищують 2 000  $\text{мг/м}^3$  н. у. [43, Вульф-Шнабель/Лозе (Wulf-Schnabel/Lohse), 1998].

### *Високоефективне СНКВ та просок аміаку*

Високоефективні установки СНКВ були встановлені у 1996/1997 роках на двох шведських заводах та принаймні на одному німецькому заводі. На цих шведських заводах (усього з трьома печами) використовуються печі з циклонними підігрівачами / попередніми кальцинаторами, що працюють за сухим способом. При застосуванні молярного співвідношення  $\text{NH}_3:\text{NO}$  у діапазоні 1,0 – 1,2 вдалося досягти зниження викидів на > 80 %, і на сьогодні вимірний середньодобовий рівень  $\text{NH}_3$  складає 20  $\text{мг/м}^3$  н. у. Вимірювання не виявили значного збільшення викидів  $\text{N}_2\text{O}$  та  $\text{CO}$ , і у цементі не було виявлено жодних слідів  $\text{NH}_3$ . У 2001 році на одному з заводів початкове молярне відношення виявилось в діапазоні 1,0 – 1,2 (відношення молів  $\text{NH}_3$  до присутніх молів  $\text{NO}_x$ ), розраховане значення якого для видалених оксидів  $\text{NO}_x$  склало 1,2 – 1,4 з середньою ефективністю видалення 80 %, у той час як на другому заводі відношення аміаку було в діапазоні 1,2 – 1,4 моля/моль (присутні  $\text{NO}_x$  до вбригнутого  $\text{NH}_3$ ), або 1,5 – 1,8 (відновлені  $\text{NO}_x$  до вбригнутого  $\text{NH}_3$ ). Повідомлений рівень викидів  $\text{NO}_x$  складав 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. (середньорічне значення). Слід зазначити, що цей рівень викидів  $\text{NO}_x$  у 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. був досягнутий з 1998 року на обох шведських заводах з початковим рівнем  $\text{NO}_x$  800 – 1 000  $\text{мг/м}^3$  н. у., ступенем відновлення 80 % та стабільним процесом роботи.

У Німеччині система СНКВ (з використанням 25 %-ого водоаміачного розчину як відновлювального реагенту) була встановлена на печі з чотириступеневим циклонним підігрівачем та виробничою потужністю близько 3 000 т клінкеру/добу. Повідомлені початкові рівні  $\text{NO}_x$  були в діапазоні 500 – 1 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. (на добу). За кількарічний період довготривалий досвід показав, що за цих умов можна було постійно досягати рівнів викидів у 500  $\text{мг NO}_2/\text{м}^3$  н. у. або й менше (середньодобове значення) без жодного суттєвого проскоку аміаку.

У 2007 році результати довготермінового випробування (шестимісячного випробування експлуатаційних показників) показали, що значень викидів  $\text{NO}_x$  у 350  $\text{мг/м}^3$  н. у. та 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. (середньодобові значення) вдалося досягти шляхом застосування відповідних молярних відношень  $\text{NH}_3:\text{NO}$  у 0,7 – 0,8 та 1,4 – 1,5. Під час цих випробувань експлуатаційних показників викиди  $\text{NH}_3$  вимірювалися безперервно. Проте вимірювання рівня  $\text{NH}_3$  виявили значний проскок аміаку при підтриманні викидів на рівні 200  $\text{мг/м}^3$  н. у.  $\text{NO}_x$ , особливо під час роботи з вимкненим млином (макс. 50 – 200  $\text{мг/м}^3$  н. у.). Загалом проскок аміаку був вдвічі вищим при досягненні рівня викидів у 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. ( $\text{NH}_3$ : середнє значення за три місяці – 11  $\text{мг/м}^3$  н. у.) у порівнянні з рівнем 350  $\text{мг/м}^3$  н. у. ( $\text{NH}_3$ : середнє значення за три місяці – 21  $\text{мг/м}^3$  н. у.). Частка роботи з вимкненим млином у цьому випадку складала близько 10 – 20%. Під час випробувань експлуатаційних показників не було виявлено значимого насичення сировинної муки аміаком. Випробування показали, що викиди аміаку слід ретельно враховувати (також див. розділ 6.2.4.2). Проскок аміаку, що виникає в описаному вище процесі, обмежує кількість відновлювальних реагентів, які можна додавати понад стехіометричне відношення [160, Німеччина, 2007], [173, Німеччина, 2007].

У результаті досліджень, проведених у 2004 році в Ірландії у рамках короткочасних експлуатаційних випробувань технології СНКВ, було отримано низькі концентрації  $\text{NH}_3$  від 4 до 26  $\text{мг/м}^3$  н. у. 10 %  $\text{O}_2$ ) в неочищених газах після підігрівача печі. Цього вдалося досягти завдяки оптимізованій конфігурації вприскування, у результаті якої протікала високоефективна реакція відновлення, і залишалася лише незначна кількість аміаку, що не прореагував. Ці концентрації були отримані у ході випробування двох конфігурацій вприскування (стандартні умови; молярне відношення  $\text{NH}_3:\text{NO}$  дорівнювало одиниці (<sup>1</sup>) зі

ступенем відновлення  $\text{NO}_x$  50 %). Проскок  $\text{NH}_3$  обмежує додавання відновлювальної речовини понад стехіометричне відношення [123, Ірландія, 2005].

Детальний опис високоефективного СНКВ, що використовується в ЄС, наведено у розділі 6.2.4. Викиди аміаку, що утворюються в результаті виробництва цементу, описані у розділі 1.3.4.9.

### **Застосування**

СНКВ та високоефективне СНКВ, в принципі, може застосовуватися в обертових цементних печах. Зони вприскування різняться залежно від типу пічного процесу.

У довгих печах, що працюють за мокрим та сухим способом, дуже важко забезпечити правильну температуру та потрібний час перебування в печі. Лише один завод з довгою піччю, що працює за сухим способом, та один завод (у Данії) з довгою піччю, що працює за мокрим способом, успішно впровадили зниження викидів за допомогою СНКВ і досягли ефективності в діапазоні 40 – 50 %.

Ризики, пов'язані зі зберіганням аміаку, знижуються шляхом зберігання водного розчину аміаку у 25 %-ій концентрації.

### **Економіка**

Для печі з підігрівачем потужністю 3 000 тонн/добу, з початковими викидами  $\text{NO}_x$  до 2 000 мг/м<sup>3</sup> н. у. та зі зниженням рівня  $\text{NO}_x$  на величину до 85 % (тобто до 300 мг  $\text{NO}_x$ /м<sup>3</sup> н. у.), інвестиційні витрати на реалізацію СНКВ з використанням водоаміачного розчину у якості відновлювального реагенту складають 0,5 – 1,2 мільйона євро; на ці витрати суттєво впливають місцеві норми щодо зберігання водоаміачного розчину. Експлуатаційні витрати для цієї ж печі складають 0,3 – 0,5 євро на тонну клінкеру: ці витрати головним чином визначаються вартістю аміаку, що вприскується в систему [9, SEMBUREAU, листопад 1997], [85, SEMBUREAU, 2006].

Система СНКВ була встановлена у 1996/1997 роках на двох шведських заводах. Для однієї печі інвестиційні витрати склали приблизно 1,2 мільйона євро (0,65 мільйона євро за установку СНКВ та ще 0,55 мільйона євро за резервуар для зберігання водоаміачного розчину), а експлуатаційні витрати склали приблизно 0,55 євро на тонну клінкеру. Загальні витрати (інвестиційні + експлуатаційні витрати) були меншими, ніж 0,6 євро на тонну клінкеру. Інвестиційні витрати для іншої печі склали приблизно 0,55 мільйона євро, а експлуатаційні витрати – приблизно 0,3 євро на тонну клінкеру. Стимулом для інвестування у спорудження високопродуктивних установок СНКВ на цих заводах стала шведська політика щодо викидів  $\text{NO}_x$ . Згідно з цією політикою, прийнятною може вважатися будь-яка інвестиція у зниження викидів, загальна вартість якої (інвестиційні + експлуатаційні витрати) менша, ніж 4,5 євро (40 шведських крон) на кілограм оксидів  $\text{NO}_x$  (у перерахунку на  $\text{NO}_2$ ), викидам яких вдалося запобігти.

Опитування 26 цементних заводів, на яких використовується технологія СНКВ, проведене у 2004 році спільною німецької цементної промисловості, показало, що середні інвестиційні витрати склали від 0,5 до 0,75 мільйона євро. Однак Франція повідомила про витрати до 1 мільйона євро. Приблизно до 50 % інвестиційних витрат припадало на спорудження резервуара для зберігання відновлювального реагенту. Загальні витрати від 0,5 до 0,7 євро на тонну клінкеру були вказані для випадку використання водного розчину аміаку та ступенів зниження викидів  $\text{NO}_x$  від середніх до високих. У результаті детального розрахунку витрат для обертової печі з потужністю за клінкером 1 500 т/добу було отримано питомі витрати від 0,4 до 1,2 євро на тонну клінкеру, залежно від ступеня відновлення  $\text{NO}_x$ . У результаті додаткового розрахунку для печі потужністю 3 500 т/добу та зниження рівня  $\text{NO}_x$  з 850 до 250 мг/м<sup>3</sup> н. у. було отримано інвестиційні витрати у 0,88 мільйона євро та експлуатаційні витрати у 0,40 євро на тонну клінкеру.

Також див. Таблицю 1.34 та Таблицю 1.40 (розділ 1.4.8.2), де наведені приклади даних про витрати на технологію СНКВ.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Заводи у країнах ЄС-27, заводи з застосуванням високоефективного СНКВ у Швеції та

Німеччині (Maerker).

Приклади заводів у Швеції та Німеччині описані у розділах 6.2.4.1 та 6.2.4.2 відповідно.

[8, SEMBUREAU, 2001], [9, SEMBUREAU, листопад 1997], [10, Cementa AB/Хагстрьом, 1994], [20, Ротер, січень 1996], [24, Юнкер (Junker), 2001], [41, Куппер/Брентруп (Kupper/Brentrup), 1992], [42, Білльхардт/Кульман/Руланд/Шнайдер/Кселлер, жовтень 1996], [43, Вульф-Шнабель/Лозе, 1998], [76, Німеччина, 2006], [85, SEMBUREAU, 2006], [101, Франція / ADEME / Міністерство охорони довкілля та сталого розвитку, 2002], [105, YARA, 2006], [114, Швеція, 2006], [123, Ірландія, 2005], [131, YARA, 2007], [160, Німеччина, 2007], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [173, Німеччина, 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

### 1.4.5.1.8 Селективне каталітичне відновлення (СКВ)

#### Опис

СКВ відновлює NO та NO<sub>2</sub> до N<sub>2</sub> за допомогою NH<sub>3</sub> та каталізатора у діапазоні температур близько 300 – 400°C. Ця технологія широко використовується для зниження викидів NO<sub>x</sub> у інших галузях промисловості (вугільні електростанції, печі для спалювання відходів). У цементній промисловості розглядаються, по суті, дві системи: конфігурація для низької концентрації пилу між пиловловлювальною установкою та димовою трубою, і конфігурація для високої концентрації пилу між підігрівачем та пиловловлювальною установкою. Системи для відхідних газів з низькою концентрацією пилу потребують повторного нагрівання відхідних газів після знепилення, а це може призвести до додаткових витрат на електроенергію та втрат тиску. Системи для високої концентрації пилу вважаються більш вигідними з технічних та економічних міркувань. Ці системи не потребують повторного нагрівання, оскільки температура відхідних газів на виході системи підігрівача зазвичай знаходиться у належному діапазоні температур для роботи СКВ.

До 2008 року за допомогою систем СКВ для високої концентрації пилу потенційно можна було досягти великого зниження викидів NO<sub>x</sub> на величину до 85 – 95 %; при цьому у цементній промисловості були випробувані лише системи для високої концентрації пилу.

У 2008 році в країнах ЄС-27 усього було два випадки повномасштабної промислової експлуатації, і було зібрано досвід для усунення технічних та економічних невизначеностей, пов'язаних з переходом до використання технології СКВ у більшому масштабі. Основні невизначеності були пов'язані з високими концентраціями пилу (до 100 г/м<sup>3</sup> н. у.), технологіями видалення пилу, типом та терміном служби каталізаторів, загальними інвестиційними та експлуатаційними витратами. Досвід також показує, що велике значення має належне проектування та хімічний склад каталізаторів.

З огляду на високий потенціал зниження викидів, успішні дослідно-промислові випробування, дві повномасштабні установки СКВ, а також те, що СКВ є новітньою технологією, що використовується на аналогічних установках в інших секторах промисловості, технологія СКВ представляє інтерес для цементної промисловості. У Європі є як мінімум двоє постачальників, які пропонують повномасштабні системи СКВ для цементної промисловості з гарантованим рівнем продуктивності 100 – 200 мг/м<sup>3</sup> н. у. Проте капітальні витрати на СКВ досі вищі, ніж на СНКВ [12, Нідерланди, 1997].

#### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Зниження викидів NO<sub>x</sub>.

Оскільки каталізатори також видаляють вуглеводні, і якщо ця технологія розрахована на це, система СКВ у загальному випадку також буде знижувати викиди ЛОС та ПХДД/Ф.

#### Міжсередовищні наслідки

Споживання електроенергії може збільшитися через наявність внутрішньої системи знепилювання реактора СКВ та додаткові втрати тиску.

Системи для відхідних газів з низькою концентрацією пилу потребують повторного нагрівання відхідних газів після знепилення, а це може призвести до додаткових витрат на електроенергію та втрат тиску.

Каталізатори потрібно переробляти чи утилізувати.

#### Експлуатаційні параметри

У 1990-х роках випробування дослідних установок на ранніх етапах у Німеччині, Італії та



Швеції показали перспективні результати. Рівні викидів  $\text{NO}_x$  становили приблизно 100 – 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. без втрати активності каталізатора. На австрійських цементних заводах з 1996 по 2000 рік було проведено три дослідно-промислові випробування з невеликими кількостями газів (3 % відхідних газів) та конфігурацією для високої концентрації пилу. У ході одного з них були успішно знижені викиди  $\text{NO}_x$ , проте роботи з ним не були продовжені. Одним із питань, що постали, була проблема експлуатаційної готовності каталізаторів. Два дослідно-промислові випробування були неуспішними, оскільки каталізатори за кілька тижнів деактивувалися через присутність сполук важких металів та лужних металів. На одній установці за 5 000 годин роботи каталізатори суттєво стерлися [18, Гьоллер (Göller), 2001], [92, Австрія, 2006].

У 2000 році в Німеччині за державного фінансування була побудована перша повномасштабна демонстраційна установка СКВ з використанням системи СКВ для високої концентрації пилу; вона експлуатувалася з 2001 по 2006 рік. Проте станом на 2008 рік установка чекала на вдосконалені типи каталізаторів. У порівнянні з СНКВ, ця система споживає менше  $\text{NH}_3$ , а це означає менші експлуатаційні витрати на аміак. У верхній частині чотириступеневого підігрівача відхідний газ має температуру 320 – 350 °С, яка підходить для СКВ і не потребує повторного нагрівання, як у випадку конфігурації між рукавним фільтром та димовою трубою, а отже, зменшує витрати на електроенергію. Ефективність зниження викидів  $\text{NO}_x$  зазвичай знаходиться у діапазоні від 59 до 67 %. Проте за нестандартних умов експлуатації та концентрацій в неочищених газах 3 000  $\text{мг/м}^3$  н. у. і вище спостерігалися випадки, коли ефективність зниження викидів  $\text{NO}_x$  перевищувала 80 %. Під час нормальної роботи СКВ знижує викиди  $\text{NO}_x$  з початкових концентрацій в неочищених газах на рівні 1 000 – 1 600  $\text{мг/м}^3$  н. у. до приблизно 400 – 550  $\text{мг/м}^3$  н. у. За молярного відношення від 0,8 до 0,9 споживання  $\text{NH}_3$  значно менше, ніж у разі застосування СНКВ. Слід зазначити, що  $\text{NH}_3$ , який виділяється з сировини, також використовується як відновлювальний реагент у реакторі, тож рівень викидів залишкового  $\text{NH}_3$  дуже низький. На цьому німецькому заводі технологія СКВ зазвичай створювала викиди  $\text{NH}_3$  менше 1  $\text{мг/м}^3$  н. у., у той час як рівні викидів  $\text{NO}_x$  знижувалися до 300  $\text{мг/м}^3$  н. у. Ці результати можуть вказувати на потенційні можливості цієї технології, особливо з урахуванням того, що їх було досягнуто лише з трьома каталітичними рівнями, а рівень викидів залишкового  $\text{NH}_3$  все рівно становив близько 1  $\text{мг/м}^3$  н. у. Детальніший опис цієї установки, досягнутих діапазонів викидів та витрат наведено у розділі 6.2.5.

У Італії експлуатується одна установка СКВ для зниження викидів  $\text{NO}_x$ . З 2006 року на північній лінії з потужністю печі 1 720 т/добу (допустима потужність 2 400 т/добу) з метою зниження викидів  $\text{NO}_x$  експлуатується повномасштабна система СКВ для високих концентрацій пилу. Розміри камери, у якій встановлені модулі, розрахованої на сім шарів (рівнів) каталізаторів, – 4 м у ширину, 6 м у довжину та 27 м у висоту, як показано на Рисунку 1.66.

Об'єм встановлених каталізаторів – 21  $\text{м}^3$  для кожного рівня, тобто всього 63  $\text{м}^3$  для трьох рівнів з незаповненою резервною місткістю 42  $\text{м}^3$ , яка дає змогу встановити ще два рівні для досягнення допустимої потужності у 2 400 т/добу. Каталізатори автоматично очищаються стисненим повітрям під тиском 5 або 6 бар, при цьому компресорна лінія споживає енергію в обсязі 2,5 кВт·год./т клінкеру. Після 7 000 годин роботи не було виявлено втрати каталізаторами відновлювальної активності.

		
<p><b>Рисунок 1.66.</b> Приклад установки СКВ Джерело: [140, Італія, 2007]</p>	<p><b>Рисунок 1.67.</b> Приклад окремого каталізатора, що використовується у технології СКВ Джерело: [140, Італія, 2007]</p>	<p><b>Рисунок 1.68.</b> Приклад модульного розташування, що використовується у технології СКВ Джерело: [140, Італія, 2007]</p>

У якості відновлювального реагенту використовується водоаміачний розчин з

концентрацією 25 %. Його витрата варіюється від 30 до 300 літрів на годину залежно від умов у печі та типів палива, що використовуються, у той час як витрата газів складає 110 000 м<sup>3</sup>/год. Водоаміачний розчин вприскується у газовий потік під крайнім верхнім циклоном, де підтримується належний температурний режим 320 – 350 °С. Протягом перших 10 місяців роботи середнє споживання водоаміачного розчину складало 0,7 – 1 кг/т клінкеру зі зниженням викидів NO<sub>x</sub> до менш ніж 450 мг/м<sup>3</sup> н. у. (10 % O<sub>2</sub>). Проте звіти та результати випробувань з цього італійського заводу показали, що спроектована таким чином технологія СКВ може знизити викиди NO<sub>x</sub> у димовій трубі до < 200 мг/м<sup>3</sup> н. у. (за фактичного % O<sub>2</sub>). Залежно від рівня NO<sub>x</sub> на вході та інтенсивності вприскування NH<sub>3</sub>, ефективність зниження рівня NO<sub>x</sub> варіюється в діапазоні 43 – 95 %. У разі коригування до 10 % O<sub>2</sub> будуть отримані навіть нижчі концентрації NO<sub>x</sub>. Перед встановленням технології СКВ у димових газах був вимірний вміст аміаку 50 – 150 мг/м<sup>3</sup> н. у., що походив із сировини. Відтоді цей об'єм аміаку використовувався у процесі СКВ, створюючи викиди NH<sub>3</sub> на рівні менш ніж 1 мг/м<sup>3</sup> н. у. та з молярним відношенням (вбризнутий NH<sub>3</sub>:NO<sub>x</sub>) меншим, ніж одиниця. Параметри, викиди та витрати технології СКВ, повідомлені німецьким цементним заводом та італійським цементним заводом, на яких використовується ця технологія зниження рівнів NO<sub>x</sub>, наведені у Таблиці 1.35.

Таблиця 1.35. Повідомлені параметри, викиди та витрати, пов'язані з СКВ

Технологія	Застосування у пічних системах	Ефективність зниження викидів (%)	Повідомлені викиди		Повідомлені витрати	
			мг/м <sup>3</sup> н. у. (середньодобове значення)	кг NO <sub>x</sub> /т клінкеру	Інвестиційні (євро/тону клінкеру)	Експлуатаційні (євро/тону клінкеру)
СКВ	Можливо, всі	43 – 97	300 – 500 <sup>(1)</sup>	0,15 – 1,0	2,5 <sup>(2)</sup> 3,2 – 4,5 <sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup>	1,75 – 2 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Результати дослідно-промислових випробувань та довготермінової роботи демонстраційного заводу  
<sup>(2)</sup> Витрати для повномасштабної установки (потужність печі 1 500 т/клінкеру/добу, початкові викиди 1 200 мг/м<sup>3</sup> н. у. та остаточні рівні 200, 500 і 800 мг/м<sup>3</sup> н. у. (середньодобове значення) за оцінками Німецького агентства охорони навколишнього середовища (UBA)  
<sup>(3)</sup> Витрати, розраховані Асоціацією німецької цементної промисловості (VDZ), з урахуванням експлуатаційних витрат плюс амортизації інвестицій у повномасштабну установку (потужність печі 1 500 т/клінкеру/добу, початкові викиди 1 200 мг/м<sup>3</sup> н. у. та остаточні рівні 200, 500 і 800 мг/м<sup>3</sup> н. у.)  
<sup>(4)</sup> Найбільше значення відповідає системі СКВ з італійського цементного заводу і вказане включно з 0,9 мільйона євро на каталітичні елементи (три шари встановлених модулів плюс два шари в запасі)

Джерело: [85, CEMBUREAU, 2006]

### Застосування

Технологія СКВ була випробувана лише на підігрівачах, а дослідно-промислові випробування були проведені лише на пічних системах, що працюють за напівсухим процесом (печях Леполя). Проте її можна застосовувати і в інших пічних системах, залежно від температурного вікна.

Високі рівні пилу висувають високі вимоги до довговічності та роботи каталізаторів, і дуже важливими є конструкція та хімічний склад каталізаторів. Каталізатори, розраховані на роботу з низькими концентраціями пилу в інших галузях, можуть виявитися непридатними для роботи з високими концентраціями пилу на цементному заводі. Робота реактора СКВ з високими концентраціями пилу потребує високої механічної стійкості каталізатора, ширшого рознесення, ніж потрібно зазвичай для роботи з низькими концентраціями пилу, та вбудованої системи знепилення для запобігання засміченню та втратам активності каталізатора. Належний хімічний склад каталізатора потрібно оцінити шляхом експлуатаційних випробувань з високою концентрацією пилу у відпрацьованих газах цементних печей. Крім того, з огляду на розміри камери, у якій встановлені модулі, та кількість шарів, що використовується, для встановлення системи СКВ має бути передбачено достатньо місця.

На ринку ще немає стандартних каталізаторів для цементної промисловості. Різні каталізатори, що використовуються, досі проходять експлуатаційні випробування.

### Економіка

Результати використання технології СКВ продемонстрували рівень витрат від 1,25 до 2,00 євро на тонну, залежно від розміру заводу та необхідної ефективності видалення NO<sub>x</sub>. У технології СКВ, на відміну від технології СНКВ, переважають інвестиційні витрати – вони у 4 – 9 разів вищі, ніж для системи СНКВ. Використання каталізаторів збільшує

експлуатаційні витрати. Крім того, спожита енергія витрачається головним чином на подолання перепаду тиску та підготовку повітря для очищення каталізатора. Питомі витрати на СКВ знизилися до приблизно 1,75 євро на тонну.

На заводі Cementa AB у поселенні Сліте, Швеція, використовується піч з установкою підігрівання у зваженому стані / попереднім кальцинатором, що працює за сухим способом, потужністю 5 800 тонн клінкеру/добу. У 1993 році на цьому заводі приблизно протягом року працювала пілотна система СКВ для високої концентрації пилу, встановлена за системою СНКВ; таким чином було досліджено, скільки коштуватиме повномасштабна система СКВ, встановлена за системою СНКВ. Це означає, що початкові рівні  $\text{NO}_x$  у газах, що потрапляють у систему СКВ, менші, ніж  $200 \text{ мг/м}^3$  н. у. Оціночні інвестиційні витрати склали приблизно 11,2 мільйона євро, а експлуатаційні витрати склали приблизно 1,3 євро на тонну клінкеру – таким чином, загальні витрати становили 3,2 євро на тонну клінкеру. Витрати на додатковий кілограм  $\text{NO}_x$ , викидам яких запобігла система СКВ, склали 5,5 – 7,3 євро. За словами компанії, ці витрати були надто великими та недоцільними.

За оцінками, інвестиційні витрати для печі з підігрівачем потужністю 3 000 тонн клінкеру/добу склали 3,5 мільйона – 4,5 мільйона євро з тим зауваженням, що вказані інвестиційні витрати відомі лише від постачальника, але в них не враховані модифікації установки.

Техніко-економічні обґрунтування були виконані в Австрії, Німеччині, Нідерландах та Швеції. Оцінені витрати на технологію СКВ у цементній промисловості дуже різняться, при цьому основними змінними є собівартість та термін служби каталізаторів.

Також див. Таблицю 1.34 та Таблицю 1.35 у розділі 1.4.5.1, а також Таблицю 1.40 у розділі 1.4.8.2, де наведені приклади даних про витрати.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства. Впровадження СКВ може бути доцільним, якщо потрібно досягти вищої ефективності зниження викидів  $\text{NO}_x$  або одночасного зниження рівнів  $\text{NO}_x$  та інших забруднюючих речовин (наприклад, аміаку), що утворюються з сировини.

#### **Приклади заводів**

«Зольнхофер Портланд-Цементверке» (Solnhofen Portland-Zementwerke) – завод з виробництва портландцементу у громаді Зольнхофен (Німеччина), цементний завод у муніципалітеті Монселіче (Італія).

#### **Довідкова література**

[4, Австрія, 1998] [8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, листопад 1997], [12, Нідерланди, 1997], [18, Гьоллер, 2001], [23, де Йонге (de Jonge), 2001], [24, Юнкер, 2001], [43, Вульф-Шнабель/Лозе, 1998], [57, Європейська комісія, 2005], [76, Німеччина, 2006], [80, Альваро А. Лінеро (Alvaro A. Linero), 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [92, Австрія, 2006], [140, Італія, 2007], [141, Лайбахер/Беллін/Лінеро, 2007], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### **1.4.5.2 Зниження викидів $\text{SO}_2$**

Перший крок з контролю рівнів  $\text{SO}_2$  полягає в тому, щоб розглянути первинні технології оптимізації технологічного процесу, такі як оптимізація процесу випалювання клінкеру, у тому числі вирівнювання роботи печі, забезпечення рівномірного розподілу сировинної муки у стояку печі та запобігання створенню відновлювальних умов у процесі випалювання. а також вибір сировини та палива. Крім того, для захоплення  $\text{SO}_2$  у матеріалі, що випалюється в печі, критично важливою є концентрація кисню в завантажувальній зоні печі. Збільшення вмісту кисню в довгих печах призводить до зменшення рівня  $\text{SO}_2$  та збільшення рівня  $\text{NO}_x$ . Проте для досягнення вказаної якості продукції у процесі випалювання клінкеру потрібен надлишок кисню. Відповідно, у піч завжди подається достатньо кисню, щоб у нижній секції циклонного підігрівача або в камері гарячих газів колосникового підігрівача гарантовано утворилися сульфати, які викидаються з пічної системи у складі клінкеру. Для захисту навколишнього середовища ці умови потрібно збалансувати, оптимізувавши рівні  $\text{NO}_x/\text{SO}_2/\text{CO}$  шляхом регулювання вмісту кисню у холодному кінці печі. У тих випадках, коли цих технологій недостатньо, можна застосовувати додаткові технології у кінці виробничого циклу. У Таблиці 1.36 та Таблиці 1.37 наведено огляд технологій, що сприятливо впливають на викиди  $\text{SO}_2$  (головним чином з підігрівача та від обхідного процесу), що утворюються в результаті

виготовлення цементу, тобто знижують ці викиди. У Таблиці 1.36 підсумовані експлуатаційні параметри, наведені у тексті цього розділу; її слід розглядати разом з відповідними параграфами у наступних розділах (див. розділи 1.4.5.2.1 – 1.4.5.2.3). У цьому контексті слід зазначити, що при сумісному спалювання відходів потрібно дотримуватися вимог Частини IV та Додатку VI до Директиви 2010/75/EU.

**Таблиця 1.36. Огляд технологій для контролю та зниження викидів SO<sub>2</sub>**

Захід/ технологія	Застосування у пічних системах	Ефективність зниження викидів	Дані про викиди		Витрати	
			мг/м <sup>3</sup> н.у. <sup>(1)</sup>	кг/тону <sup>(2)</sup>	Інвестиційні (мільйони євро)	Експлуата- ційні (євро/т клинкеру)
Додавання абсорбентів	Усі	60 – 80 %	< 200 – 400 <sup>(5)</sup>	0,23 – 0,92	0,2 – 0,3	0,1 – 0,4
Мокрий скруббер	Усі	> 90 %	< 10 – 300 <sup>(4)</sup>	0,02 – 0,69	5,8 – 23 <sup>(6)</sup>	0,5 – 2 <sup>(6)</sup>
Активоване вугілля	Сухий спосіб	До 95 %	< 50	< 0,11	15 <sup>(3)</sup>	Інформація відсутня.

(<sup>1</sup>) Зазвичай виражено як середньодобові значення для сухого газу, 273 К, 101,3 кПа та 10 % O<sub>2</sub>  
(<sup>2</sup>) кг/тону клинкеру: з розрахунку на 2 300 м<sup>3</sup>/тону клинкеру  
(<sup>3</sup>) У цих витратах також врахований процес СНКВ для потужності печі 2 000 тонн клинкеру/добу та початкових викидів 50 – 600 мг SO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> н. у., дані про витрати за 1997 рік  
(<sup>4</sup>) Остаточний досяжний рівень викидів залежить від початкового значення SO<sub>2</sub> перед встановленням мокрого скруббера і може бути вищим  
(<sup>5</sup>) Для початкового рівня SO<sub>x</sub> у 1 200 мг/м<sup>3</sup> н. у. (див. розділ 1.4.5.2.1)  
(<sup>6</sup>) 2008

У Таблиці 1.37 представлена кількість повномасштабних установок, відомих у країнах ЄС-27 та ЄС-23+, що будуть використовувати технології зниження викидів SO<sub>2</sub> у 2008 році.

**Таблиця 1.37. Технології зниження викидів SO<sub>2</sub>, що використовувалися у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ у 2008 році**

Технології зниження/контролю викидів SO <sub>2</sub>				
Країна		Додавання абсорбентів	Мокрий скруббер	Активоване вугілля
Бельгія	BE	2		
Болгарія	BG			
Чехія	CZ	1		
Данія	DK		2	
Німеччина	DE	11		
Естонія	EE			
Греція	EL			
Іспанія	ES			
Франція	FR	3		
Ірландія	IE			
Італія	IT	1		
Кіпр	CY			
Латвія	LV			
Литва	LT			
Люксембург	LU			
Угорщина	HU			
Мальта	MT			
Нідерланди	NL			
Австрія	AT	1	1	
Польща	PL			
Португалія	PT	3		
Румунія	RO			
Словенія	SI		1	
Словаччина	SK			
Фінляндія	FI			
Швеція	SE		1	
Велика Британія	UK		2	
Норвегія	NO			
Швейцарія	CH	1	1	1
Туреччина	TR			
УСЬОГО		23	8	1

Джерело: [73, СЕМБUREAU, 2006], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008]

У європейській цементній промисловості не використовуються напівмокри та сухі скрубери. Принцип роботи цих технологій полягає в нейтралізації  $\text{SO}_2$  з відхідних газів шляхом вприскування хімічних чи фізичних сорбційних матеріалів. Продуктами реакцій є розчинені або сухі солі, залежно від технологій. У 2003 році єдиний у Європі завод, на якому використовувався сухий скрубер з циркулюючим псевдозрідженим шаром, у комуні Унтервац, Швейцарія, був зупинений з економічних та, меншою мірою, технічних причин.

#### 1.4.5.2.1 Використання абсорбентів

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Вторинні технології контролю викидів, що застосовують в цементній промисловості, полягають у додаванні гідроксиду кальцію за допомогою так званого «процесу сухого додавання добавок» (додавання сорбенту до сировини) або «сухого сорбційного процесу» (вприскування сорбенту в газовий потік). Додавання гідроксиду кальцію має додаткову перевагу – у результаті додавання кальцієвмісної добавки утворюються продукти реакції, які можуть безпосередньо включатися у процес випалювання клінкеру.

Оптимальними температурними діапазонами для додавання гідроксиду кальцію є діапазон від 350 до 400 °C та нижче 150 °C, якщо газ насичений водою. У системах обортових цементних печей гідроксид кальцію доцільно додавати в такі місця, як верхні циклонні ступені або газохід для неочищених газів.

Як варіант, гідроксид кальцію можна завантажувати в сировинний млин разом з компонентами сировини або додавати безпосередньо до матеріалу, який завантажується в піч. Гідратоване або гашене вапно ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), негашене вапно ( $\text{CaO}$ ) або активована зола-винос з високим вмістом  $\text{CaO}$  вприскується у тракт відхідних газів за температур, близьких до точки роси за водою: таким чином створюються більш сприятливі умови для захоплення  $\text{SO}_2$ . У системах цементних печей цей температурний діапазон присутній на ділянці між сировинним млином та пиловловлювачем. Гідроксид кальцію реагує з  $\text{SO}_2$  на верхніх циклонних ступенях і виноситься з системи у вигляді пилу в неочищених газах (у пиловловлювач), який повертається у розташований далі на лінії помельно-сушильний агрегат у складі неочищених газів. Чинниками, які обмежують ефективність зниження викидів у цьому процесі, є короткий час перебування газу на верхніх циклонних ступенях (мінімум дві секунди) та високі рівні  $\text{CO}_2$  у відхідних газах, що перевищують 30 %.

##### Міжсередовищні наслідки

Інтенсивне вприскування вапна впливає на якість сировинної муки.

##### Експлуатаційні параметри

Потенційна можливість зниження рівня  $\text{SO}_2$  шляхом додавання гідроксиду кальцію залежить, з одного боку, від початкового рівня  $\text{SO}_2$  і стану відхідних газів, та рівня концентрації сірки в циклах, що утворюються на відповідному заводі. Зниження рівня  $\text{SO}_2$  на величину від 60 до 80 % можна досягти шляхом вприскування абсорбента у пічні системи з установками підігрівання у зваженому стані. За початкових рівнів, які не перевищують 400 мг/м<sup>3</sup> н. у., теоретично можливо досягти рівня викидів близько 100 мг/м<sup>3</sup> н. у. За початкових рівнів  $\text{SO}_2$  до 1200 мг/м<sup>3</sup> н. у. можна досягти зниження викидів до 400 мг/м<sup>3</sup> н. у. Вищі початкові рівні  $\text{SO}_2$  – понад 1 200 мг/м<sup>3</sup> н. у. – потребують значної кількості абсорбенту, а це може бути нерентабельно. Крім того, вища початкова концентрація сірки у циклах призводить до порушень технологічного процесу через утворення відкладень у зоні кальцинування. Тому може виникнути ризик більш інтенсивної рециркуляції сірки та нестабільної роботи печі, оскільки при застосуванні цієї технології в піч повертається більша кількість сірки.

##### Застосування

Використання абсорбенту, в принципі, підходить для всіх пічних систем, хоча переважно використовується в установках підігрівання у зваженому стані. Існує принаймні одна довга цементна піч, що працює за мокрим способом, у якій для зниження пікових викидів  $\text{SO}_2$  в відхідні гази перед електрофільтром вприскується гідрокарбонат натрію  $\text{NaHCO}_3$ . Додавання вапна в матеріал, що завантажується в піч, знижує якість гранул/зерен і створює проблеми з течією матеріалу в печах Леполя.

Сухий сорбційний процес (вприскування абсорбенту в газовий потік) може застосовуватися у вигляді сухого або мокрого способу. Для печей з підігрівачами було виявлено, що безпосереднє вприскування гашеного вапна у відхідні гази менш ефективно,

ніж додавання гашеного вапна в матеріал, що завантажується в піч.

SO<sub>2</sub> реагує з вапном, утворюючи CaSO<sub>3</sub> та CaSO<sub>4</sub>, які потім потрапляють у піч разом з сировиною і включаються у склад клінкеру. Ця технологія підходить для очищення газових потоків з помірними концентраціями SO<sub>2</sub> і може застосовуватися за температури повітря понад 400 °С. Найбільш ефективного зниження викидів можна досягти за температур, що перевищують 600 °С. Рекомендується використовувати абсорбент на основі Ca(OH)<sub>2</sub> з великою питомою площею поверхні та високою пористістю. Для гашеного вапна не властива висока реактивність, тому слід застосовувати молярні відношення Ca(OH)<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> від 3 до 6. Газові потоки з високими концентраціями SO<sub>2</sub> потребують у 6 – 7 разів більше абсорбенту, ніж передбачено стехіометричним відношенням, а це означає великі експлуатаційні витрати.

### Економіка

Додавання абсорбентів використовується на кількох заводах для запобігання перевищенню граничних значень у випадках пікових концентрацій. Це означає, що ця технологія у загальному випадку працює не постійно, а лише тоді, коли цього потребують особливі обставини. У випадку, коли початкова концентрація SO<sub>2</sub> становить до 3 000 мг/м<sup>3</sup> н. у., викиди знижуються на величину до 65 %, а вартість гашеного вапна становить 85 євро за тону, інвестиційні витрати для печі з підігрівачем потужністю 3 000 тонн клінкеру/добу становлять близько 0,2 мільйона – 0,3 мільйона євро, а експлуатаційні витрати становлять близько 0,1 – 0,4 євро на тонн клінкеру.

Також див. Таблицю 1.36 та розділ 1.4.8.3, де наведені приклади даних про витрати.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

### Приклади заводів та довідкова література

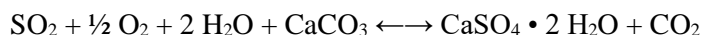
Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[8, CEMBUREAU, 2001], [9, CEMBUREAU, листопад 1997], [12, Нідерланди, 1997], [30, Маршал (Marchal), 2001], [76, Німеччина, 2006], [97, CEMBUREAU, 2007], [101, Франція / ADEME / Міністерство охорони довкілля та сталого розвитку, 2002], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

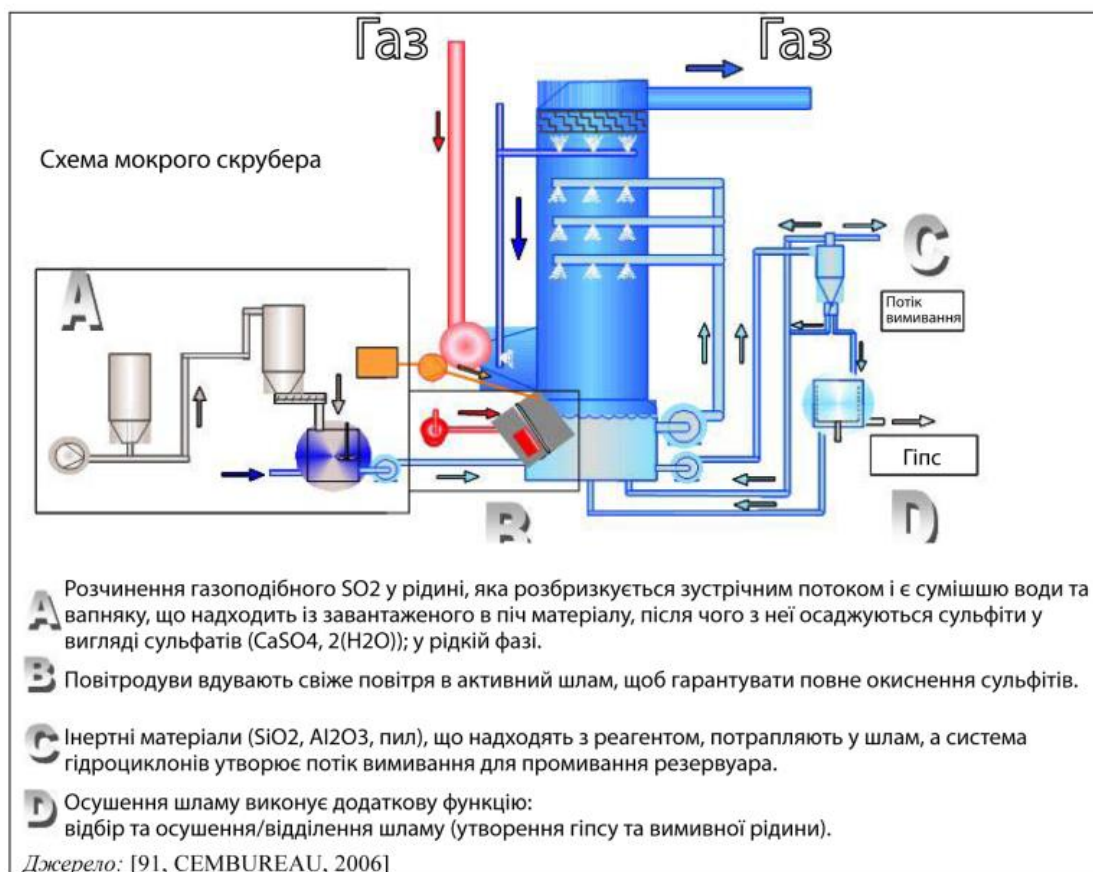
#### 1.4.5.2.2 Мокрий скруббер

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Мокрий скруббер – це найбільш поширена технологія знесірчення димових газів на вугільних електростанціях. У процесах виготовлення цементу мокрий процес зарекомендував себе як технологія зниження викидів SO<sub>2</sub>. Робота мокрого скруббера базується на такій хімічній реакції:



SO<sub>x</sub> поглинається рідиною/шламом, що розбризкується у зрошувальній колоні. У якості абсорбенту використовується карбонат кальцію. Системи мокрого очищення забезпечують найвищу ефективність видалення розчинних кислих газів з усіх методів знесірчення димових газів (ЗДГ) з найнижчими надлишковими стехіометричними коефіцієнтами та найнижчими обсягами виробництва твердих відходів. Проте мокрі скрубери також суттєво знижують викиди HCl, залишкового пилу та, меншою мірою, металів і NH<sub>3</sub>. Базовий принцип роботи системи мокрого скрубера показаний на Рисунку 1.69.



**Рисунок 1.69. Основні особливості роботи мокрого скрубера**

Наразі, у 2008 році, у європейській цементній промисловості використовується сім мокрих скрубєрів, і ще один планується використовувати – усі з них виконані як зрошувальні колони. Шлам розбризкується назустріч потоку відхідних газів і збирається у рециркуляційний бак внизу скрубєра, де утворений сульфід окиснюється повітрям до сульфату і утворює дигідрат сульфату кальцію. Дигідрат відділяється і, залежно від фізико-хімічних властивостей гіпсу, може використовуватися у процесі подрібнення цементу, а вода повертається у скрубєр.

У порівнянні з сухим скрубєром, можливість утворення пилу цементної печі (ПЦП) у мокрому процесі дуже низька, і природні запаси гіпсу заощаджуються. Єдиний у Європі завод, на якому використовувався сухий скрубєр з циркулюючим псевдозрідженим шаром, у комуні Унтервац, Швейцарія, був виведений з експлуатації у 2003 році з економічних та – меншою мірою – технічних причин. У процесі виготовлення цементу чи у випадках, коли технологія застосовується для очищення газів, постає мета уникнути утворення відходів пилу. У процесах мокрого знесірчення утворюється  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  – ця речовина використовується на заміну природного гіпсу, а в подальшому включається у процес як засіб для коригування властивостей цементу. У процесі сухого/напівсухого знесірчення в якості продукту утворюється велика кількість  $\text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  – ця остання речовина несприятливо впливає на якість цементу, а можливості його включення в цемент обмежені. Таким чином, більшість продуктів, що утворюються в мокрому скрубєрі, потрібно повернути назад у піч або утилізувати.

#### Міжсередовищні наслідки

Збільшене споживання енергії.

Збільшене утворення відходів у результаті знесірчення димових газів (ЗДГ), а при проведенні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

Збільшені викиди  $\text{CO}_2$  (див. хімічну реакцію вище, з якої видно, як  $\text{CO}_2$  утворюється у процесі, що протікає в мокрому скрубєрі).

Збільшене споживання води.

Скиди у воду та збільшений ризик забруднення води.

Збільшені експлуатаційні витрати.

Заміна природного гіпсу штучним гіпсом.

### Експлуатаційні параметри

Зниження SO<sub>2</sub>, що досягається у цьому процесі, може перевищувати 95 %. На заводі Cementa AB експлуатується піч з підігрівачем потужністю 5800 тоннклинкеру/добу з початковою концентрацією SO<sub>2</sub> в димових газах у діапазоні 800 – 1 000 мг/м<sup>3</sup> н. у. – у результаті рівні SO<sub>2</sub> знижуються до <10 мг/м<sup>3</sup> н. у. На заводі Castle Cement у Великій Британії експлуатується піч з підігрівачем потужністю 2500 тоннклинкеру/добу, для якої початкова концентрація SO<sub>2</sub> в димових газах, виражена як середньодобове значення, становить близько 800 – 1 400 мг/м<sup>3</sup> н. у., а пікові значення іноді перевищують 2 000 мг/м<sup>3</sup> н. у. Крім того, повідомлялося, що у період з 2002 по 2006 рік середньорічні викиди SO<sub>2</sub> становили 207 мг/м<sup>3</sup> н. у., а максимальні середньодобові значення варіювалися в діапазоні від 248 до 296 мг/м<sup>3</sup> н. у. через високий вміст сірки у сировині.

### Застосування

Мокрим скруббером можна обладнати цементні печі всіх типів з належними (достатніми) рівнями SO<sub>2</sub> для виробництва гіпсу.

### Економіка

У 2008 році капітальні витрати на мокрий скруббер на заводі «Ріблсдейл» (Ribblesdale) у Великій Британії, що належить компанії Castle Cement, за оцінками постачальника склали близько 23 мільйонів євро з урахуванням інфляції. У 2000 році повідомлені інвестиційні витрати на скруббер для заводу Castle Cement (включно з модифікацією установки) склали 7 мільйонів євро, а експлуатаційні витрати – близько 0,9 євро на тонну клинкеру. У 1998 році для заводу Cementa AB у Швеції інвестиційні витрати склали приблизно 10 мільйонів євро, а експлуатаційні витрати – приблизно 0,5 євро на тонну клинкеру. За початкової концентрації SO<sub>2</sub> до 3 000 мг/м<sup>3</sup> н. у. та потужності печі у 3 000 тонн клинкеру/добу, інвестиційні витрати у кінці 1990-х склали 6 мільйонів – 10 мільйонів євро, а експлуатаційні витрати – від 0,5 до 1 євро на тонну клинкеру. Крім того, у 1998 на австрійському цементному заводі інвестиційні витрати на мокрий скруббер (зі зниженням викидів SO<sub>2</sub> до менш ніж мг/м<sup>3</sup> н. у.) склали 5,8 мільйона євро, а у 2008 році річні експлуатаційні витрати становили 140 000 євро. Станом на 2008 рік повідомлялося, що інвестиційні витрати у європейській цементній промисловості склали від 6 мільйонів до 30 мільйонів євро, а експлуатаційні витрати були в діапазоні 1 – 2 євро на тонну клинкеру.

Приклади даних про витрати разом з рядом різних даних, розрахованих для контрольного заводу потужністю 1 100 т/добу, наведені у Таблиці 1.41 в розділі 1.4.8.3.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

### Приклади заводів та довідкова література

Заводи Cementa AB (Швеція), Castle Cement (Велика Британія), заводи у комуні Рецнай (Lafarge, Австрія), у місті Данбар (Велика Британія), у місті Трбовле (Словенія) та у комуні Унтервац (Швейцарія).

[8, SEMBUREAU, 2001], [9, SEMBUREAU, листопад 1997], [10, Cementa AB/Хагстрьом, 1994], [11, Коулберн (Coulburn), 2001], [24, Юнкер, 2001], [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006], [86, EURITS, 2006], [92, Австрія, 2006], [103, SEMBUREAU, 2006], [114, Швеція, 2006], [132, SEMBUREAU/Federhen, 2007], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [175, Lafarge, 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008], [183, Шедний/Шиндлер (Szednyj/Schindler), 2005].

#### 1.4.5.2.3 Активоване вугілля

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Забруднюючі речовини, такі як SO<sub>2</sub>, органічні метали, NH<sub>3</sub>, сполуки NH<sub>4</sub>, HCl, HF та залишковий пил (після електрофільтра чи рукавного фільтра), можна видалити з відхідних газів шляхом їх адсорбції на активованому вугіллі. Фільтр з активованим вугіллям використовується як технологія вприскування або конструюється у вигляді насадки з ущільненого шару, яка має модульні перегородки. Модульна конструкція дає змогу адаптувати розмір фільтра до різної пропускної здатності за газом та потужності печі.

Активоване вугілля, що використовується в ньому, періодично виймається в окремий



силос і замінюється свіжим адсорбентом. Завдяки спалюванню насиченого коксу як палива в печі захоплені ним речовини повертаються в систему і великою мірою зв'язуються у цементному клінкері.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Речовини, що утворюються з активованого вугілля, потрібно утилізувати як небезпечні відходи.

#### **Експлуатаційні параметри**

Єдиний фільтр з активованим вугіллям, що існує в європейській цементній промисловості, існує на цементному заводі у комуні Зіггенталь (Siggenthal), Швейцарія. Піч на заводі у комуні Зіггенталь виконана як піч з чотириступеневим циклонним підігрівачем потужністю 2 000 тонн клінкеру/добу. Вимірювання продемонстрували високу ефективність видалення SO<sub>2</sub>, металів та ПХДД/Ф. Під час 100-денних експлуатаційних випробувань концентрації SO<sub>2</sub> на вході фільтра варіювалися від 50 до 600 мг/м<sup>3</sup> н. у., у той час концентрації на виході завжди були значно нижчими, ніж 50 мг/м<sup>3</sup> н. у. Концентрації пилу знизилися з 30 мг/м<sup>3</sup> н. у. до рівня значно нижчого, ніж 10 мг/м<sup>3</sup> н. у.

#### **Застосування**

Фільтр з активованим вугіллям можна встановити у будь-якій пічній системі, що працює за сухим процесом. Відходи – наприклад, активоване вугілля, що містить ПХДД/Ф та інші забруднюючі речовини, як-от ртуть, – потрібно утилізувати як небезпечні відходи. У таких процесах особливо важливо забезпечити моніторинг та контроль температури та рівня CO, щоб запобігти займанню коксового фільтра.

#### **Економіка**

У системі, встановленій у комуні Зіггенталь, також використовується процес СНКВ, а у 1999 році влада міста Цюрих профінансувала близько 30 % загальних інвестиційних витрат, що складали понад 15 мільйонів євро. Інвестиції в цю систему зниження викидів були зроблені для того, щоб цементний завод міг використовувати перероблений шлам зі стічних вод у якості палива.

Експлуатаційні витрати можуть збільшитися.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

#### **Приклади заводів та довідкова література**

Зіггенталь, Швейцарія

[9, SEMBUREAU, листопад 1997], [10, Cements AB/Хагстрьом, 1994], [12, Нідерланди, 1997], [86, EURITS, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### **1.4.5.3 Зниження викидів монооксиду вуглецю (CO) та зменшення кількості відключень електрофільтрів через підвищення вмісту у відхідних газах CO**

##### **Опис**

Окрім різних інших сполук, як-от CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, водяна пара та кисень, і меншою мірою NO та SO<sub>x</sub>, відхідні гази печі / сировинного млина також містять, хоч і меншою мірою, CO.

Викиди CO також можна зменшити шляхом вибору, якщо це можливо, сировини з низьким вмістом органічних речовин. Утворюючись внаслідок неповного згорання, викиди монооксиду вуглецю (CO) загалом означають втрату ефективності. Тому оператори часто обмежують викиди CO з їх печей. Викиди CO можна зменшити шляхом удосконалення згорання – наприклад, шляхом оптимізації та забезпечення якості палива, що подається в піч, властивостей та конфігурації пальників, пічної тяги, температури згорання та часу перебування в печі.

Крім того, всі технології, які зменшують споживання енергії палива, також знижують викиди CO<sub>2</sub>. Викиди CO<sub>2</sub> можна зменшити шляхом вибору, якщо це можливо, сировини з низьким вмістом органічних речовин та палива з низьким відношенням вмісту вуглецю до теплоти згорання.

*Відключення за рівнем CO*

Викиди пилу внаслідок відключень за рівнем CO можуть траплятися на електрофільтрах

та, меншою мірою, на комбінованих фільтрах. З міркувань безпеки електрофільтри повинні вимикатися за підвищеного рівня CO в димових газах.

Для скорочення часу простоювання електрофільтрів потрібно застосовувати систематичний покроковий підхід:

- встановити цілі та оцінити ситуацію з основними факторами, що впливають на відключення за рівнем CO, такими як причини відключення за рівнем CO внаслідок таких явищ:
  - порушення технологічного процесу;
  - високі фонові рівні CO внаслідок високого вмісту органічних речовин у сировині;
  - перебої у роботі системи подавання палива;
  - порушення процесу згорання;
- порівняти та оцінити поточну і оптимальну ситуації; виявити потенційні можливості для оптимізації та встановити пріоритети – аналіз прогалин (gap-аналіз);
- оптимізувати технологічний процес і систему аналізу таким чином, щоб забезпечити їх експлуатаційну готовність, надійність та швидкість; оптимізувати технології реагування.

Крім того, для виявлення будь-яких причин і розгляду технологій боротьби з ними потрібна така інформація:

- інформація про надійність, експлуатаційну готовність та динамічну поведінку обладнання, яке здійснює аналіз;
- інформація про статистику утворення CO;
- інформація про види палива, що використовуються, систему подавання палива та технологічний процес.

Системи подавання палива, розраховані на запобігання різкому викиданню палива в пічну систему для підтримання стабільної роботи системи спалювання, здатні звести до мінімуму відключення за рівнем CO.

Для контролю рівня CO у цементній печі використовуються засоби автоматичного вимірювання рівнів CO, які здійснюють безперервний моніторинг рівнів CO в димових газах. Цей засіб/технологію потрібно оптимізувати за часом реагування, а також за процедурою вимкнення, та забезпечити його належне технічне обслуговування. Ідеальна система моніторингу рівнів CO повинна мати короткий час реакції та бути розташованою поблизу джерела CO – наприклад, на виході башти підігрівача, або на завантажувальному кінці печі, якщо піч працює за мокрим способом. При цьому все рівно потрібно провести аналіз часу нечутливості всієї системи – у тому числі часу витримки за рахунок об'єму каналу. Час нечутливості, потрібний для того, щоб газова проба CO пройшла від точки всмоктування до аналізатора, в ідеалі повинен бути в районі 20 – 30 секунд (час запізнення аналізу). Якщо до цього значення додати ще 10 – 30 секунд часу запізнення для урахування часу реакції аналізатора, отримаємо максимальний загальний час нечутливості, який проходить до моменту досягнення 85 % максимального значення. Від загального часу нечутливості залежить, коли система повинна спрацювати – так, щоб це було не занадто рано і не занадто пізно. Більш детальний аналіз нахилу кривої сигналу CO дає змогу точніше спрогнозувати, коли повинна вимкнутися система високої напруги електрофільтра, і коли її знову можна повернути в роботу на повній потужності – а отже, врахувати момент, коли процес відключення за рівнем CO виходить з критичної зони.

Час запізнення моніторингу рівня CO можна зменшити шляхом збільшення витрати проб, скорочення відстані від точки відбору проб до аналізатора, зменшення внутрішнього об'єму системи аналізу та забезпечення швидкого сигналу електронного звітування. На ринку доступні швидкі системи для аналізу на місці з часом реакції <3 секунд, проте для них існують обмеження на роботу в умовах сильно насичених пилом газів. Загалом вкрай важливо дотримуватися суворого режиму технічного обслуговування та калібрування. Проте діапазони та компоненти аналізаторів повинні бути такими, щоб аналізатор правильно працював з критичними межами – до 5 % для CO та 3 % для CH<sub>4</sub>.

Якщо відключення за рівнем CO неможливо придушити, необхідно звернути особливу увагу на будь-які джерела займання, особливо на обладнання електрофільтрів, що працює під високою напругою. Відключення обладнання високої напруги як таке є крайнім

заходом, до якого вдаватися небажано. Іншими потенційними джерелами займання можуть бути статичні заряди, зумовлені тертям твердих тіл між собою, або також роботою вентиляторів, які можуть виникати в будь-якій системі пилоуловлювання. Критична межа загалом становить  $>8\%$  CO – або  $\text{CH}_4$  – у присутності  $>6\%$   $\text{O}_2$ . На практиці сигнал відключення за рівнем CO швидко проходить через газовий тракт і досягне критичної зони для джерела займання до того, як система аналізу зможе вивести аварійний сигнал. Тому рівень спрацювання повинен бути значно нижчим, ніж теоретичний рівень, а крім того, залежить від концентрацій  $\text{CH}_4$  та  $\text{H}_2$ , особливо у випадку, коли в якості палива використовується природний газ.

Перебої трапляються головним чином на етапі пуску в експлуатацію. Щоб система працювала безпечно, газоаналізатори для захисту електрофільтрів повинні перебувати в роботі на всіх етапах експлуатації. Час простоювання заводу можна скоротити за допомогою резервної системи, яка перебуває в експлуатації.

#### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

Зниження ризиків вибуху, кількості відключень за рівнем CO, викидів CO та пилу (твердих часток).

#### **Міжсередовищні наслідки**

Внаслідок відключень за рівнем CO можуть виникати викиди пилу (твердих часток).

#### **Експлуатаційні параметри**

CO міститься в димових газах з концентраціями до  $0,1\%$  і додатково утворюється з вуглецю, що міститься в сировині.

Повідомляється, що у результаті безперервних вимірювань було отримано значення викидів CO від 200 до 2 200  $\text{mg/m}^3$  н. у. (середньорічне значення) – див. Рисунок 1.34 у розділі 1.3.4.4.2).

Відключення за рівнем CO можуть траплятися з інтервалом у кількох хвилин або навіть секунд, швидко досягаючи граничного рівня перебоїв у роботі (див. розділи 1.3.4.1.1 та 1.4.4.3.1). Частоту відключень за рівнем CO можна звести до мінімуму; повідомляються приклади випадків, коли загальна тривалість відключень знаходилася в діапазоні 1 – 29 хвилин на рік, тобто  $< 0,001 - 0,009\%$  загального часу роботи печі відповідно (див. розділ 1.3.4.1.1) [158, Німеччина, 2007].

Приклади первинних технологій, які можна використовувати для запобігання відключенням за рівнем CO в електрофільтрах, описані у Таблиці 1.38. Стандартні поетапні дії можуть передусім полягати у зменшенні кількості палива, що подається в піч, та зниженні рівня високої напруги. Після цього подавання палива повністю перекривається, і трансформатори високої напруги автоматично вимикаються. Далі систему потрібно продути: для цього вентилятори повинні продовжувати працювати. Необхідний час продування можна визначити таким же чином, як і час запізнення.

**Таблиця 1.38. Приклади первинних технологій для запобігання відключенням за рівнем CO в електрофільтрах**

Первинні технології для запобігання відключенням за рівнем CO		
Точка вимірювання	Рівень CO (%)	Захід
У башті підігрівача	0,5	Аварійний сигнал, вимкнення системи випалювання у попередньому кальцинаторі / у завантажувальному кінці печі
	1,2	Вимкнення основної системи випалювання
	2,5	Вимкнення високої напруги електрофільтра
Після башти підігрівача	0,5	Аварійний сигнал, вимкнення системи випалювання у попередньому кальцинаторі / у завантажувальному кінці печі
	0,8	Вимкнення основної системи випалювання
	1,5	Вимкнення високої напруги електрофільтра
	0,5	Повторний пуск обладнання високої напруги електрофільтра

*Джерело:* [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [83, SEMBUREAU, 2006]

#### **Застосування**

Технології для зменшення кількості відключень за рівнем CO можуть застосовуватися у всіх типах печей.

Застосовуючи пристрій автоматичного моніторингу рівнів CO для безперервного моніторингу димових газів у печах з вторинним випалюванням, можна забезпечити

додаткову експлуатаційну надійність фільтрів шляхом послідовного вимкнення системи випалювання під час відключення за рівнем CO.

Використання різних видів палива, особливо твердого палива, може призвести до нестабільної роботи системи спалювання і спричинити відключення за рівнем CO. Системи подавання палива мають бути сконструйовані таким чином, щоб не допускати різкого викидання палива в пічну систему у жодний момент. З цієї точки зору особливо важливим фактором є властивості твердого палива, що визначають його рух через систему: їх необхідно ретельно контролювати, щоб уникнути затримок у роботі чи забивання систем підготовки та подавання палива.

### *Рукавні фільтри*

З рукавними фільтрами, що експлуатуються в надкритичних атмосферах, також можуть виникати проблеми. Тому робочий рівень CO також слід підтримувати якомога нижчим. Як і в випадку з електрофільтрами, наявність додаткових займистих газоподібних сполук, таких як CH<sub>4</sub> і H<sub>2</sub>, знижує критичний рівень, тобто якщо в системі є приблизно 2 % водню, критичний рівень знижується приблизно до 5 %.

Потенційними джерелами займання, специфічними для рукавних фільтрів, можуть бути статичні заряди, спричинені тертям у штучних фільтрах або, у випадку комбінованих фільтрів (поєднання електрофільтра з рукавним фільтром), накопиченим статичним зарядом на мішках. Для запобігання перебоєм у роботі, особливо вугільних млинів, мішки обладнуються сіткою з волокон, виготовлених з нержавіючої сталі, або провідною поверхнею і заземлюються на комірчасту пластину мішкової камери. Аналогічним чином, у комбінованих пиловловлювачах також рекомендується заземлювати опорну клітку мішків на комірчасту пластину. Як і у випадку з системою електрофільтра, CO потрібно видувати. Вугільні млини бажано продувати інертним газом, таким як пічний газ, CO<sub>2</sub> або N<sub>2</sub>.

### **Економіка**

Дані відсутні.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

Вказівки щодо контролю відключень за рівнем CO (див. розділ 6.2.6) [83, CEMBUREAU, 2006] [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [158, Німеччина, 2007], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### **1.4.5.4 Зниження викидів загального органічного вуглецю (ЗОВ)**

##### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

За звичайних умов викиди летких органічних сполук (ЛОС) загалом низькі, проте можуть бути вищими через високий вміст летких органічних сполук у сировині, що використовується на заводі. Якщо є можливість вибору, природну сировину чи сировину з відходів, що містить велику кількість летких органічних сполук не слід завантажувати в пічну систему через тракт завантаження сировини, а паливо з високим вмістом галогенів не слід використовувати для вторинного випалювання.

У разі появи підвищених концентрацій ЛОС можна розглянути можливість адсорбції на активованому вугіллі, як в інших секторах промисловості.

##### **Міжсередовищні наслідки**

Немає проблем.

##### **Експлуатаційні параметри**

Повідомлені викиди ЗОВ з європейських цементних печей знаходяться в діапазоні від 1 до 40 мг/м<sup>3</sup> н. у. (середньорічне значення) і можуть бути вищими залежно від характеристик сировини (див. розділ 1.3.4.5).

При сумісному спалювання відходів потрібно дотримуватися вимог Части IV та Додатку VI до Директиви 2010/75/EU.

##### **Застосування**

Ці технології, в принципі, можна застосовувати з цементними печами.

**Економіка**

Даних не надано.

**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

**Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[9, SEMBUREAU, листопад 1997], [59, Європейський Союз, 2000], [76, Німеччина, 2006], [97, SEMBUREAU, 2007], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2008].

**1.4.5.5 Зниження викидів хлороводню (HCl) та фтороводню (HF)****Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

Використання сировини та палива з низьким вмістом хлору та фтору дає змогу знизити викиди хлору та фтору (також див. розділи 1.4.3.2 та 1.4.3.3). Крім того, на викиди HCl та HF може впливати застосування технологій, що базуються на вприскуванні абсорбента або використанні скрубера.

Сполуки хлору конденсуються на матеріалах, завантажених у піч, або на пічному пилі за температур від 700 до 900 °С. Вони демонструють циклічну поведінку і можуть насичуватися на ділянці між обертовою піччю та підігрівачем. Використання обхідної лінії у завантажувальному кінці печі дає змогу ефективно зменшити інтенсивність циклів лужних хлоридів. Крім того, використання сировини та палива з низьким вмістом хлору забезпечує слабку циркуляцію хлору і може звести до мінімуму цикл насичення, що виникає внаслідок внутрішньої циркуляції між піччю та підігрівачем.

З фтору, присутнього в обертових печах, від 90 до 95 % захоплюється у клінкері, а решта зв'язується з пилом у вигляді фториду кальцію (CaF<sub>2</sub>), стійкого в умовах процесу випалювання.

**Міжсередовищні наслідки**

Використання обхідної системи (видалення гарячої сировини та гарячого газу) збільшує питоме споживання енергії (див. розділ 1.4.2.1.4) та кількість відходів, які потрібно утилізувати.

**Експлуатаційні параметри**

Найкращі повідомлені експлуатаційні показники викидів HCl знаходилися в діапазоні від 0 до 8 мг/м<sup>3</sup> н. у. (середньорічне значення), проте вони залежать від вмісту хлору в сировині та паливі (див. розділ 1.3.4.8.1).

Найкращі повідомлені експлуатаційні показники викидів HF з цементних печей у перерахунку на HF були нижчими, ніж 0,6 мг/м<sup>3</sup> н. у. (середньорічне значення) (також див. розділ 1.3.4.8.2).

При сумісному спалювання відходів потрібно дотримуватися вимог Частини IV та Додатку VI до Директиви 2010/75/EU.

**Застосування**

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у цементній промисловості.

**Економіка**

Дані відсутні.

**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

**Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[59, Європейський Союз, 2000], [76, Німеччина, 2006], [97, SEMBUREAU, 2007], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2008].

### 1.4.6 Зниження викидів поліхлорованих дибензопарадіоксинів (ПХДД) та поліхлорованих дибензофуранів (ПХДФ)

#### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Цементні печі загалом викидають дуже невелику кількість ПХДД/Ф; проте для мінімізації цих викидів можна застосовувати загальні первинні технології, як-от:

- рівномірний та стабільний пічний процес і робота з параметрами технологічними процесу, близькими до уставок, сприятливо впливають на всі викиди з печі, а також на споживання енергії. Цього можна досягти за допомогою таких заходів:
  - оптимізація керування технологічним процесом, у тому числі застосування комп'ютеризованої системи автоматичного контролю;
  - використання сучасних систем подавання палива;
- мінімізація споживання енергії палива шляхом:
  - застосування підігрівання та попереднього кальцинування з урахуванням існуючої конфігурації пічної системи;
- ретельного вибору та контролю речовин, що подаються у піч;
  - вибору та використання однорідної сировини та палива з низьким вмістом сірки, азоту, хлору, металів та летких органічних сполук, якщо це доцільно на практиці.

Для зведення до мінімуму можливості повторного утворення ПХДД/Ф найважливішими вважаються такі первинні технології:

- швидке охолодження відхідних газів печі до менше ніж 200 °С у довгих печах без підігрівання, що працюють за мокрим та сухим способом. У сучасних печах з підігрівачами та попередніми кальцинаторами ця функція вже закладена;
- обмеження чи уникнення використання відходів у якості сировини, що завантажуються в піч у складі сировинної суміші, якщо вони містять органічні хлоровані речовини;
- відмова від подавання палива з відходів під час пусків та зупинок;
- моніторинг і стабілізація критично важливих параметрів технологічного процесу, тобто однорідності сировинної суміші та палива, що подається в піч, рівномірного дозування та надлишку кисню [86, EURITS, 2006], [88, SINTEF, 2006];
- паливо з високим вмістом галогенів не слід використовувати для вторинного випалювання.

Проте у разі появи підвищених концентрацій ПХДД/ПХДФ можна розглянути можливість адсорбції на активованому вугіллі, як в інших секторах промисловості.

#### Міжсередовищні наслідки

Використання систем швидкого охолодження відхідних газів, у складі яких є система розбризкування води в димоході, може вплинути на енергоефективність.

#### Експлуатаційні параметри

Більшість цементних печей можуть підтримувати рівень викидів 0,1 нг I-TEQ/м<sup>3</sup> н.у., якщо застосовуються первинні технології [88, SINTEF, 2006]. Точкові вимірювання, проведені у 2004 році, показали, що велика кількість усіх видів печей у країнах ЄС-27 та ЄС-23+ здатні підтримувати рівні викидів у діапазоні <0,03 та 0,05 нг I-TEQ/м<sup>3</sup> н.у. шляхом застосування первинних технологій (див. Рисунок 1.39 у розділі 1.3.4.6). Крім того, багато цементних заводів досягли рівнів викидів, що відповідають середньорічним значенням <0,03 нг I-TEQ/м<sup>3</sup> н.у. (див. Рисунок 1.38 у розділі 1.3.4.6).

#### Застосування

Ці технології, в принципі, можна застосовувати з цементними печами. У печах, що працюють за мокрим способом, викиди ПХДД/Ф можна мінімізувати шляхом контролю умов роботи після печі.

#### Економіка

Даних не надано.

#### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

## Приклади заводів та довідкова література

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[86, EURITS, 2006], [88, SINTEF, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

### 1.4.7 Зниження викидів металів

#### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Слід уникати завантаження в пічну систему матеріалів з високим вмістом летких металів. Використання матеріалів з високим вмістом таких летких металів, таких як Hg та Tl, слід особливо ретельно контролювати, оскільки вони створюють більше викидів, ніж інші метали, які можуть зустрічатися в клінкері та пилі. Викиди можна зменшити шляхом ретельного вибору і забезпечення гарантованих характеристик речовин, що потрапляють у піч – наприклад, застосування системи контролю якості, щоб гарантувати потрібні характеристики відходів, які використовуються (див. розділ 1.4.3.2 та 1.4.3.3).

Накопичення металів, особливо талію, у внутрішніх та зовнішніх циклах системи цементної печі призводить до збільшення викидів зі збільшенням часу роботи печі. Цей ефект можна послабити шляхом часткового чи повного припинення цих циклів. Проте, оскільки внутрішні та зовнішні цикли тісно взаємопов'язані, достатньо припинити лише зовнішній цикл. Цього можна досягти, викидаючи зібраний пил з пиловловлювача замість того, щоб повертати його в сировинну муку. Якщо цей викинутий пил цементної печі має належний хімічний склад, його можна додавати безпосередньо на етап подрібнення цементу [27, Університет Карлсруе, 1996].

Оскільки викиди металів (за винятком частини ртуті) великою мірою зв'язані з пилом, стратегії зниження викидів металів передбачені у рамках стратегій зниження викидів пилу. Ефективне видалення пилу зменшує викиди металів. Одним із способів мінімізації викидів ртуті є зниження температури вихлопу. Нелеткі сполуки залишаються у технологічному процесі і викидаються з печі у складі цементного клінкеру. У разі високих концентрацій летких металів (особливо ртуті) потрібно мінімізувати вміст летких металів (особливо ртуті) в матеріалах, і може бути необхідно обмежити кількість цих речовин, що потрапляє в пічну систему (див. розділи 1.3.4.13, 1.4.3.2 та 1.4.3.3).

Крім того, ще одним варіантом є абсорбція на активованому вугіллі. Напівлеткі метали конденсуються у вигляді дрібнодисперсних парів і уловлюються, проте з меншою ефективністю видалення, ніж нелеткі метали. Якщо нелеткі метали були внесені в пічну систему, вони великою мірою захоплюються клінкером (див. розділ 1.3.4.7).

#### Міжсередовищні наслідки

Ефективне видалення пилу також зменшує викиди металів.

#### Експлуатаційні параметри та застосування

У систему можна вприскувати порошкоподібне активоване вугілля, яке адсорбує ртуть. Повідомляється, що ефективність видалення ртуті (як у металевій, так і в іонній формі) за допомогою цього процесу/технології становить близько 85 – 95 %. У результаті викиди Hg становлять 0,01 – 0,03 мг/м<sup>3</sup> н. у. Проте для цього процесу/технології не існує еталонного промислового методу.

Принцип роботи статичного фільтра з активованим вугіллям чи коксом полягає в тому, що ртуть з ПХДД/Ф адсорбується фільтром з активованим вугіллям, виконаним у вигляді насадки з ущільненого шару, яка має модульні перегородки. Застосування цього процесу/технології забезпечує зниження викидів Hg до менш ніж 0,03 мг/м<sup>3</sup> н. у. Фільтр потрібно періодично замінити по мірі його насичення. Відходи – наприклад, активоване вугілля, що містить ПХДД/Ф та інші забруднюючі речовини, як-от ртуть, – є небезпечними відходами, і їх потрібно відповідним чином утилізувати [86, EURITS, 2006]

Проте у країнах ЄС-23+ використовується лише один фільтр з активованим вугіллям – у комуні Зіггенталь, що в Швейцарії (див. розділ 1.4.5.2.3).

Крім того, викидів ртуті у діапазоні  $<0,01 - 0,05$  мг/м<sup>3</sup> н. у. також вдалося досягти без вприскування активованого вугілля, як показано на Рисунку 1.46 (точкові вимірювання) та Рисунку 1.47 (середньорічні значення, див. розділ 1.3.4.7.1).

При сумісному спалювання відходів потрібно дотримуватися вимог Частини IV та Додатку VI до Директиви 2010/75/EU.

### **Економіка**

Система контролю якості, необхідна для забезпечення гарантованих характеристик матеріалів, що подаються в піч, може потребувати додаткових витрат.

Ефективне видалення пилу дає змогу уникнути великих витрат на фільтри з активованим вугіллям.

Для заводу у комуні Зіггенталь, що у Швейцарії, влада міста Цюріх профінансувала близько 30 % загальних інвестиційних витрат, що складала понад 15 мільйонів євро.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

### **Приклади заводів**

Зіггенталь, Швейцарія

### **Довідкова література**

[27, Університет Карлсруе, 1996], [59, Європейський Союз, 2000], [86, EURITS, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

## **1.4.8 Приклади даних щодо інвестиційних та операційних витрат на різні методи та технології зниження вмісту забруднюючих речовини у відхідних газах**

### **1.4.8.1 Приклади даних щодо інвестиційних та операційних витрат на методи та технології зниження пилу у відхідних газах**

У Таблиці 1.39 наведено приклади розрахунків витрат на технології зниження викидів пилу. Розглянуто різні технології зниження викидів пилу, такі як електрофільтри та рукавні фільтри. Змінні експлуатаційні витрати охоплюють витрати на електроенергію, трудові витрати та витрати на утилізацію пилу і окремо описані в цій таблиці. Крім того, основні характеристики різних рукавних фільтрів разом з розцінками на них наведені у розділі 1.4.4.3.2, де у Таблиці 1.32 описані варіанти технічного застосування різних видів волокна. У Таблиці 1.32 зведена інформація за 2003 рік, у якій потрібно враховувати постійні витрати, пов'язані з місцевою вартістю енергії та робочої сили. Слід зазначити, що в Таблиці 1.32 на враховані витрати на заміну фільтрувального матеріалу в рукавних фільтрах.



Таблиця 1.39. Приклади даних про витрати на технології зниження викидів пилу

Інвестиції та витрати на технології зниження викидів пилу					
Параметр	Одиниця вимірювання	Захід/технологія для зниження викидів			
		Електрофільтр		Рукавний фільтр	
Опис еталонної установки		I <sup>(0)</sup>	II	I <sup>(0)</sup>	II
Потужність	т клінкеру/добу	1 100	3 000	1 100	3 000
Термін служби	роки	35		35	
Коефіцієнт використання установки	год./рік	7 680		7 680	
Інвестиційні витрати	тис. євро	1 500	2 100 – 4 600 <sup>(8)</sup> 4 500 – 6000 <sup>(9)</sup>	1750	2 100 – 6 800 <sup>(10)</sup> 4 000 – 8 000 <sup>(11)</sup>
Капітальні витрати, перераховані на рік	тис. євро				
Відсоткова ставка	%/100/рік	4		4	
Термін служби апаратури регулювання	роки	10		10	
Усього	тис. євро	184,94		215,76	
Усього	тис. євро/тону клінкеру	5,25E-04		6,13E-04	
Постійні експлуатаційні витрати	%/рік <sup>(2)</sup>	4		4	
Усього	тис. євро	60		70	
Усього	тис. євро/тону клінкеру	1,70E-04		1,99E-04	
Змінні експлуатаційні витрати	тис. євро/тону клінкеру	3,15E-04		3,77E-04	
Витрати на тону клінкеру	тис. євро/тону клінкеру	1,01E-03		1,19E-03	
Витрати на тону твердих часток <sup>(3)</sup> , викидам яких вдалося запобігти	тис. євро/т твердих часток, викидам яких вдалося запобігти				
Коефіцієнт викидів до зниження викидів <sup>(1)</sup>	т твердих часток/т клінкеру	0,13		0,13	
	мг/м <sup>3</sup> н.у.	56,520		56,520	
Коефіцієнт викидів після зниження викидів <sup>(1)</sup>	т твердих часток/т клінкеру	0,000046		0,000046	
	мг/м <sup>3</sup> н.у.	20		20	
Усього	тис. євро/т твердих часток, викидам яких вдалося запобігти	0,008		0,009	
Загальні експлуатаційні витрати	євро/т клінкеру		0,1 – 0,3		0,1 – 0,35
Визначення змінних експлуатаційних витрат					
Витрати на електроенергію <sup>(4)</sup>					
Додаткова потреба в електроенергії <sup>(λ<sup>c</sup>)</sup> <sup>(5)</sup>	кВт· год./т клінкеру	4,15		5,24	
	кВт	190		240	
Ціна електроенергії <sup>(c<sup>c</sup>)</sup>	євро/кВт· год.	0,0569		0,0569	
Усього	тис. євро/тону клінкеру	2,36E-04		2,98E-04	

Інвестиції та витрати на технології зниження викидів пилу					
Параметр	Одиниця вимірювання	Захід/технологія для зниження викидів			
		Електрофільтр		Рукавний фільтр	
<b>Трудові витрати (6)</b>					
Потреба в робочій силі (λ <sup>1</sup> )	людино-рік/т клінкеру	2,13E-06		2,13E-06	
Заробітна плата (c <sup>1</sup> )	тис. євро/людино-рік	37,234		37,234	
Усього	тис. євро/тону клінкеру	7,93E-05		7,93E-05	
<b>Витрати на утилізацію пилу (7)</b>					
Усього	тис. євро/тону клінкеру	0		0	
<b>Загальні змінні експлуатаційні витрати</b>	тис. євро/тону клінкеру	3,15E-04		3,66E-04	

тис. євро = тисяча євро  
 (0) Дані за 2000 рік, еталонний цементний завод потужністю 1 100 тонн на добу, що представляє середнє значення для країн ЄС-15 у 1995 році  
 (1) 10 % O<sub>2</sub> та сухий газ  
 (2) Інвестицій  
 (3) Перерозподіл на 50 % за рахунок електрофільтра та 50 % за рахунок рукавного фільтра; використовується середнє значення між електрофільтром та рукавним фільтром  
 (4) Витрати на електроенергію = λ<sup>e</sup> • c<sup>e</sup>/10<sup>3</sup> (тис. євро/т)  
 (5) Додаткова потреба в електроенергії = нове загальне споживання - старе загальне споживання  
 (6) Трудові витрати = λ<sup>1</sup> • c<sup>1</sup> (тис. євро/т)  
 (7) Витрати на утилізацію пилу = λ<sup>d</sup> • c<sup>d</sup> • e<sup>f</sup><sub>до зниження викидів</sub> • η/10<sup>3</sup> (тис. євро/т)  
 E<sup>f</sup><sub>до зниження викидів</sub>: коефіцієнт викидів забруднюючих речовин до зниження викидів (тонна забруднюючої речовини/тону)  
 e<sup>d</sup>: потреба в утилізації пилу (тонна/тону видаленої забруднюючої речовини)  
 c<sup>d</sup>: питома вартість утилізації пилу (євро/т)  
 η: ефективність видалення (=1-e<sup>f</sup><sub>після зниження викидів</sub>/e<sup>f</sup><sub>до зниження викидів</sub>)  
 (8) Дані за 2000 рік, включно з інвестиційними витратами на колону-кондиціонер та вентилятор фільтра (0,6 мільйона – 0,8 мільйона євро)  
 (9) Дані за 2006 рік  
 (10) Включно з інвестиційними витратами на колону-кондиціонер та вентилятор фільтра (0,6 мільйона – 0,8 мільйона євро)  
 (11) Для ефективності відділення >99,9 %, залежно від типу і кількості фільтрувальних мішків, що використовуються  
 Джерело: [9, SEMBUREAU, листопад 1997], [76, Німеччина, 2006], [100, Франція, 2006], [102, Франція / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (DFIU) / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (IFARE) в Університеті Карлсруе, 2003], [103, SEMBUREAU, 2006], [168, TRG «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, TRG «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008]

#### 1.4.8.2 Приклади даних щодо інвестиційних та операційних витрат на методи та технології зниження оксидів азоту у відхідних газах

У Таблиці 1.40 наведено приклади розрахунків витрат на технології зниження викидів NO<sub>x</sub> для еталонного цементного заводу з потужністю, яка відповідає середньому значенню для країн ЄС-15 у 1995 році (1 100 т/добу), та приклади заводів різних потужностей. Досліджені технології зниження викидів NO<sub>x</sub> – це СНКВ, СКВ та первинні технології для NO<sub>x</sub>. Змінні експлуатаційні витрати охоплюють витрати на електроенергію, трудові витрати та витрати на аміак, використаний для СНКВ, і окремо описані в цій таблиці.

Крім того, у розділі 6.2.4.2, в Таблиці 6.26, наведено порівняння витрат на технології зниження викидів NO<sub>x</sub> – СНКВ та СКВ – виконане Німецьким агентством охорони навколишнього середовища (UBA) для німецького заводу. Як інвестиційні, так і експлуатаційні витрати були розраховані для різних досягнутих рівнів NO<sub>x</sub>, тобто 200 та 500 мг/м<sup>3</sup>.н. у. Як видно з Таблиці 6.26, експлуатаційні витрати на СНКВ та СКВ – включно з витратами на заміну каталізатора – приблизно однакові для цільового рівня NO<sub>x</sub> у 500 мг/м<sup>3</sup>.н. у., в той час як загальні питомі витрати для СКВ приблизно на 50 % більші, ніж для СНКВ. За цільового рівня NO<sub>x</sub> у 200 мг/м<sup>3</sup>.н. у. СКВ, вочевидь, є більш ефективною технологією з точки зору експлуатаційних витрат, однак загальні питомі витрати залишаються величиною того ж порядку, що й для СНКВ [76, Німеччина, 2006].

Таблиця 1.40. Приклади витрат на технології зниження викидів NO<sub>x</sub>

Інвестиції та витрати на технології зниження викидів NO <sub>x</sub>						
Параметр	Одиниця вимірювання	Захід/технологія для зниження викидів <sup>(1)</sup>				
		Первинні заходи/технології для NO <sub>x</sub> <sup>(0)</sup>	Охолодження полум'я <sup>(8)</sup>	Ступінчасте <sup>(7)</sup> спалювання	СНКВ <sup>(0)</sup>	СКВ
<b>Опис еталонної установки</b>						
Потужність	т клінкеру/добу	1 100	3 000	3 000	1 100	1 500 <sup>(7)</sup>
Потужність	т клінкеру/рік	352 000				
Термін служби	роки	35			35	
Коефіцієнт використання установки	год./рік	7 680			7 680	
<b>Інвестиційні витрати</b>	мільйони євро	0,25	до 0,2	0,1 – 2 <sup>(8)</sup> 1 – 4 <sup>(9)</sup> 15 – 20 <sup>(10)</sup>	0,6	
<b>Питомі інвестиційні витрати</b>	євро/т клінкеру				0,08 – 0,14 <sup>(7)</sup>	0,83 – 0,87 <sup>(7)</sup>
<b>Капітальні витрати, перераховані на рік</b>	тис. євро					
Відсоткова ставка	%/100/рік	4			4	
Термін служби апаратури регулювання	роки	8			10	
Усього	тис. євро	37,13			166,97	
Усього	тис. євро/ т клінкеру	1,05 E-04	до 2,5E-04		4,74E-04	
<b>Постійні експлуатаційні витрати</b>	%/рік <sup>(2)</sup>	4			4	
Усього	тис. євро	10			24	
Усього	тис. євро/ т клінкеру	2,84E-05			6,82 E-05	
<b>Змінні експлуатаційні витрати</b>	тис. євро/ т клінкеру	2,64 E-05			5,69 E-04	
<b>Витрати на тону клінкеру</b>	тис. євро/т клінкеру	1,60 E-04			1,11 E-03	
<b>Витрати на тону NO<sub>x</sub> <sup>(3)</sup>, викидам яких вдалося запобігти</b>	тис. євро/т NO <sub>x</sub> , викидам яких вдалося запобігти				330 – 450 <sup>(7)</sup>	470 – 540 <sup>(7)</sup>
Коефіцієнт викидів до зниження викидів <sup>(1)</sup>	т NO <sub>x</sub> /т клінкеру	0,00322			0,002415	
	мг/м <sup>3</sup> н.у.	1 400			1 050	
Ефективність зниження викидів <sup>(1)</sup>	%	25			62	
Усього	тис. євро/т NO <sub>x</sub> , викидам яких вдалося запобігти	0,2			0,74	
<b>Витрати на заміну каталізаторів</b>	євро/т клінкеру					0,10 – 0,13 <sup>(7)</sup>
<b>Визначення змінних експлуатаційних витрат</b>						
<b>Витрати на електроенергію <sup>(3)</sup></b>						
Додаткова потреба в електроенергії <sup>(4)</sup>	кВт· год./т клінкеру	0,44			0,13	
	кВт	20			5,96	
Ціна електроенергії <sup>(5)</sup>	євро/кВт· год.	0,0569			0,0569	
Усього	тис. євро/ т клінкеру	2,48 E-05			7,40 E-06 0,03 – 0,06 <sup>(7)</sup>	0,10 – 0,11 <sup>(7)</sup>
<b>Витрати на аміак <sup>(6)</sup></b>						
Резервуар для зберігання водного розчину NH <sub>3</sub>	мільйони євро					
e <sub>f</sub> до зниження викидів	т забруднюючої речовини т клінкеру	-			0,002415	

Інвестиції та витрати на технології зниження викидів NO <sub>x</sub>						
Параметр	Одиниця вимірювання	Захід/технологія для зниження викидів (1)				
		Первинні заходи/технології для NO <sub>x</sub> (6)	Охолодження (8)	Ступінчасте (7) спалювання	СНКВ (9)	СКВ
Відношення NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> (моль/моль) для викинутих NO <sub>x</sub>		-			1,5	
Питома потреба у NH <sub>3</sub> (λ <sup>3</sup> )	т/т видаленої забруднюючої речовини	-			0,89	
Ціна NH <sub>3</sub> (с <sup>3</sup> )	євро/т	-			0,26 – 0,64 (7) 400	0,13 – 0,26 (7)
Ефективність видалення (η)	%	-			62	
Усього	тис. євро/ т клінкеру	-			5,36 E-04	
<b>Трудові витрати (5)</b>						
Потреба в робочій силі (λ <sup>1</sup> )	людино-рік/ т клінкеру	7,10 E-07			7,10 E-07	
Заробітна плата (с <sup>1</sup> )	тис. євро/ людино-рік	37,234			37,234	
Усього	тис. євро/ т клінкеру	2,64 E-05			2,64 E-05	
<b>Загальні змінні експлуатаційні витрати</b>	тис. євро/т	2,48 E-05			5,69 E-04 0,30 – 0,70 (7)	0,33 – 0,70 (7)
<b>Загальні витрати (інвестиційні та експлуатаційні)</b>	євро/ т клінкеру				0,38 – 0,62 (7) 0,85 (11)	0,83 – 0,87 (7) 2,3 (11)

тис. євро = тисяча євро  
 (0) Дані за 2000 рік, еталонний цементний завод потужністю 1 100 тонн на добу, що представляє середнє значення для країн ЄС-15 у 1995 році  
 (1) 10 % O<sub>2</sub> та сухий газ  
 (2) Інвестицій  
 (3) Витрати на електроенергію = λ<sup>3</sup> • с<sup>3</sup>/10<sup>3</sup> (тис. євро/т)  
 (4) Додаткова потреба в електроенергії = нове загальне споживання - старе загальне споживання  
 (5) Трудові витрати = λ<sup>1</sup> • с<sup>1</sup> (тис. євро/т)  
 (6) Витрати на аміак = λ<sup>d</sup> • с<sup>d</sup> • еf<sub>до зниження викидів</sub> • η/10<sup>3</sup> (тис. євро/т)  
 еf<sub>до зниження викидів</sub>: коефіцієнт викидів забруднюючих речовин до зниження викидів (тонна забруднюючої речовини/тону)  
 λ<sup>d</sup>: питома потреба в NH<sub>3</sub> (т/т видаленої забруднюючої речовини)  
 с<sup>d</sup>: питома вартість утилізації пилу (євро/т)  
 η: ефективність видалення (=1-еf<sub>після зниження викидів</sub>/еf<sub>до зниження викидів</sub>)  
 (7) Німеччина, залежно від рівня зниження викидів NO<sub>x</sub> – до 500 або 200 мг/м<sup>3</sup> н. у.  
 (8) Піч з попереднім кальцинатором  
 (9) Попередній кальцинатор та канал третинного повітря для перетворення печі потужністю 3 000 т/добу з підігрівачем та колосниковим холодильником на піч з попереднім кальцинатором  
 (10) Перетворення печі потужністю 3 000 т/добу з підігрівачем та рекуператорним холодильником на піч з попереднім кальцинатором та колосниковим холодильником  
 (11) Австрія  
 Джерело: [76, Німеччина, 2006], [85, SEMBUREAU, 2006], [100, Франція, 2006], [102, Франція / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (DFIU) / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (IFARE) в Університеті Карлсруе, 2003], [105, YARA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008]

### 1.4.8.3 Приклади даних щодо інвестиційних та операційних витрат на методи та технології зниження оксидів сірки у відхідних газах

У Таблиці 1.41 наведено приклади розрахунків витрат на технології зниження викидів SO<sub>x</sub> для еталонного цементного заводу потужністю 1 100 т/добу. Досліджені технології зниження викидів SO<sub>x</sub> – це вприскування абсорбента та/або мокрі скрубери. Змінні експлуатаційні витрати охоплюють витрати на електроенергію, трудові витрати, витрати

на утилізацію відходів та вапно і окремо описані в цій таблиці.

Таблиця 1.41. Приклади витрат на технології зниження викидів SO<sub>x</sub>

Інвестиції та витрати на технології зниження викидів SO <sub>x</sub>			
	Одиниця вимірювання	Захід/технологія для зниження викидів	
		Вприскування абсорбента (°)	Мокрий скруббер 75 % (°)
<b>Опис еталонної установки</b>			
Потужність	т клінкеру/добу	1 100	1 100
Потужність	т клінкеру/рік	352 000	352 000
Витрата відхідних газів (1)	м <sup>3</sup> н. у./год.		105 417
Термін служби	роки	35	35
Коефіцієнт використання установки	год./рік	7 680	7 680
<b>Інвестиційні витрати</b>	тис. євро	200	5 500
<b>Капітальні витрати, перераховані на рік</b>	тис. євро		
Відсоткова ставка	%/100/рік	4	4
Термін служби апаратури регулювання	роки	10	10
Усього	тис. євро	24,66	678,10
Усього	тис. євро/т клінкеру	7,01E-05	1,93E-03
<b>Постійні експлуатаційні витрати</b>	%/рік (2)	4	4
Усього	тис. євро	8	220
Усього	тис. євро/т клінкеру	2,27E-05	6,25E-04
<b>Змінні експлуатаційні витрати</b>	тис. євро/т клінкеру	6,98E-04	6,06E-04
<b>Витрати на тону клінкеру</b>	тис. євро/т клінкеру	7,91E-04	3,16E-03
<b>Витрати на тону SO<sub>x</sub>, викидам яких вдалося запобігти</b>	тис. євро/т SO <sub>x</sub> , викидам яких вдалося запобігти		
Коефіцієнт викидів до зниження викидів	т SO <sub>x</sub> /т клінкеру	0,0023	0,00368
	мг/м <sup>3</sup> н.у.	1000	1 600
Ефективність зниження викидів	%	60	75
Усього	тис. євро/т SO <sub>x</sub> , викидам яких вдалося запобігти	0,573	1,144
<b>Визначення змінних експлуатаційних витрат</b>			
<b>Витрати на електроенергію (3)</b>			
Додаткова потреба в електроенергії (λ <sup>с</sup> ) (4)	кВт· год./т клінкеру	1,53	8,18
	кВт	70	375
Ціна електроенергії (с <sup>с</sup> )	євро/кВт· год.	0,0569	0,0569
Усього	тис. євро/т клінкеру	8,69E-05	4,66E-04
<b>Витрати на оброблення відходів</b>			
Коефіцієнт викидів забруднюючої речовини до зниження викидів (ε <sub>до зниження викидів</sub> ) (6)	т забруднюючої речовини/т клінкеру	0,0023	-
Потреба в обробленні відходів (λ <sup>с</sup> )	т/т видаленої забруднюючої речовини	0	-
Питома вартість оброблення відходів (с <sup>с</sup> )	євро/т		-
Ефективність видалення (η)	%	60	-
Усього	тис. євро/т клінкеру	0	0
<b>Витрати на вапно / витрати на вапняк</b>			
Коефіцієнт викидів забруднюючої речовини до зниження викидів (ε <sub>до зниження викидів</sub> ) (6)	т забруднюючої речовини/т клінкеру	0,0023	0,00368
	Відношення Ca/S (моль/моль) для викинутих SO <sub>x</sub>	2,2	
	Відношення Ca/S (моль/моль) для видалених SO <sub>x</sub>		1,02

Інвестиції та витрати на технології зниження викидів SO <sub>x</sub>			
	Одиниця вимірювання	Захід/технологія для зниження викидів	
		Вприскування абсорбента (°)	Мокрий скруббер 75 % (°)
Питома потреба у сорбенті (λ <sup>s</sup> )	т вапна/т видаленої забруднюючої речовини	4,24	-
Питома потреба у вапняку (λ <sup>s</sup> )	т вапна/т видаленої забруднюючої речовини		1,59
Ціна сорбенту (с <sup>s</sup> )	євро/т	100	20
Ефективність видалення (η)	%	60	75
Усього	тис. євро/т клінкеру	5,85E-05	8,80E-05
<b>Трудові витрати (°)</b>			
Потреба в робочій силі (λ <sup>l</sup> )	людино-рік/т клінкеру	7,10E-07	1,42E-06
Заробітна плата (с <sup>l</sup> )	тис. євро/людино-рік	37,234	37,234
Усього	тис. євро/т клінкеру	2,64E-05	5,29E-05
<b>Загальні змінні експлуатаційні витрати</b>	тис. євро/т клінкеру	6,98E-04	6,06E-04

тис. євро = тисяча євро  
 (°) Дані за 2000 рік, еталонний цементний завод потужністю 1 100 тонн на добу, що представляє середнє значення для країн ЄС-15 у 1995 році  
 (1) 10 % O<sub>2</sub> та сухий газ  
 (2) Інвестицій  
 (3) Витрати на електроенергію = λ<sup>e</sup> • с<sup>e</sup>/10<sup>3</sup> (тис. євро/т)  
 (4) Додаткова потреба в електроенергії = нове загальне споживання - старе загальне споживання  
 (5) Трудові витрати = λ<sup>l</sup> • с<sup>l</sup> (тис. євро/т)  
 (6) Витрати на вапно = λ<sup>s</sup> • с<sup>s</sup> • еf<sub>до зниження викидів</sub> • η/10<sup>3</sup> (тис. євро/т)  
 еf<sub>до зниження викидів</sub>: коефіцієнт викидів забруднюючих речовин до зниження викидів (тонна забруднюючої речовини/тону)  
 λ<sup>s</sup>: питома потреба у вапні (т/т видаленої забруднюючої речовини)  
 с<sup>s</sup>: ціна вапна (євро/т)  
 η: ефективність видалення (=1-еf<sub>після зниження викидів</sub>/еf<sub>до зниження викидів</sub>)

Джерело: [100, Франція, 2006], [102, Франція / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (DFIU) / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (IFARE) в Університеті Карлсруе, 2003], [168, TRF «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]

### 1.4.9 Технологічні втрати / відходи

#### Опис

Зібраний пил можна повернути у процеси виробництва для переробки, якщо це практично можливо. Така переробка може здійснюватися безпосередньо в печі або в матеріалах, що завантажуються в піч (обмежувальним фактором тут є вміст лужних металів), чи шляхом змішування з готовою цементною продукцією. Для матеріалу, який неможливо переробити, можна знайти альтернативні способи використання.

#### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Зменшення кількості відходів, що утворюються у технологічному процесі, водночас із заощадженням сировини.

#### Міжсередовищні наслідки

Вміст металів у зібраному пилі є чинником, що обмежує використання зібраного пилу у якості сировини і може несприятливо впливати на викиди металів.

Крім того, вміст хлору у зібраному пилі є чинником, що обмежує використання зібраного пилу, і його переробку потрібно адаптувати таким чином, щоб дотримуватися вимог до якості продукції (завантаження в піч або перемішування з готовою цементною продукцією).

#### Експлуатаційні параметри

Даних не надано.

#### Застосування

Повторне використання технологічних втрат / відходів, в принципі, може застосовуватися в цементній промисловості (див. розділ 1.3.5).

**Економіка**

Даних не надано.

**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

**Приклади заводів та довідкова література**

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

[86, EURITS, 2006], [88, SINTEF, 2006], [75, Естонія, 2006], [103, SEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007].

**1.4.10 Шум****Опис**

У цьому розділі розглядаються можливості зниження рівня шуму, що створюється на кількох етапах технологічних процесів виробництва цементу.

Шумове випромінювання часто можна знизити шляхом застосування технологій безпосередньо у джерелі шуму. Джерелами шуму є, наприклад, процеси видобування та обробки сировини, а також виробництво цементу/клинкеру, дробарки, помельні агрегати та агрегати підготовки, самі цементні печі – наприклад, млини для остаточного помелу цементу, стрічкові конвеєри, фільтрувальні агрегати, охолоджувальні системи печей, такі як рекуператорні холодильники, тощо. Шумове випромінювання характерне для всього технологічного ланцюжка – від підричних робіт у кар'єрі до транспортування готової продукції.

Для зниження рівнів шуму з метою захисту сусідніх районів на цементних заводах можна застосовувати різні технології боротьби з шумом, як-от:

- огороження шумних агрегатів кожухами;
- влаштування віброізоляції агрегатів;
- обшивання жолобів внутрішньою та зовнішньою футеровкою зі стійкого матеріалу;
- звукоізольовані будівлі для укриття будь-яких операцій з участю обладнання, яке перетворює матеріали;
- спорудження шумозахисних стін;
- вихідні шумоглушники на відхідних димових трубах;
- обшивання ізоляцією каналів та, зрештою, повітродувів, розташованих у звукоізольованих будівлях;

Якщо перелічені вище технології зниження рівня шуму неможливо застосувати, і якщо шумні агрегати неможливо перенести всередину будівлі (наприклад, через розмір печей та їх оснащення), потрібно застосовувати вторинні технології захисту від шуму – наприклад, спорудження будівель чи природних бар'єрів, як-от вирощування дерев та кущів між зоною, яку потрібно захистити, та місцем шумної діяльності (наприклад, піччю або складським майданчиком). Під час шумних операцій двері та вікна критих ділянок слід тримати закритими.

**Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Зниження шумового випромінювання.

**Міжсередовищні наслідки**

Немає проблем.

**Експлуатаційні параметри**

Дані відсутні.

**Застосування**

Технології для зниження рівня шуму, в принципі, можна застосовувати у цементній промисловості (див. розділ 1.3.7).

### Економіка

Технології захисту від шуму можуть потребувати додаткових інвестиційних витрат та витрат на технічне обслуговування.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

### Приклади заводів та довідкова література

Цементні заводи у країнах ЄС-27.

Детальніша інформація про зниження рівня шуму та схему зниження рівня шуму наведена у частині, присвяченій вапняній промисловості, у розділі 2.4.10.

[45, Шорхт, 2006] [81, Castle Cement, Велика Британія, 2006] [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

#### 1.4.11 Загальні аспекти щодо методів зменшення запахів

Неприємних запахів, зумовлених викидами вуглеводнів, можна уникнути за допомогою теплового допалювання, використання фільтрів з активованим вугіллем або подавання сировини, яка є джерелом неприємного запаху, у гарячу зону печі.

Якщо поява неприємного запаху зумовлена сполуками сірки, проблему може вирішити зміна палива та/або сировини – також див. розділ 1.4.5.2.

Неприємні запахи також можуть бути спричинені зберіганням відходів, що використовуються у якості сировини чи палива. Місця зберігання відходів можна зробити критими, або можна використовувати системи сховищ для відходів.

#### 1.4.12 Інструменти управління навколишнім середовищем

##### Опис

Формальна система для демонстрації виконання екологічних цілей.

##### Технічний опис

За визначенням у Директиві, «технологіями» (що підпадають під визначення «найкращих доступних технологій та методів управління») вважаються «як технології, що використовуються на установці, так і способи проєктування, будівництва, технічного обслуговування, експлуатації установки та її виведення з експлуатації».

У цьому контексті система управління навколишнім середовищем (EMS) – це технологія, яка дає змогу операторам установок систематично і явно вирішувати екологічні проблеми. Системи управління навколишнім середовищем є найбільш дієвими та ефективними у тому випадку, коли вони є невід'ємною частиною загального управління та експлуатації установки.

Система управління навколишнім середовищем зосереджує увагу оператора на екологічних показниках установки – зокрема, шляхом застосування чітких експлуатаційних процедур як для нормальних, так і відмінних від нормальних умов роботи, а також шляхом встановлення пов'язаних з ними сфер відповідальності.

У всіх дієвих системах управління навколишнім середовищем впроваджена концепція безперервного вдосконалення, яка означає, що управління навколишнім середовищем є постійним процесом, а не проєктом, який зрештою завершується. Існують різні структури процесів, проте більшість систем управління навколишнім середовищем базуються на циклі «планування – виконання – перевірка – вжиття заходів» (який широко застосовується в інших аспектах керування компанією). Цикл є ітеративною динамічною моделлю, у якій завершення одного циклу перетікає у початок іншого (див. Рисунок 1.70).





**Рисунок 1.70.** Безперервне вдосконалення у моделі системи управління навколишнім середовищем

Система управління навколишнім середовищем може бути реалізована як стандартизована або нестандартизована («індивідуальна») система. Реалізація та дотримання визнаної на міжнародному рівні стандартизованої системи, такої як EN ISO 14001:2004, може посилити достовірність результатів, отриманих за допомогою системи управління навколишнім середовищем, особливо якщо вона пройшла належним чином виконану зовнішню верифікацію. Схема екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) додатково посилює достовірність завдяки взаємодії з громадськістю через звіти про вплив на навколишнє середовище та механізм забезпечення дотримання застосовного законодавства щодо охорони навколишнього середовища. Проте нестандартизовані системи можуть, в принципі, бути не менш ефективними, за умови, що вони належним чином спроектовані та реалізовані.

Як стандартизовані системи (за стандартом EN ISO 14001:2004 та Схемою екологічного менеджменту та аудиту – EMAS), так і нестандартизовані системи, по суті, стосуються **організацій**, у той час як в даному документі використовується більш вузький підхід: цей документ не охоплює всі види діяльності організацій (наприклад, пов'язані з їх продукцією та послугами), оскільки Директива регулює лише **установки/заводи**.

Система управління навколишнім середовищем може складатися з таких компонентів:

1. цілеспрямована політика керівництва, у тому числі вищого керівництва;
2. визначення політики у сфері охорони навколишнього середовища, у складі якої передбачене постійне вдосконалення установки керівництвом;
3. планування та впровадження необхідних процедур, цілей та цільових показників у поєднанні з фінансовим плануванням та інвестиціями;
4. реалізація процедур з особливою увагою до таких моментів:
  - (a) структура та відповідальність;
  - (b) навчання, обізнаність та компетенція;
  - (c) зв'язок;
  - (d) залучення працівників;
  - (e) документація;

- (f) ефективне керування технологічними процесами;
  - (g) програми технічного обслуговування;
  - (h) аварійна готовність та реагування;
  - (i) забезпечення дотримання законодавства щодо охорони навколишнього середовища;
5. перевірка робочих показників та вживання заходів для усунення порушень з особливою увагою до таких моментів:
    - (a) моніторинг та вимірювання (також див. Довідковий документ щодо загальних принципів моніторингу) [151, Європейська комісія, 2003];
    - (b) заходи з усунення та профілактики порушень;
    - (c) ведення записів;
    - (d) незалежний (якщо це доцільно) внутрішній та зовнішній аудит, метою якого є визначити, чи відповідає система управління навколишнім середовищем запланованим механізмам, і чи правильно вона реалізована та підтримується;
  6. перевірка системи управління навколишнім середовищем та її відповідності сучасним вимогам, адекватності та дієвості вищим керівництвом;
  7. підготовка регулярних звітів про вплив на навколишнє середовище;
  8. затвердження сертифікаційним органом або стороннім перевіряльником систем управління навколишнім середовищем;
  9. наступна розробка екологічно чистіших технологій;
  10. врахування впливу майбутнього виведення установки з експлуатації на навколишнє середовище на етапі проектування нового заводу та протягом його терміну експлуатації;
  11. систематичне застосування бенчмаркінгу шляхом зіставлення з іншими секторами за еталонними показниками.

### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Система управління навколишнім середовищем заохочує і підтримує безперервне вдосконалення екологічних показників установки. Якщо установка вже має хороші загальні екологічні показники, система управління навколишнім середовищем допомагає оператору підтримувати показники на високому рівні.

### **Екологічні показники та експлуатаційні параметри**

Оператор узгоджено керує всіма суттєвими статтями споживання ресурсів (у тому числі енергетичних) та викидів з огляду на коротко-, середньо- та довготермінову перспективу у поєднанні з фінансовими плануванням та інвестиційними циклами. Це означає, що, наприклад, адаптація короткотермінових рішень, які застосовуються у кінці виробничого циклу, до конкретних ситуацій з викидами може вимагати від оператора збільшити споживання енергії у довготерміновій перспективі та відкласти інвестиції у рішення, які потенційно є вигіднішими для навколишнього середовища загалом. Для цього потрібно врахувати деякі міжсередовищні наслідки: вказівки щодо них та питання розцінок і фінансових вигод викладені у Довідковому документі щодо економічних та міжсередовищних наслідків [179, Європейська комісія, 2006] та у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для енергоефективності [181, Європейська комісія, 2008].

### **Міжсередовищні наслідки**

Не повідомлялося. Систематичний аналіз початкових впливів на навколишнє середовище та можливостей для вдосконалення у контексті системи управління навколишнім середовищем створює основу для оцінки найкращих рішень для всіх компонентів навколишнього середовища.

### **Технічні міркування щодо застосовності**

Описані вище компоненти зазвичай можна застосовувати до всіх установок, що належать до змісту цього документа. Обсяг (наприклад, ступінь деталізації) та характер системи управління навколишнім середовищем (наприклад, стандартизована чи нестандартизована) буде пов'язаний з характером, масштабом та складністю установки та діапазоном впливів на навколишнє середовище, які вона може створювати.

### **Економіка**

Вартість та економічні переваги впровадження та підтримання хорошої системи управління навколишнім середовищем важко точно визначити. З використанням системи управління навколишнім середовищем також пов'язані економічні вигоди, які значно різняться залежно від сектору промисловості.

Зовнішні витрати, пов'язані з верифікацією системи, можна оцінити за методичним керівництвом, випущеним Міжнародним форумом з акредитації (IAF) [186, Міжнародний форум з акредитації, 2010].

#### **Рушії для впровадження**

До рушіїв для впровадження системи управління навколишнім середовищем належать такі чинники:

- кращі екологічні показники;
- поглиблене розуміння екологічних аспектів діяльності компанії, яким можна користуватися для виконання екологічних вимог, висунутих клієнтами, регуляторними органами, банками, страховими компаніями чи іншими зацікавленими сторонами (наприклад, людьми, що проживають чи працюють поблизу установки);
- краща основа для прийняття рішень;
- краща мотивація персоналу (наприклад, керівники можуть бути певні, що впливи на навколишнє середовище перебувають під контролем, а працівники можуть відчувати, що працюють в екологічно відповідальній компанії);
- додаткові можливості зниження експлуатаційних витрат та покращення якості продукції;
- краща репутація компанії;
- зменшення витрат, зумовлених відповідальністю, страхових витрат та стягнень за недотримання вимог.

#### **Приклади заводів**

Ряд установок у всьому ЄС застосовує системи управління навколишнім середовищем.

#### **Довідкова література**

Регламент Європейської комісії щодо схеми екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) № 1221/2009 [189, Європейський Союз, 2009].

Сайт Схеми екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) Генерального директорату Європейської комісії з питань навколишнього середовища. [188, Генеральний директорат Європейської комісії з питань навколишнього середовища, 2010]

EN ISO 14001: 2004

Сайт сімейства стандартів ISO 14000. [187, ISO, 2004]

Технічний комітет ISO 14000. [190, ISO, 2010]

## 1.5 Перспективні технології у цементній промисловості

### 1.5.1 Технологія виготовлення цементу на основі псевдозрідженого шару

Технологія спікання цементу за допомогою системи цементної печі на основі псевдозрідженого шару – це проект, який частково фінансується Міністерством міжнародної торгівлі та промисловості Японії з 1986 року. Дослідно-промислова установка потужністю 20 тонн клінкеру/добу експлуатувалася протягом шести років, з 1989 по 1995 рік, компанією Sumitomo Osaka Cement Co. Ltd на заводі у префектурі Тотігі в Японії. У кінці 1995 року була побудована великомасштабна дослідно-промислова установка потужністю 200 тонн клінкеру/добу.

Конфігурація системи цементної печі з псевдозрідженим шаром потужністю 20 тонн клінкеру/добу зображена на Рисунку 1.71. Система складається з установки підігрівання у зваженому стані (УПЗС), печі гранулювання з фонтануючим шаром (ПФШ), печі спікання з псевдозрідженим шаром (ППШ), холодильника швидкого охолодження зі псевдозрідженим шаром (ХПШ) та холодильника з ущільненим шаром (ХУШ) та холодильника з ущільненим шаром.

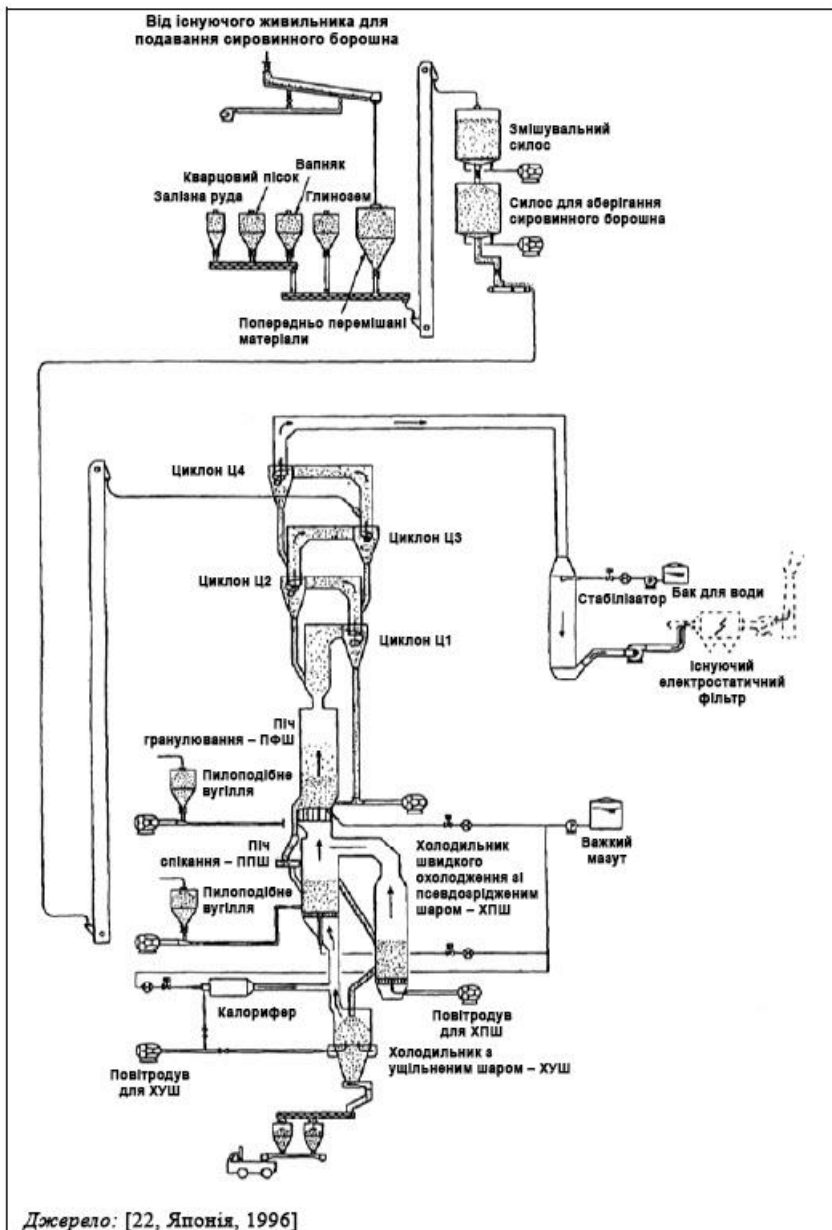


Рисунок 1.71. Цементна піч з псевдозрідженим шаром

Установка підігрівання у зваженому стані – це звичайний чотириступеневий циклонний підігрівач, який підігріває і кальцинує сировинну муку. Піч гранулювання перетворює сировинну муку у гранули діаметром близько 1,5 – 2,5 мм за температури 1300 °С. У печі спікання завершується спікання гранул за температури 1400 °С. Холодильник швидкого охолодження з псевдозрідженим шаром швидко охолоджує цементний клінкер з 1400 до 1000 °С. Насамкінець, цементний клінкер охолоджується приблизно до 100 °С у холодильнику з ущільненим шаром.

У печі з псевдозрідженим шаром виготовляється цементний клінкер такої ж або кращої якості, ніж цементний клінкер з промислових установок. Викиди  $\text{NO}_x$  становлять 115 – 190 мг/ м<sup>3</sup> н. у. у разі використання в якості палива важкого мазуту та 440 – 515 мг/ м<sup>3</sup> н. у. у разі використання пилоподібного вугілля (у перерахунку на 10 %  $\text{O}_2$ ). Згідно з техніко-економічним обґрунтуванням для установки потужністю 3 000 тонн клінкеру/добу, споживання тепла можна знизити на 10 – 12 % у порівнянні з обертовою піччю, обладнаною установкою підігрівання у зваженому стані та колосниковим холодильником, тож очікується, що викиди  $\text{CO}_2$  можна знизити на 10 – 12 %.

Кінцеві цільові показники технічної розробки системи цементної печі з псевдозрідженим шаром (згідно з техніко-економічним обґрунтуванням для установки потужністю 3 000 тонн клінкеру/добу, та за результатами, отриманими для дослідно-промислової установки потужністю 20 тонн/добу) є такими:

- Зниження споживання тепла на 10 – 12 %.
- Зниження викидів  $\text{CO}_2$  на 10 – 12 %.
- Рівень викидів  $\text{NO}_x$  – 380 мг/ м<sup>3</sup> н. у. або менше (у перерахунку на 10 %  $\text{O}_2$ ).
- Підтримання поточного рівня викидів  $\text{SO}_x$ .
- Зниження вартості будівництва на 30 %.
- Зменшення площі, яку займає установка, на 30 %.

### 1.5.2 Ступінчасте спалювання у поєднанні з СНКВ

Теоретично, поєднання ступінчастого спалювання та СНКВ може бути зіставним з СКВ. Постачальники вважають це поєднання дуже перспективним. Деякі результати використання СКВ наведені у розділі 1.4.5.1.8.

### 1.5.3 Очищення димових газів цементної печі сухим гідрокарбонатом натрію та його повторне використання

#### Опис

Розглядається можливість використання цього процесу/технології для знесірчення димових газів, що виходять із цементних печей, – особливо у випадках, коли в якості палива використовуються відходи. Для досягнення високого ступеня зниження викидів  $\text{SO}_2$  разом з високою ефективністю зниження викидів використовується сухий гідрокарбонат натрію, а натрієвімісні відходи, залежно від їх характеристик і складу, часто можуть повторно використовуватися у процесі виробництва цементу. Проте в деяких випадках ці відходи не можна використовувати, оскільки це призводить до надто високого вмісту натрію у складі цементу.

Для того, щоб викиди  $\text{SO}_2$  можна було суттєво знизити за допомогою невеликої кількості реагенту, і водночас зробити можливим повторне використання відходів, що утворюються в результаті очищення димових газів, можна застосовувати перспективні технології двоетапного фільтрування димових газів.

#### Двоетапне фільтрування

Перший пиловий фільтр уловлює пил, утворений у ході технологічного процесу: цей пил можна повторно використати у технологічному процесі, оскільки він не містить великої кількості натрію. Далі на лінії, за цим першим фільтром, у систему вприскується сухий гідрокарбонат натрію. Сухий помелений гідрокарбонат натрію вприскується в систему і реагує з  $\text{SO}_x$ , утворюючи солі натрію – головним чином сульфат натрію ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Ці відходи очищення димових газів уловлюються другим фільтром, функцію якого зазвичай виконує рукавний фільтр.

### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Цей захід/технологія дає змогу досягти ефективного і суттєвого зниження викидів  $SO_x$  з димовими газами, не поступаючись можливостями комплексного повторного використання відходів, що утворюються в результаті очищення димових газів, наступним чином:

- у цементі не міститься надлишку натрію;
- у димові гази не додається  $SO_x$ .

Крім того, при цьому не утворюються додаткові відходи, і не споживаються додаткові природні ресурси.

### **Міжсередовищні наслідки**

Натрієвмісні відходи можна повторно використовувати лише обмеженою мірою. До цього не вдавалися аж до 2008 року, оскільки повторне використання натрієвмісних відходів впливає на якість цементу і клінкеру.

Переробка сульфатів кальцію чи натрію певною мірою може призводити до додаткових викидів  $SO_x$ .

Додаткові природні ресурси не споживаються, оскільки реагент  $CaCl_2$  доступний на заводах з виробництва кальцинованої соди.

Можуть виникати додаткові транспортні витрати, оскільки відходи, що утворюються у процесі очищення димових газів, потрібно перевезти з цементного заводу на очисну установку. Проте кількість відходів, що утворюється у цьому процесі, порівняно мала у порівнянні з загальною кількістю пилу, а пил не містить сульфатів, які повторно використовуються безпосередньо на цементному заводі.

### **Експлуатаційні параметри**

Ця технологія наразі випробовується на етапі, що передує промислому впровадженню. Станом на 2008 рік експлуатаційні дані були відсутні.

### **Застосування**

Було проведено лише кілька експлуатаційних випробувань цієї технології у мокрому процесі. Технологія двоетапного фільтрування особливо добре підходить для заводів, на яких для зниження викидів пилу використовуються електрофільтри. У цих випадках може бути дешевше додати другий фільтр (рукавний фільтр), ніж замінити вже існуючий. Проте у поєднанні з використанням гідрокарбонату натрію ця технологія не використовується в галузі у повному обсязі.

Що до подвійного фільтрування, наразі (станом на 2008 рік) ще не експлуатується жодний цементний завод, де б ця технологія використовувалася у поєднанні з використанням гідрокарбонату натрію, проте проводяться її експлуатаційні випробування.

Що до очищення відходів, які утворюються в результаті очищення димових газів, ця технологія випробовується на сульфатовмісних відходах у Франції в масштабі, що передує промислому впровадженню, а також досліджуються/випробовуються інші спеціальні очисні установки. Ця технологія експлуатується у промислому масштабі і застосовується у Франції та Італії на установках спалювання комунально-побутових відходів, де очищуються відходи з димових газів. Інформація про спалювання відходів також наведена у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для спалювання відходів [87, Європейська комісія, 2001].

### **Економіка**

Очищення відходів натрію як таких – для використання у хімічній промисловості та у тому вигляді, в якому воно вже застосовується в галузі спалювання комунально-побутових відходів, – складно обґрунтувати з економічної точки зору, оскільки відходи, що при цьому використовуються, містять велику кількість пилу.

### **Стимули для впровадження**

Високі вимоги до ступеня або ефективності зниження викидів  $SO_x$  у димових газах печі.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Випробувальні установки у Франції. [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [176, Франція, 2008], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

## 2 ВАПНЯНА ПРОМИСЛОВІСТЬ

### 2.1 Загальна інформація про вапняну промисловість

#### 2.1.1 Вапно та його застосування

Вапно використовується майже з «початку історії» – наприклад, його вже 8 000 років використовують на Близькому Сході. Також є свідчення, що негашене вапно (CaO) та гашене вапно (Ca(OH)<sub>2</sub>) широко використовувалося в будівництві ще у 1000 році до н. е. багатьма цивілізаціями, у тому числі греками, єгиптянами, римлянами, інками, майя, китайцями та індійцями в імперії Великих Моголів. Римляни навіть знали про його хімічні властивості і використовували його, наприклад, для відбілювання льняної тканини та у медицині як вапняне молоко.

Станом на 2008 рік вапно використовується у великому розмаїтті продуктів та випадків застосування, кожен з яких адаптований до конкретних вимог ринку. Наприклад, вапно та його похідні використовуються як флюс у рафінуванні сталі, як в'язуча речовина у будівництві будівель та споруд, та в очищенні води для осадження домішок. Вапно також широко використовується для нейтралізації кислотних компонентів промислових стоків та димових газів.

Вапно може застосовуватися і використовується в багатьох секторах різних галузей промисловості та сільського господарства. Цей продукт присутній у повсякденному житті у вигляді багатьох прикладів застосування, наведених у Таблиці 2.1.

**Таблиця 2.1. Вапно, універсальний матеріал – деякі випадки промислового застосування**

Сектори, в яких застосовується вапно	Відомості про застосування
Навколишнє середовище – газ	<ul style="list-style-type: none"> <li>використовується для нейтралізації забруднюючих речовин, присутніх у димових газах, таких як сірка та хлор</li> <li>змішується з добавками, захоплює важкі метали</li> </ul>
Навколишнє середовище – вода	<ul style="list-style-type: none"> <li>очищення стоків – очищення стічних вод від промисловості та гірничодобувних робіт (регулювання рН, видалення фосфору та азоту, освітлення води)</li> <li>пом'якшення питної води та видалення домішок з господарсько-питної води</li> <li>очищення стічних вод</li> </ul>
Навколишнє середовище – відходи	<ul style="list-style-type: none"> <li>очищення медичних та небезпечних відходів</li> <li>очищення органічних та неорганічних шлаків</li> </ul>
Навколишнє середовище – забруднені землі	<ul style="list-style-type: none"> <li>регулювання рН та зв'язування сульфатів, фосфатів і важких металів</li> </ul>
Зведення будівель та цивільне будівництво	<ul style="list-style-type: none"> <li>використовується у виробництві цегли та блочних конструкцій</li> <li>кам'яна кладка та штукатурні розчини для фасадів будівель</li> <li>стабілізація ґрунту та дорожні в'язучі речовини з вапна</li> </ul>
Сільське господарство	<ul style="list-style-type: none"> <li>обробка ґрунту – для регулювання рН ґрунтів з метою створення оптимальних умов для росту рослин, а отже, підвищення врожайності</li> </ul>
Сталь та кольорові метали	<ul style="list-style-type: none"> <li>використовується у сталеливарних процесах для зниження вмісту фосфору та сірки, для коригування в'язкості шлаку, для захисту вогнетривких матеріалів та утворення шлаку</li> <li>використовується як флюс для виплавлення міді, свинцю, цинку та інших металів з їх руд</li> <li>використовується для нейтралізації та нанесення покриття на дроти після їх очищення кислотою</li> </ul>
Хімічна та паперова промисловість	<ul style="list-style-type: none"> <li>папір – процес його виробництва; целюлоза та сировина для осадженого карбонату кальцію (ОКК);</li> <li>присадка для змащувальних масел (таких як сульфонати, феноляти та саліцилати)</li> <li>пластмаси – використовується як вологопоглинач у нафтохімічних продуктах</li> <li>використовується для дубіння шкір</li> <li>використовується у скляній промисловості та виробництві соди</li> <li>нейтралізація кислот</li> </ul>
Фармація, засоби особистої гігієни та харчова промисловість	<ul style="list-style-type: none"> <li>використовується у складі матриці медикаментів</li> <li>використовується у виробництві фосфату кальцію – добавки для зубної пасти</li> <li>використовується у виробництві харчових добавок та добавок для напоїв</li> <li>використовується у цукровій промисловості для виділення домішок з екстрактів цукрового буряку та цукрової тростини, а також для нейтралізації неприємних запахів, якими супроводжується миття та транспортування буряку</li> </ul>

Джерело: [44, EuLA, 2006]

## 2.1.2 Виробництво вапна у світі

У 2006 році загальний обсяг виробництва вапна у світі за оцінками склав 172 млн. т/рік включно зі зв'язаним вапном, як наведено в Таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Найточніша оцінка світового виробництва негашеного вапна та доломіту у 2006 році, включно з виробництвом вапна під контролем інших галузей промисловості

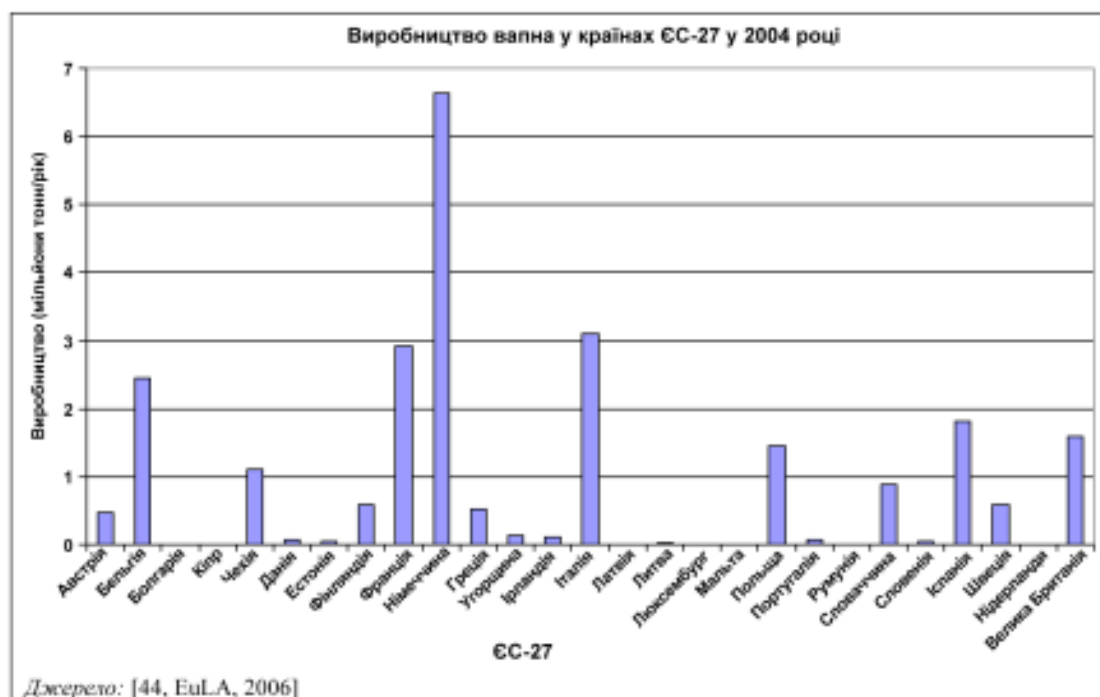
Країна	Річний обсяг виробництва	
	млн. т/рік	%
Бразилія	6	3,5
Китай	75	43,6
ЄС-25	28	16,3
Інші європейські країни	2	1,2
Індія	4	2,3
Японія	10	5,8
Мексика	4	2,3
Росія	8	4,7
США	20	11,6
Інші країни	15	8,7
Усього	172	100
<i>Джерело: [44, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]</i>		

## 2.1.3 Географічний розподіл та загальні економічні міркування для Європи – ключові показники

### 2.1.3.1 Річний обсяг виробництва

Найбільшими виробниками вапна у країнах ЄС-27 є Німеччина, Франція, Польща, Бельгія, Іспанія та Італія, на які припадає близько 20 % загального світового виробництва вапна. У чотирьох країнах-членах ЄС вапно взагалі не виробляється – це Кіпр, Мальта, Люксембург та Нідерланди. Структура вапняної промисловості різниться в різних країнах-членах ЄС. Проте у більшості країн ЄС вапняна промисловість представлена невеликими компаніями та компаніями середнього розміру. У Європейському Союзі працює понад 100 таких компаній. Більшість із них – невеликі виробники, часто з єдиним заводом. Проте в останні роки зростає тенденція до зосередження виробництва, коли невелика кількість великих міжнародних компаній захоплює значну частку ринку. Рисунок 2.1 ілюструє європейський виробничий ринок у країнах ЄС-27 станом на 2004 рік – на них припадає майже 25 мільйонів тонн вапна, у той час як загальне виробництво вапна в Європі складає 28 мільйонів тонн, включно з виробництвом вапна промислового призначення та виробництвом вапна під контролем інших галузей промисловості.





**Рисунок 2.1. Виробництво вапна та доломіту в країнах ЄС-27 у 2004 році**

Виробництво вапна у країнах ЄС різко зменшилося в кінці 1980-х років, проте знову зросло на початку 1994 року. Це було зумовлено змінами у структурі споживання. У чорній металургії, яка є одним з основних споживачів вапна, питоме споживання вапна на тону сталі скоротилося зі 100 до 40 кг. Проте близько середини 1990-х років все більше вапна стало використовуватися для захисту навколишнього середовища, тож показники продажу знову зросли.

У минулому загальне споживання вапна в ЄС залишалося на одному й тому ж рівні, оскільки сектори промисловості, у яких попит на вапно зростає, – як-от очищення води та знесірчення димових газів – лише частково компенсували зменшення попиту у сталеливарному секторі та металургії, які є традиційними споживачами вапна.

Вапно – це дешевий, проте об'ємний матеріал, тож його зазвичай транспортують лише на порівняно короткі відстані. Вапно, що експортується з країн ЄС, становить лише кілька відсотків від його виробництва. Частки країн ЄС-27 на ринку вапна промислового призначення за оцінками станом на 2004 рік наведені у Таблиці 2.3.

**Таблиця 2.3. Розподіл вапна промислового призначення за секторами у країнах ЄС-27 в 2004 році**

Сектори	Внесок (%)
Сталеплавильна промисловість та обробка кольорових металів	30 – 40
Захист навколишнього середовища, сільське господарство та лісівництво	30
Будівництво та стабілізація глиняних ґрунтів	15 – 20
Інші сектори: рафінування кольорових металів, ОКК для паперу, харчова промисловість, виробництво кормів та охорона здоров'я	10 – 15

Джерело: [44, EuLA, 2006]

### 2.1.3.2 Ключові проблеми захисту навколишнього середовища та сталого розвитку

Ключовими проблемами захисту навколишнього середовища у виробництві вапна є споживання енергії, викиди CO<sub>2</sub> у результаті технологічного процесу та згорання, контроль забруднення повітря (головним чином пилом), транспортування та відновлення ділянок видобування сировини [44, EuLA, 2006].

Ключові проблеми сталого розвитку у сфері видобування основної сировини для виробництва вапна полягають в отриманні доступу до покладів високоякісного вапняку та доломіту, щоб гарантувати наявність геологічних резервів на довготермінову перспективу. З геологічної точки зору вапняк – це звичайний камінь. Проте рідко можна знайти поклади, які матимуть усі перелічені нижче обов'язкові характеристики:

- запаси на 50 років або більше;
- висока хімічна чистота;
- конкретні фізичні та механічні властивості;
- розташування поблизу транспортної інфраструктури;
- обмеження, обумовлені екологічними міркуваннями.

У Таблиці 2.4 наведено прогнозне споживання вапняку у 2030 році у порівнянні з 2003 роком.

**Таблиця 2.4. Динаміка використання вапняку та доломіту як сировини у 2003 – 2030 роках**

Динаміка використання вапняку та доломіту як сировини, 2003 – 2030		
Застосування вапна: будівельні матеріали та промислові сфери застосування (сталь, папір, скло, цукор, захист ґрунтів, захист навколишнього середовища)	2003 мільйони тонн на рік	2030 мільйони тонн на рік
Виробництво вапна / доломітового вапна після кальцинування вапняку та доломіту	25	32
Сировина для виробництва вапна та доломітового вапна	50	64
<i>Джерело: [44, EuLA, 2006]</i>		

### 2.1.3.3 Типи вапна та різновиди доломітового вапна

Терміном «вапно» часто неправильно позначають продукцію з вапняку. Через це нерідко виникає плутанина. До вапна належить негашене вапно та гашене вапно, і цей термін – «вапно» – є синонімом терміну «вапняна продукція». Негашене вапно, або так зване «палене вапно», – це оксид кальцію ( $\text{CaO}$ ), виготовлений шляхом декарбонізації ( $\text{CaCO}_3$ ). Гашене вапно виготовляється шляхом проведення реакції, або «гашення» негашеного вапна водою, і складається головним чином із гідроксиду кальцію ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). До гашеного вапна належить гідратоване вапно (сухий порошок гідроксиду кальцію), вапняне молоко та вапняне тісто (суспензія часток гідроксиду кальцію у воді). Проте 90 % загального виготовленого об'єму припадає на кальцієве вапно, а 10 % – на доломітове вапно.

Різні типи вапна використовуються у великому розмаїтті сфер застосування. Розрізняють кальцієві, доломітові та гідралічні різновиди вапна. Кальцієве вапно – це найбільша категорія, яка постачається у грудковому, подрібненому, меленому та гідратованому вигляді. Доломітове вапно – це група більш спеціалізованих продуктів, які постачаються в невеликих кількостях у грудковому, помеленому, гідратованому та повністю випаленому вигляді. Гідралічне вапно частково гідратоване і містить цементувальні сполуки; ці різновиди вапна використовуються виключно у будівництві будівель та споруд.

У цьому документі розглядається лише виробництво вапна, що не контролюється іншими галузями промисловості.

У Таблиці 2.5 наведені різні синоніми, що використовуються у вапняній галузі, з їх відповідними реєстраційними номерами CAS (номерами Хімічної реферативної служби – підрозділу Американського хімічного товариства) та номерами ЕС, наведеними в Переліку EINICS (Європейському переліку існуючих комерційних хімічних речовин).

Таблиця 2.5. Номенклатура вапна, номери ЕС та CAS

Хімічна сполука	Хімічна формула	Синоніми	№ ЕС	№ CAS
Оксид кальцію	CaO	Вапно, випалене вапно та негашене вапно	215 – 138-9	1 305 – 78-8
Оксид кальцію з оксидом магнію	CaO MgO	Доломітове вапно, випалений доломіт	253 – 425-0	37 247 – 91 – 9
Гідроксид кальцію	Ca(OH) <sub>2</sub>	Гідрат кальцію, гідроксид кальцію, їдкий кальцій, гідратоване вапно та гашене вапно	215 – 137-3	1 305 – 62-0
Тетрагідроксид кальцію та магнію	CaMg(OH) <sub>4</sub>	Гідратоване доломітове вапно, гідроксид кальцію та магнію	254 – 454-1	39 445 – 23-3

Джерело: [44, EuLA, 2006]

### 2.1.3.4 Вапняні установки

Станом на 2003 рік у Європейському Союзі існувало приблизно 211 установок з виробництва вапна (за винятком виробництва вапна під контролем інших галузей промисловості), які були розподілені між країнами-членами ЄС так, як вказано у Таблиці 2.6.

Таблиця 2.6. Кількість вапняних заводів, що не перебували під контролем інших галузей промисловості, з обсягом виробництва понад 50 т/добу у країнах-членах ЄС-27 – усього станом на 2003 рік

Країна		Виробництво вапна та доломітового вапна	Виробництво повністю випаленого доломітового вапна
Бельгія	BE	6	1
Болгарія	BG	6	1
Чехія	CZ	5	0
Данія	DK	1	0
Німеччина	DE	39	1
Естонія	EE	1	0
Греція	EL	19	0
Іспанія	ES	22	2
Франція	FR	16	0
Ірландія	IE	1	0
Італія	IT	36	1
Кіпр	CY	0	0
Латвія	LV	1	0
Литва	LT	1	0
Люксембург	LU	0	0
Угорщина	HU	3	0
Мальта	MT	0	0
Нідерланди	NL	0	0
Австрія	AT	6	0
Польща	PL	8	0
Португалія	PT	4	0
Румунія	RO	8	0
Словенія	SI	3	0
Словаччина	SK	6	0
Фінляндія	FI	6	0
Швеція	SE	7	0
Велика Британія	UK	6	2
<b>УСЬОГО</b>		<b>211</b>	<b>8</b>

Джерело: [44, EuLA, 2006], [139, Італія, 2007]

У 2006 році в ЄС-27 існувало близько 597 печей, які виготовляли вапно промислового призначення (за винятком печей під контролем інших галузей промисловості), які можна згрупувати у шість різних типів печей.

Таблиця 2,7 На Рисунку 2.2, Рисунку 2.3 та Рисунку 2.4 показана кількість печей, що експлуатувалися в ЄС-27, за типом печі та її відносною значимістю для виробництва вапна, доломітового вапна та випаленого доломітового вапна (повністю випаленого вапна).

Таблиця 2.7. Кількість вапняних печей, що експлуатувалися в ЄС-27 у 2004 році, за типом печі

Тип печі	Кількість печей
Довга обертова піч (ДОП)	26
Обертова піч з підігрівачем (ОПП)	20
Прямоточна регенеративна піч (ПРП) (стандартне та дрібнозернисте вапно)	158
Кільцева шахтна піч (КШП)	74
Шахтна піч зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	116
Інші печі (ІП)	203
<b>УСЬОГО</b>	<b>597</b>
<i>Джерело: [44, EuLA, 2006] [46, Німеччина, 2006]</i>	

Інші печі (ІП) можуть бути такими:

- шахтні печі з подвійною похилою камерою;
- багатокамерні шахтні печі;
- шахтні печі з центральним пальником;
- шахтні печі з зовнішньою камерою;
- шахтні печі з променевим пальником;
- шахтні печі з внутрішньою аркою;
- печі з рухомим колосником;
- «кеглеподібні» печі;
- печі зваженого кальцинування;
- печі з обертовим подом.

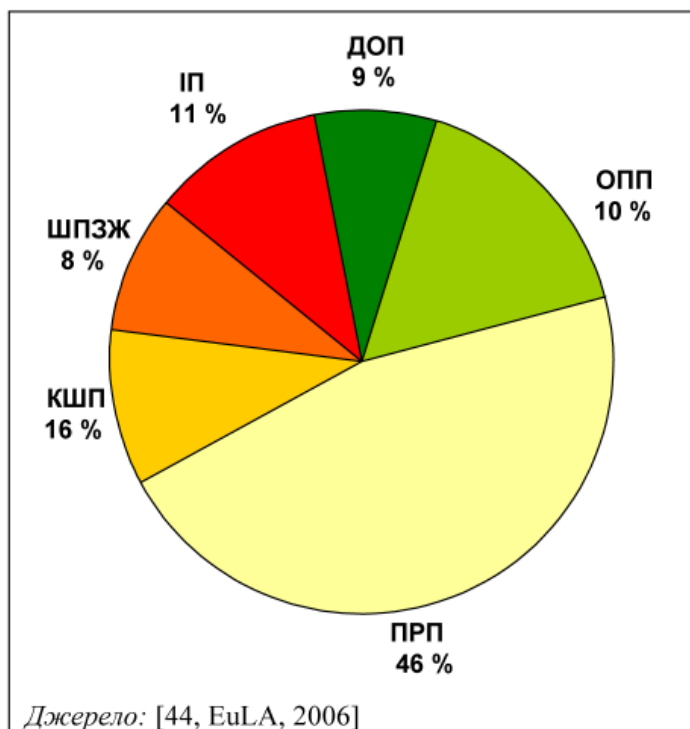


Рисунок 2.2. Виробництво вапна промислового призначення за типом печі у країнах ЄС-27 в 2004 році

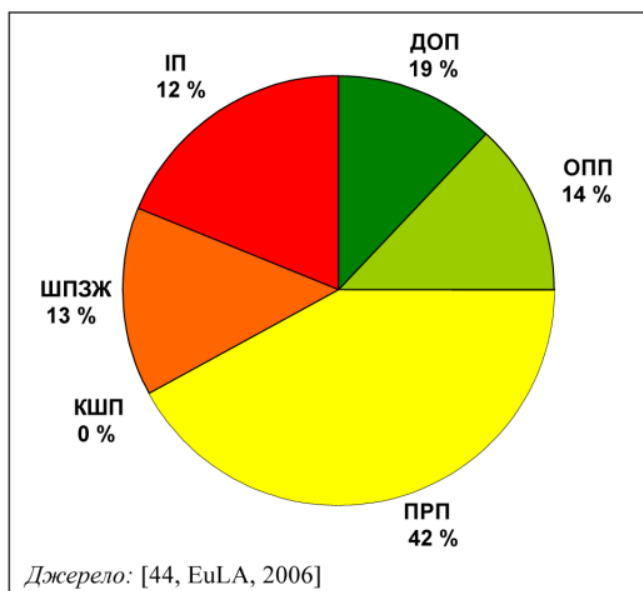


Рисунок 2.3. Виробництво доломітового вапна промислового призначення за типом печі у країнах ЄС-27 в 2004 році

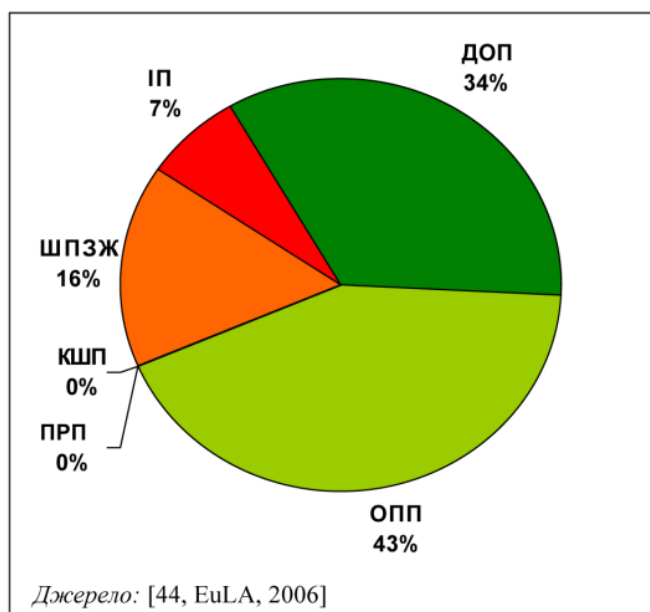


Рисунок 2.4. Виробництво спеченого доломітового вапна промислового призначення за типом печі у країнах ЄС-27 в 2004 році

Типові потужності вапняних печей для виготовлення вапна, доломітового вапна чи випаленого доломітового вапна варіюються від 50 до 500 тонн на добу. Лише близько 10 % цих вапняних печей мають потужність менше 10 чи більше 500 тонн на добу. У Таблиці 2.8 наведено огляд кількості різних типів печей для виробництва вапна та доломітового вапна за країнами-членами ЄС-27 у 2003 році.

Таблиця 2.8. Кількість вапняних печей для виробництва вапна та доломітового вапна (без урахування печей під контролем інших галузей промисловості) у країнах ЄС-27 в 2003 році

Країна		Довга обертова піч (ДОП)	Обертова піч з підігрівачем (ОПП)	Прямоточна регенеративна піч (ПРП)	Кільцева шахтна піч (КШП)	Шахтна піч зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	Інші печі (Ш)	Усього
Бельгія	BE	5	3	14	5	9	1	37
Болгарія	BG	1	-	2	-	-	29	32
Чехія	CZ	-	2	8	-	4	2	16
Данія	DK	1	-	-	-	-	-	1
Німеччина	DE	1	6	15	32	64	17	135
Естонія	EE	-	-	-	-	-	2	2
Греція	EL	2	-	2	2	-	40	46
Іспанія	ES	3	1	34	1	1	9	49
Франція	FR	-	2	18	23	-	5	48
Ірландія	IE	-	-	1	-	-	-	1
Італія	IT	-	-	31	4	-	35	70
Кіпр	CY	-	-	-	-	-	-	0
Латвія	LV	-	-	-	-	-	1	1
Литва	LT	1	-	-	-	-	-	1
Люксембург	LU	-	-	-	-	-	-	0
Угорщина	HU	-	-	3	-	-	-	3
Мальта	MT	-	-	-	-	-	-	0
Нідерланди	NL	-	-	-	-	-	-	0
Австрія	AT	-	-	3	3	1	3	10
Польща	PL	-	-	4	-	36	1	41
Португалія	PT	-	-	3	-	-	6	9
Румунія	RO	-	-	7	-	-	14	21
Словенія	SI	-	-	-	2	-	10	12
Словаччина	SK	-	4	3	-	1	13	21
Фінляндія	FI	5	-	3	1	-	-	9
Швеція	SE	5	-	4	-	-	-	9
Велика Британія	UK	5	2	8	-	-	6	21
Усього		29	20	163	73	116	194	595

Джерело: [44, EuLA, 2006], [139, Італія, 2007]

Вапняна промисловість – це дуже енергоємна галузь промисловості, у якій на енергію припадає 30 – 60 % загальної собівартості продукції. Печі працюють на викопному паливі – наприклад, на твердому, рідкому чи газоподібному паливі, – а також на паливі з відходів та/або біомаси. Використання відходів у якості палива залежить від очікуваної якості вапна. Використання відходів може впливати на якість вапна, і перш ніж використовувати відходи, потрібно дослідити їх характеристики. За останні кілька років використання викопних видів палива скоротилося, а використання палива з відходів зросло. У Таблиці 2.9 наведено розподіл типів палива, що використовувалися в країнах ЄС-27 у 2003 році.

Таблиця 2.9. Розподіл видів палива, що використовувалися для обпалювання вапна в країнах ЄС-27 у 2003 році

Вид палива	Одиниця вимірювання	ЄС-27, 2003 рік
Газ (викопний)	%	43
Тверде паливо (викопне)	%	41
Рідке паливо (викопне)	%	7
Інші види палива	%	-
Відходи	%	8
Біомаса	%	1

Джерело: [16, EuLA, 2001], [44, EuLA, 2006]

Основні викиди, що виникають у результаті виробництва вапна – це викиди в атмосферу з печі. Вони зумовлені конкретним хімічним складом сировини та палива, що використовуються. Проте значні викиди пилу можуть виникати на будь-якому етапі

процесу – насамперед внаслідок роботи гідратора та печі. Крім того, можуть виникати неорганізовані викиди пилу – наприклад, від конвеєрів, транспортних засобів та зберігання насипом. До потенційно значимих викидів з вапняних заводів належать оксиди вуглецю ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ), діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ) та пил.

## 2.2 Технологічні процеси та технології, що застосовуються у виробництві вапна

Технологічний процес виготовлення вапна полягає у випалі карбонатів кальцію та/або магнію за температури від 900 до 1200 °С, яка є достатньо високою для вивільнення вуглекислого газу та отримання похідного оксиду ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ). У деяких процесах – наприклад, при виробництві повністю випаленого доломіту – необхідно значно вищі температури до 1800 °С.

Оксид кальцію, виготовлений у печі, зазвичай дробиться, розмелюється та/або просіюється перед транспортуванням у силос для зберігання. З силоса випалене вапно постачається кінцевому споживачу для використання у вигляді негашеного вапна або передається на гідратаційну установку, де воно реагує з водою, утворюючи гідратоване, або гашене, вапно.

На Рисунок 2.5, Рисунок 2.6 та Рисунок 2.7 показані основні етапи загального технологічного процесу виготовлення вапна, перелічені нижче [44, EuLA, 2006]:

- видобування сировини з родовищ вапняку шляхом розробки кар'єрів / вийняття з шахт;
- зберігання та підготовка вапняку;
- зберігання та підготовка різних видів палива;
- кальцинування вапняку;
- гідратація та гашення негашеного вапна;
- обробка негашеного вапна;
- інші види обробки вапна;
- зберігання, вантажні операції та транспортування.

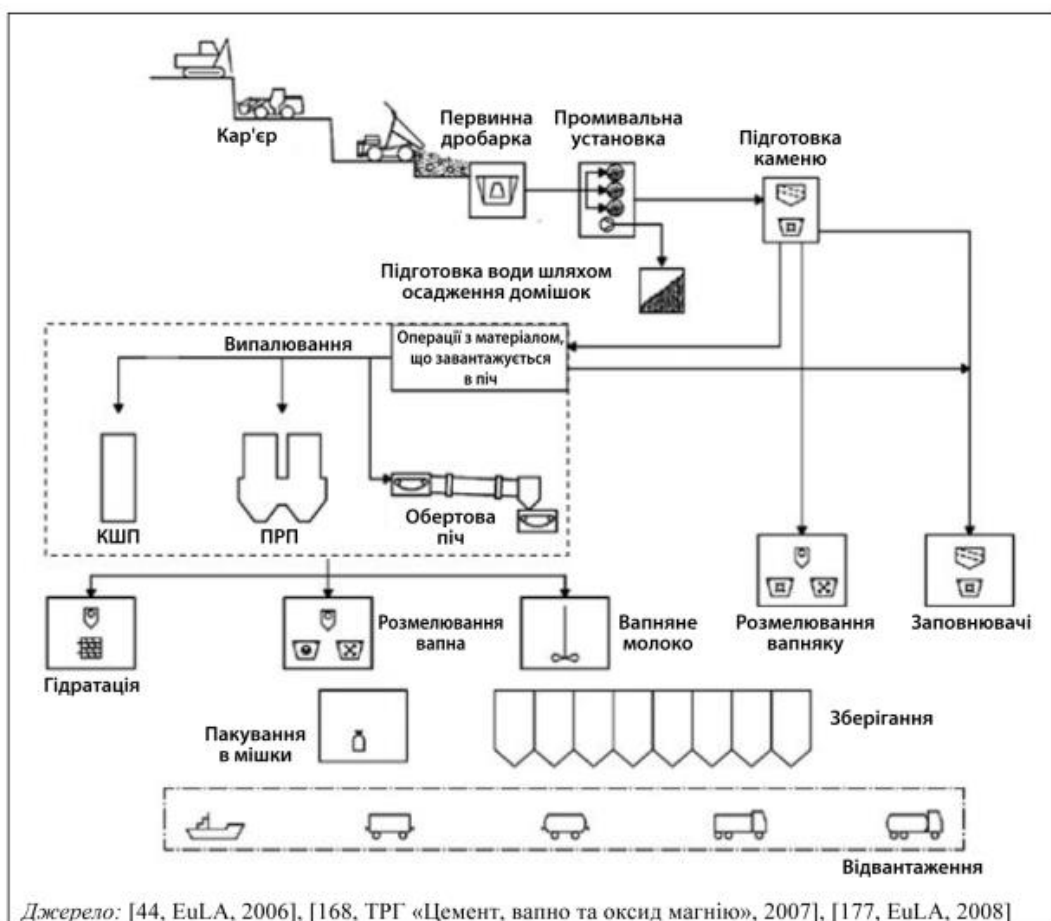


Рисунок 2.5. Огляд процесу виготовлення вапна



### 2.2.1 Загальний опис технологічного процесу виробництва

Виробництво вапна залежить в першу чергу від якості вапняку, яка визначається геологічною природою покладів. Вапняк обробляється і завантажується в піч, де проходить реакція його термічного розпаду, в результаті якої утворюється оксид кальцію та вуглекислий газ. Цей «продукт», який зазвичай називають випаленим вапном або негашеним вапном, обробляється для зміни розміру його часток, а потім зберігається, транспортується або далі обробляється. На Рисунку 2.6 зображена схема фундаментальних елементів виробництва вапна.

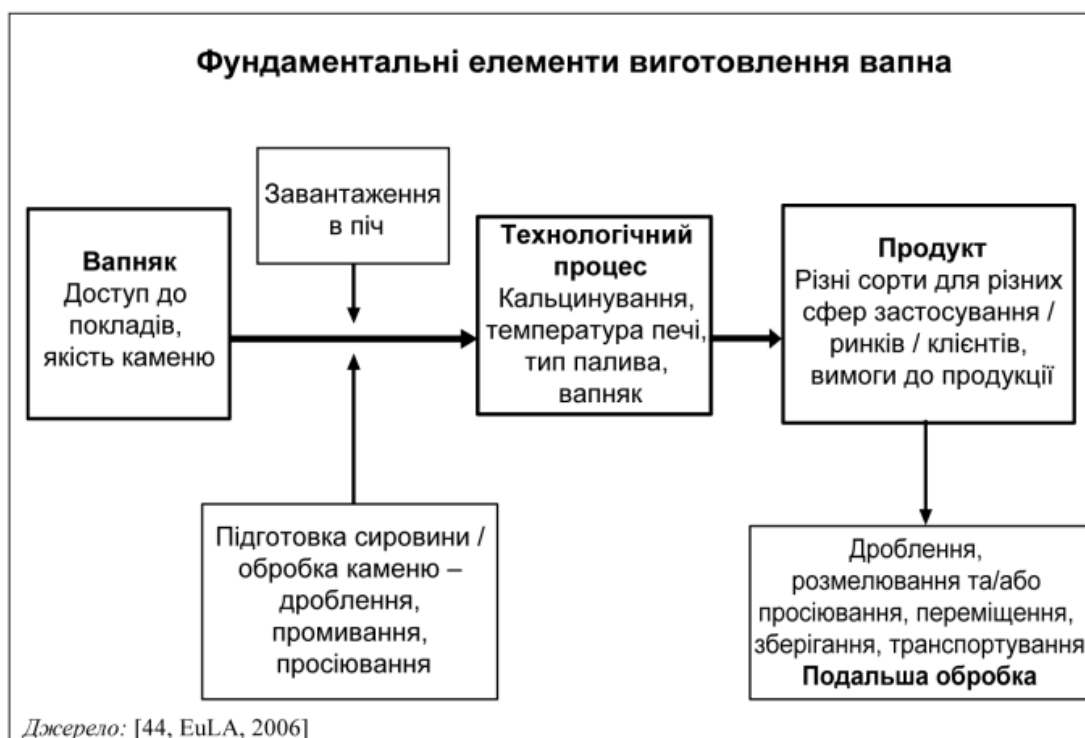


Рисунок 2.6. Схема фундаментальних елементів виробництва вапна

Три найбільші фундаментальні елементи – «вапняк», «технологічний процес» та «продукт» – утворюють основу «матриці» і залежать один від одного у виробництві продукту, потрібного для задоволення попиту ринку. Вапно використовується для виробництва різної продукції, яка може використовуватися в різноманітних секторах промисловості, і є незамінним проміжним продуктом для багатьох технологічних процесів. Різноманітні сфери застосування, однак, також потребують різноманітних фізико-хімічних властивостей вапняної продукції. Вимоги до якості вапна викладені, зокрема, у національних та у Європейських стандартах, а також у прямих угодах між виробниками та клієнтами. Вапняна промисловість завжди була готова задовольняти широкому спектру вимог до якості, маючи для цього випробувані технології, тобто спеціальні типи печей та відповідні види палива.

Якість вапняку  $\text{CaCO}_3$  та відповідно доломіту  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  відіграє важливу роль у процесі виробництва, у забезпеченні кінцевої якості вапна та його хімічного складу. Технологія печі, тобто тип печі та паливо, що в ній використовується, суттєво впливає на властивості вапна, що в ній виготовляється. Тому у всьому світі розроблено різні типи печей для виробництва вапна різних сортів якості. З урахуванням доступних покладів вапняку та профілю вимог клієнта було вибрано оптимальні поєднання печей та палива для розробки найкращих доступних технологій та методів управління для процесу виготовлення вапна.

Технологічний процес виготовлення вапна показаний на Рисунку 2.5 та Рисунку 2.7.

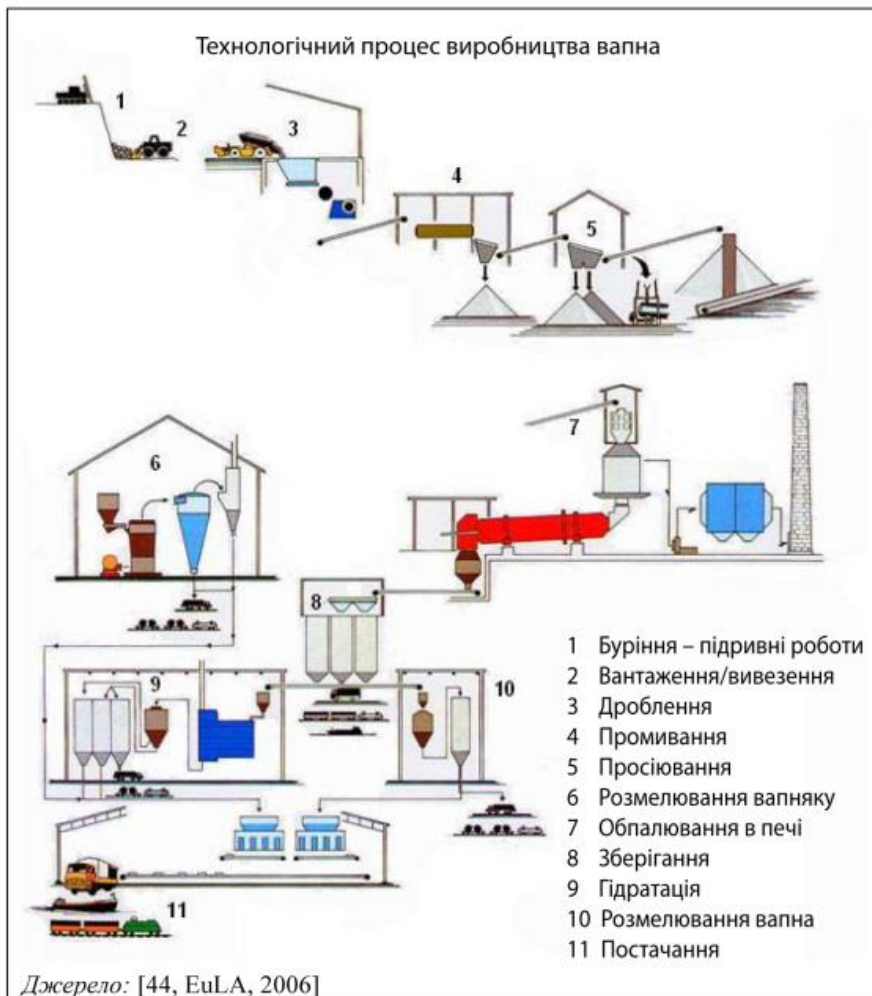


Рисунок 2.7. Огляд процесу виготовлення вапна

### 2.2.2 Сировина та видобування вапняку

Сировиною для виробництва вапна є вапняк або, меншою мірою, доломіт чи доломітовий вапняк. На вапняк припадає десять відсотків загального світового об'єму осадових порід.

Вапняк зазвичай містить понад 90 %  $\text{CaCO}_3$  та кілька відсотків  $\text{MgCO}_3$ . Доломіт – це подвійний карбонат, що містить 54 – 58%  $\text{CaCO}_3$  та 40 – 44%  $\text{MgCO}_3$ . Доломітовим вапняком зазвичай називається вапняк, що містить більше  $\text{MgCO}_3$ , ніж вапняк, але менше, ніж доломіт. Сировині, такій як вапняк, може бути понад 360 мільйонів років. Хоча як покладів вапняку порівняно вдосталь у багатьох країнах, лише невелика їх частка підходить для промислового видобування.

Вапнякова порода спочатку утворюється у процесі комбінованого розчинення іонів кальцію та вуглекислого газу – органічним шляхом під впливом різноманітних організмів або неорганічним шляхом, що полягає у кристалізації карбонату. Після цього процесу настає процес, що називається діагенезом, або перетворення осаду у породу. Цей процес доволі складний і протікає кількома органічними, фізико-хімічними шляхами. Тому цілком зрозуміло, що вапняк існує в різних формах залежно від того, яким чином він початково утворився. Це відображається на розмірі його зерен, текстурі, домішках та вмісті карбонатів.

Кількість домішок або слідових елементів та вміст карбонату мають особливо велике значення для придатності вапняку для багатьох сфер застосування. У Таблиці 2.10 наведено типові діапазони вмісту поширених домішок або слідових елементів, що зазвичай присутні у вапняку. Приклад складу вапняку, що використовувався у якості сировини на угорському вапняному заводі, наведено у розділі 6.3.2.1 в Таблиці 6.29.

Таблиця 2.10. Типові домішки та слідові елементи у вапняку

	Одиниці вимірювання	Типовий діапазон
Кремнезем (у перерахунку на SiO <sub>2</sub> )	%	0,1 – 2,0
Глинозем (у перерахунку на Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	0,04 – 1,5
Залізо (у перерахунку на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	0,02 – 0,6
Сірка (S)	%	0,0024 – 0,118
Вуглецева речовина	%	0,01 – 0,5
Манган (у перерахунку на MnO <sub>2</sub> )	мг/кг	20 – 1000
Стибій	мг/кг	0,1 – 3
Арсен	мг/кг	0,1 – 15
Бор	мг/кг	1 – 20
Кадмій	мг/кг	0,1 – 1,5
Хром	мг/кг	3 – 15
Мідь	мг/кг	1 – 30
Свинець	мг/кг	0,5 – 30
Ртуть	мг/кг	0,02 – 0,1
Молібден	мг/кг	0,1 – 4
Нікель	мг/кг	0,5 – 15
Селен	мг/кг	0,02 – 3
Срібло	мг/кг	0,2 – 4
Олово	мг/кг	0,1 – 15
Ванадій	мг/кг	1 – 20
Цинк	мг/кг	3 – 500
<i>Джерело:</i> [44, EuLA, 2006], [70, Угорщина, 2006], [126, Оутс (Oates), 1998]		

Сировина, що використовується для виробництва природного гідравлічного вапна, містить 65 – 90% CaCO<sub>3</sub> та MgCO<sub>3</sub>. Чистота цієї сировини відрізняється від чистоти сировини, що використовується для виробництва інших типів вапна. Крім того, вміст органічних речовин, виражений як загальний органічний вуглець (ЗОВ), набагато вищий і знаходиться в діапазоні від 0,8 до 5 % [127, Португалія, 2007].

Сировина, як-от особливо чистий вапняк чи доломіт, видобувається з кар'єру, попередньо дробиться і в деяких випадках промивається, а потім просіюється перед транспортуванням на цементний завод. Вапняк зазвичай отримують шляхом видобування у відкритих кар'єрах, які у загальному випадку розташовані поблизу вапняного заводу, щоб сировину можна було транспортувати на стрічкових конвеєрах безпосередньо на завод, проте іноді застосовується драгова розробка на дні моря або підземна розробка. Сировина також може постачатися з кар'єрів, що знаходяться далеко від заводу, наприклад, на судах. Типовий процес видобування сировини складається з таких елементів:

- зняття розкривних порід (тобто ґрунту, глини та пухкої породи, що покривають поклад);
- підривання породи;
- вантаження та транспортування підірваної породи на дробильну та просіювальну установку.

Корисна інформація про видобуток у шахтах/кар'єрах наведена у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для утилізації хвостів та відвалів у гірничодобувній діяльності [47, Європейська комісія, 2004].

## 2.2.3 Підготовка, очищення та зберігання вапняку

### 2.2.3.1 Підготовка вапняку

Виробництво вапна залежить в першу чергу від якості вапняку, яка визначається геологічною природою покладу. Якість вапняку, що використовується у процесі кальцинування, можна покращити шляхом вибіркового видобування. Якщо у вапняку присутні неоднорідно розподілені домішки або слідові елементи, деяких з них загалом можна позбутися шляхом вибіркового видобування, промивання чи просіювання. Проте якщо домішки розподілені у вапняку однорідно, ці процеси неефективні.

Властивості вапняку, як-от його пористість, гігроскопічні властивості або поглинання води, об'ємна вага, твердість, міцність та схильність до розтріскування, є взаємозалежними. Як виявилось, вони відіграють ключову роль у процесі кальцинування чи випалювання та забезпеченні хімічних і фізичних властивостей результуючої кінцевої продукції.

Для вапняку характерне видобування шляхом буріння та підривання на керованих уступах. Підірваний вапняк далі передається у процеси дроблення та просіювання.

Брили вапняку діаметром один метр часто дробляться у первинних дробарках до належного діапазону фракцій у 100 – 250 мм. Залежно від характеру породи (твердість, шаруватість, розмір брил, тощо), використовуються різні типи первинних дробарок, як-от щоківі дробарки, конусні дробарки та молоткові дробарки. Іноді дробильні установки розташовані в кар'єрі і є пересувними.

Подрібнений вапняк з первинної дробарки транспортується конвеєрами на вібраційні сита, де великі шматки відділяються і переробляються, а ті, які пройшли через сито, завантажуються в піч або можуть завантажуватися у вторинні дробарки, розташовані далі на технологічній лінії.

Вторинні дробарки використовуються для дроблення вапняку до фракцій у діапазоні 5 – 80 мм. Оскільки матеріал, який завантажуються в піч, не повинен бути дуже дрібним, у якості вторинних дробарок часто використовуються також щоківі та молоткові дробарки, або молоткові млини.

Після дроблення вапняк просіюється на ситовій установці, а потім транспортується у силоси, на відкриті склади або в бункери для зберігання вапняку, звідки він подається у печі випалу вапна за допомогою стрічкових конвеєрів та/або ковшових елеваторів.

Гранулометричний склад подрібленого та просіяного вапняку повинен бути сумісним з вимогами печі. Для цього зазвичай потрібно, щоб вапняк в ідеалі був просіяний до співвідношення розмірів фракцій каменю 2:1, або принаймні 3:1.

### **2.2.3.2 Зберігання вапняку**

Відсіянні фракції вапняку зберігаються у бункерах та на відкритих складах. Дрібні фракції зазвичай зберігаються в силосах та на складах.

### **2.2.3.3 Промивання вапняку**

Перед завантаженням у піч вапняк іноді промивається, наприклад, у промивальних барабанах або на ситах. Вапняк промивається на менш ніж на 10 % вапняних заводів – це робиться, щоб зменшити вміст природного піску та глини, які можуть несприятливо впливати на пічний процес або впливати на якість кінцевої продукції.

Таке промивання сприяє протіканню процесу обпалювання, оскільки після нього між каменями залишається вільне місце для циркуляції повітря, що забезпечує горіння, а отже, зменшується кількість надлишкового повітря, і заощаджується електроенергія. Розроблено технології укладання вапняку в кагати для кращого промивання.

Зважені тверді частки видаляються з промивальної води шляхом:

- скидання у відстійні ями, які можна потім залишити для рекультивації;
- осушування у фільтрах-пресах.

Очищена вода з обох систем повторно використовується у процесі промивання, як показано на Рисунку 2.8.

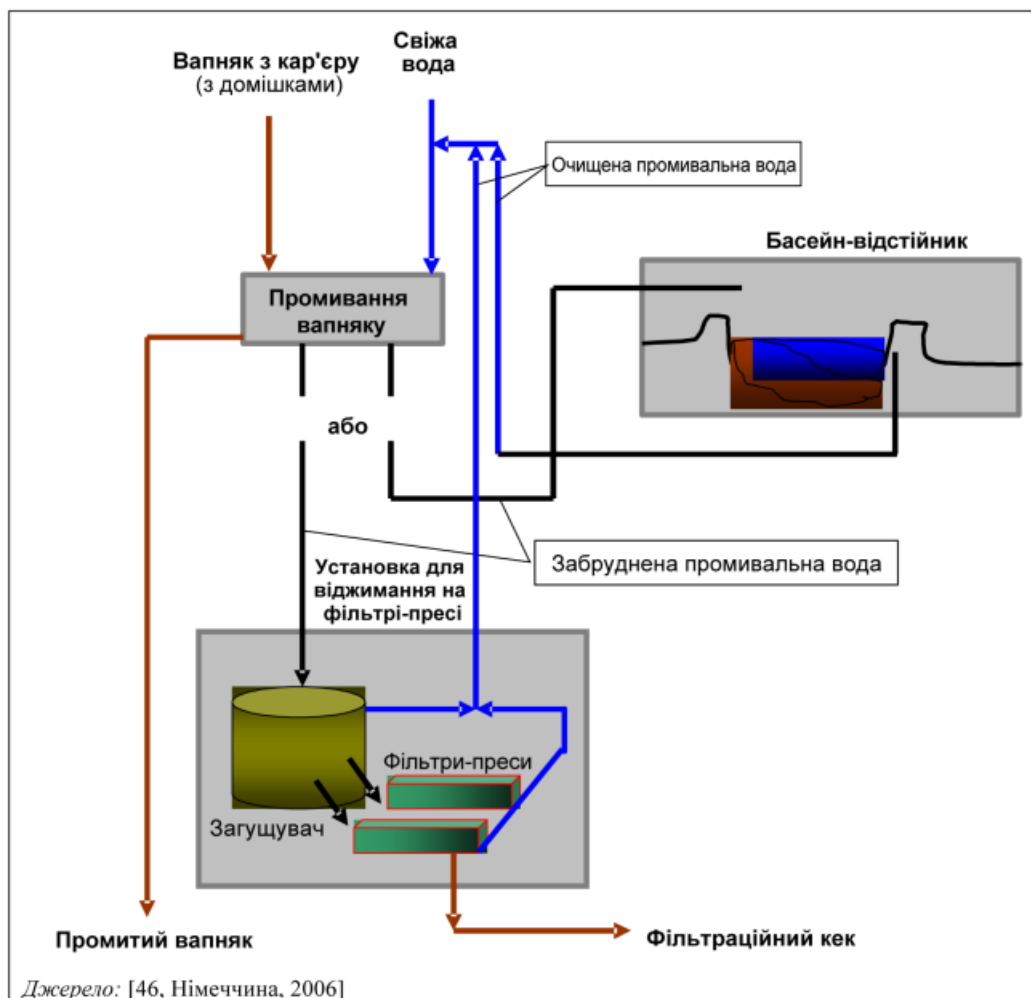


Рисунок 2.8. Схема потоків матеріалів при промиванні вапняку та очищенні промивальної води

## 2.2.4 Зберігання та підготовка палива

Вапняна промисловість – це дуже енергоємна галузь промисловості, у якій на енергію припадає до 60 % загальної собівартості продукції. При обпалюванні палива надає енергію, необхідну для кальцинування. Воно також взаємодіє з технологічним процесом, а продукти згорання реагують з негашеним вапном. У печах випалу вапна використовується багато різних видів палива. У ЄС найбільш поширені природні газоподібні види палива, такі як природний газ, коксовий газ, тверді види палива, такі як вугілля (кам'яне вугілля, пилоподібний лігніт та нафтовий кокс), кокс/антрацит, а також рідкі види палива, такі як важкий та/або легкий мазут. У якості палива також використовуються відходи – наприклад, відпрацьоване мастило, пластмаси, папір та тваринну муку (м'ясо-кісткова мука) або тирса [44, EuLA, 2006], [45, Шорхт, 2006], [46, Німеччина, 2006].

Більшість печей можуть працювати на більш ніж одному виді палива, проте деякі види палива не можна використовувати в певних печах. Деякі види палива потребують спеціальної вогнетривкої футеровки печі. У Таблиці 2.11 наведені частки (у відсотках) видів палива, що використовувалися в різних печах випалу вапна у 2003 році, а на Рисунок 2.9 вказані види палива та енергії, що використовувалися в 2005 році у країнах ЄС-27.

Таблиця 2.11. Види палива, що використовувалися в різних печах випалу вапна у 2003 році в у країнах ЄС-27

Вид палива	Опис палива	Відсоток палива, що використовується в різних типах печей випалу вапна (%)					
		ДОП	ОПП	КШП	ПРП	ШПЗЖ	ІП
Газ (викопний)	Природний газ, коксовий та конвертерний газ, газоподібний буган/пропан	3	26	69	64	0	51
Тверде паливо (викопне)	Вугілля, нафтовий кокс, металургійний кокс, лігніт, антрацит	81	60	6	20	100	32
Рідке паливо (викопне)	Важкий, середній або легкий мазут	1	3	14	10	0	10
Відходи (викопне паливо та біомаса)	Відходи деревини, покришки, пластмаси, рідке паливо з відходів, тваринний жир, м'ясо-кісткова мука	14	11	11	3	0	7
Біомаса	Дерево, дерев'яні тріски, тирса, відходи сільського господарства та лісівництва	0	0	0	3	0	0

Джерело: [44, EuLA, 2006], [46, Німеччина, 2006], [64, Чехія, 2006]

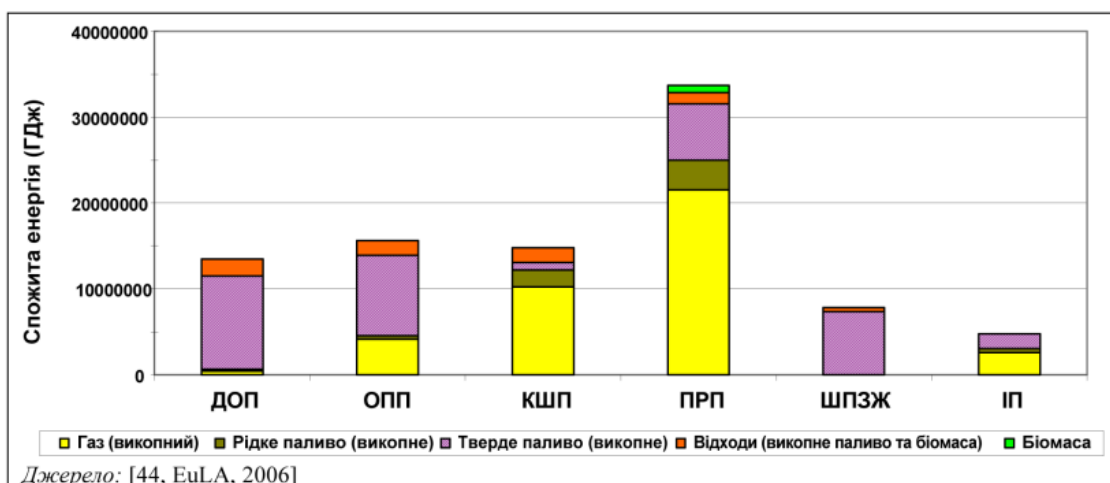


Рисунок 2.9. Види палива, що використовувалися у процесі випалу вапна у печі в країнах ЄС-27 у 2005 році

Вибір палив(а) для операції випалу вапна є дуже важливим з таких причин:

- вартість палива – вартість палива на тонну вапна може складати від 30 до 60 % собівартості;
- доступність палива на ринку;
- якість вапна – паливо впливає на якість вапна, тобто на залишковий рівень CO<sub>2</sub>, вміст домішок, білизну, активність та вміст сірки. тощо;
  - викиди – паливо впливає на кількість викидів вуглекислого газу, монооксиду вуглецю, диму, пилу, діоксиду сірки та оксидів азоту, а всі ці речовини впливають на навколишнє середовище;
- заощадження первинної енергії – мазуту та природного газу.

Порівняння різних видів палива за питомою вартістю та вмістом сірки наведено на Рисунку 3.13 у частині цього документа, присвяченій кальцинованому оксиду магнію (див. розділ 3.4.5).

Паливо підготовлюється так, як того потребує система подачі (це може бути система прямого чи опосередкованого нагрівання) – підігрівається, подрібнюється в пил. У випадку твердого палива підготовка полягає у забезпеченні належного розміру часток для встановленої завантажувальної системи. У випадку рідкого та газоподібного палива потрібно підтримувати належний тиск та (за потреби) температуру.

Вугілля часто розмелюється у вугільному млині і зберігається в силосі. Потрібно враховувати ризики безпеки, як-от ризики вибухів вугільного пилу, – наприклад, використовувати силоси, що витримують стрибки тиску до 10 бар, та застосовувати інертний газ. Лігніт, вугілля та тирсу необхідно зберігати таким чином, щоб не допускати самозаймання палива.

Приклад принципу роботи дозувальної системи для шахтної печі зображено на Рисунку 2.10 та Рисунку 2.11.

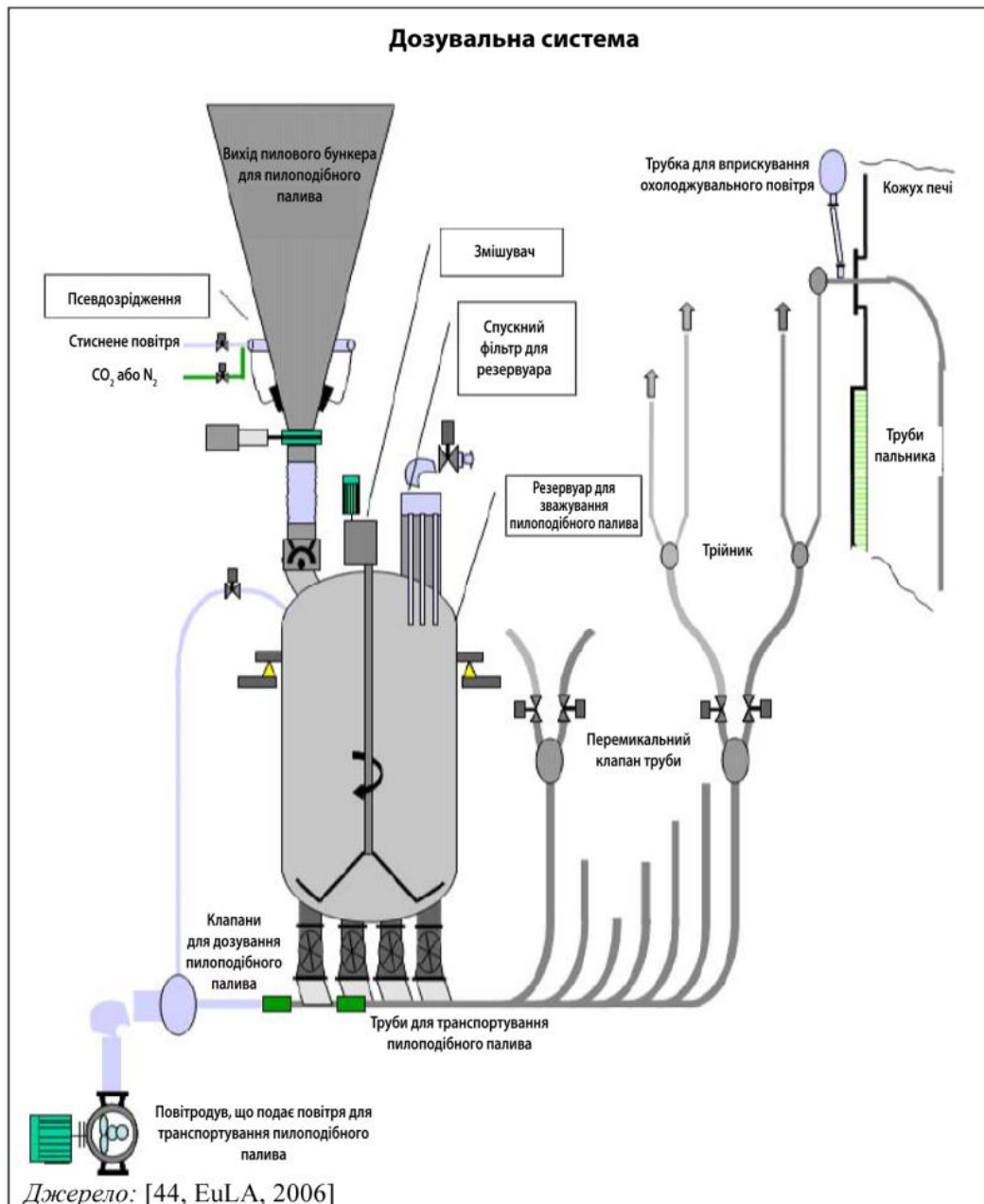


Рисунок 2.10. Схема прикладу дозувальної системи шахтної печі



Джерело: [44, EuLA, 2006]

Рисунок 2.11. Приклад дозувальної системи шахтної печі

## 2.2.5 Використання відходів

### 2.2.5.1 Загальні аспекти

Виробництво вапна потребує підведення значної кількості енергії, тож на паливо припадає найбільша частка собівартості. Використання палива з відходів дає змогу виробникам вапна зменшити споживання викопних видів палива, таких як газоподібні та рідкі види палива, і сприяє рентабельності вапняного сектору у Європі. Починаючи з 1997 року, європейська вапняна промисловість використовує більше палива з відходів, а також біомаси. Проте для використання такого палива з відходів у виробництві вапна велике значення має його якість. Крім того, використання відходів впливає на якість вапна, наприклад, встановлює обмеження на використання вапна. У будь-якому випадку, використання відходів з палива економічно вигідне з огляду на транспортні витрати та ціни за одиницю такого палива.

У країнах-членах ЄС використання відходів з палива регулюється доволі різноманітними правовими вимогами. Встановлені вимоги щодо характеристик відходів та кількості речовин, які містяться у відходах. У Франції, Німеччині та Великій Британії є переліки технічних вимог та порогових значень, які можуть різнитися залежно від регіону. Крім того, для металів встановлені різні порогові значення з різними сумарними значеннями, визначені національними чи регіональними органами влади.

Як і в будь-якому випадку переходу на інший вид палива, з огляду на вимоги до конкретного продукту та характер виробничих процесів, потрібно враховувати і дуже точно визначати фізичні властивості палива, отриманого з відходів (наприклад, фізичний стан, нижча теплота згорання, хімічний склад). Відходи з високою теплою згорання, як-от деякі попередньо перероблені фракції сміття, можуть замінити первинне паливо у печах випалу вапна. Тому вкрай важливо забезпечити постійну якість відходів – наприклад, достатню теплоту згорання, високу реактивність, низький вміст вологи, металів, хлору та золи. Крім того, відходи повинні підходити для пальників (багатоканальних пальників).

Вибір належних видів палива з відходів також залежить від потрібних рівнів якості продукції та від технічних можливостей подавати їх у вибрану піч. Їх використання обмежене головним чином такими чинниками:

- фізичні та хімічні властивості, які не завжди задовольняють відповідні фізичні, хімічні вимоги чи вимоги, пов'язані з конкретним технологічним процесом. Наприклад, у печах типу ПРП неможливо спалювати шматки твердого палива;

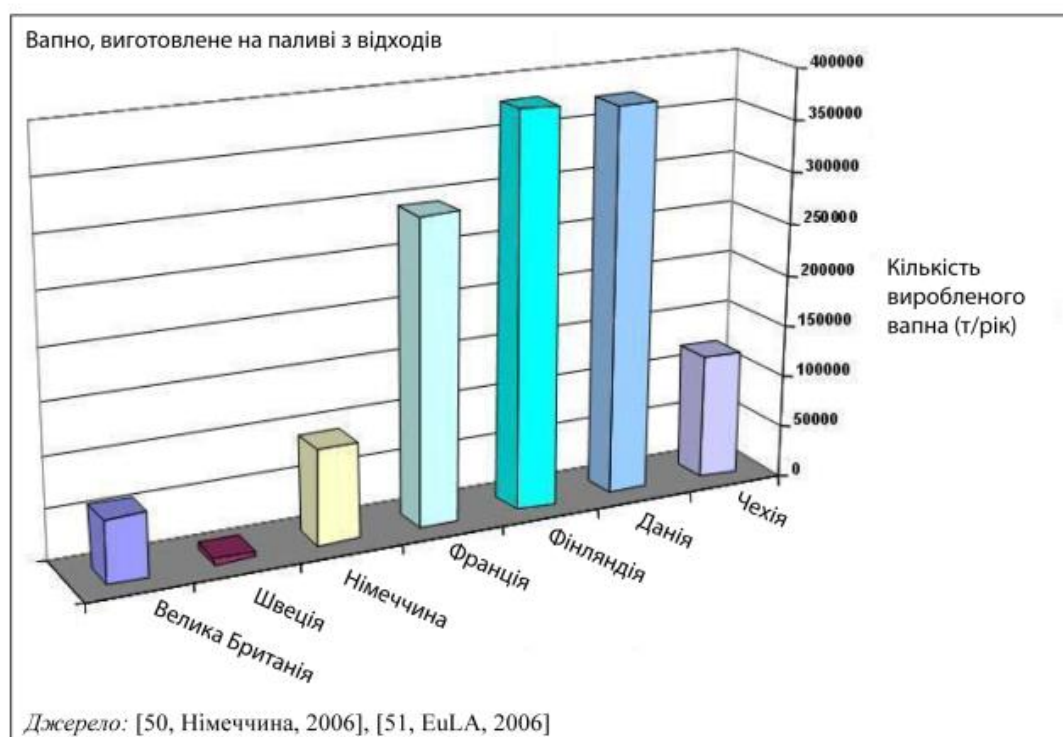


- доступність на ринку.

Паливо з відходів повинно бути доступним у достатній кількості. Такі види палива не готуються на вапняних заводах. Різні види горючих відходів чи відходів з фракціями, які мають високу теплоту згорання, і які можна відділити, зазвичай готуються на спеціальних об'єктах (установках) оброблення відходів таким чином, щоб їх можна було відразу спалювати у печах випалу вапна без додаткової обробки на виробничому майданчику. Виняток становить фільтрування рідкого палива, яке запобігає забиванню регулювальних клапанів чи пальника грубими частками.

При виборі палива (викопного чи з відходів) також слід враховувати вимоги до якості продукції; вибір палива суттєво залежить від обставин на конкретному об'єкті. Тому для виробництві вапна підходить обмежена кількість різновидів палива з відходів.

На ці види палива з відходів припадає близько 4 % усієї енергії, що споживається європейською вапняною промисловістю. У 2005 році паливо з відходів використовувалося у семи країнах – у Чехії, Данії, Фінляндії, Франції, Німеччині, Швеції та Великій Британії, як показано на Рисунку 2.12.



**Рисунок 2.12.** Кількість вапна, виробленого на палива з відходів у різних європейських країнах

Корисна інформація про переробку відходів наведена в Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для керування переробкою відходів [48, Європейська комісія, 2005].

Інформація про спалювання відходів також наведена у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для спалювання відходів [87, Європейська комісія, 2001].

### 2.2.5.2 Технічні аспекти

При використанні відходів у якості палива процес виготовлення вапна принципово не змінюється. Печі випалу вапна можуть працювати з дуже різними коефіцієнтами заміни – від низьких коефіцієнтів заміни, за яких паливо з відходів вносить лише невеликий відсоток загальної енергії, до повної заміни.

Відходи можна використовувати в обертових печах (ОП), кільцевих шахтних печах (КШП), прямоочних регенеративних печах (ПРП) або інших шахтних печах (ІШП). Вибір типу печі залежить від вимог до якості та виробничих потужностей. На Рисунку 2.13 показано кількість та типи печей, які працюють на паливі з відходів, у різних європейських країнах. Детальніша інформація про різні типи печей, що використовуються у вапняній промисловості, наведена у розділі 2.2.7 цього документа.

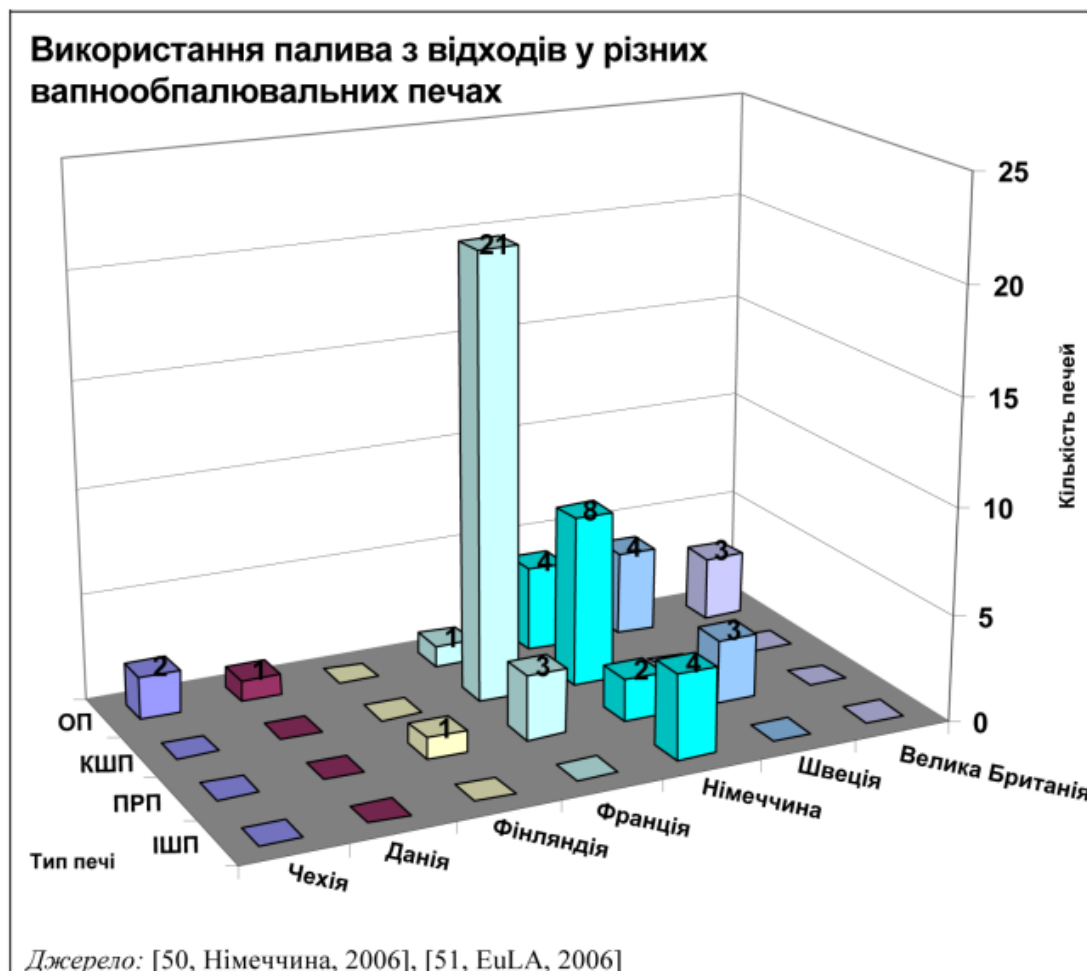
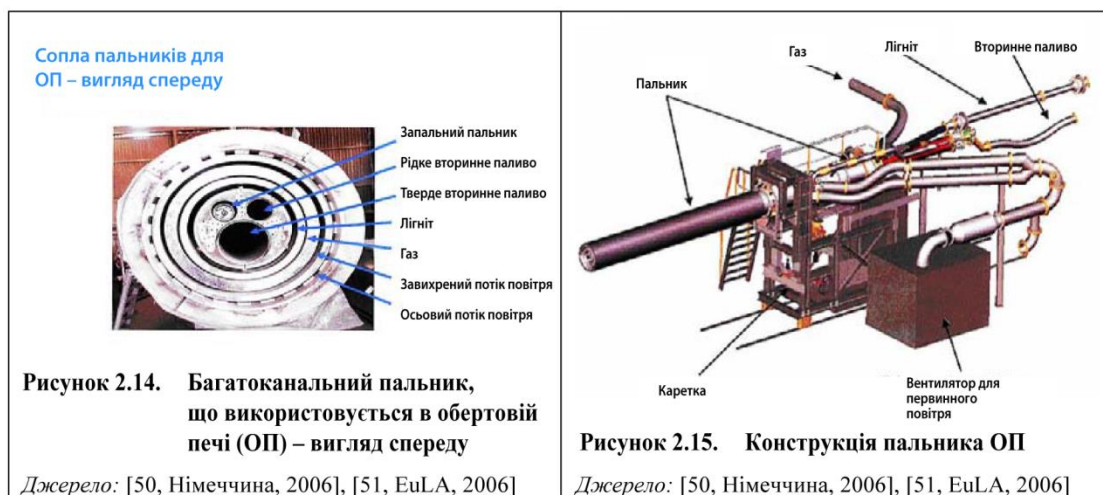


Рисунок 2.13. Розподіл печей випалу вапна, що працюють на паливі з відходів, у різних європейських країнах

Для використання палива з відходів у згаданих вище печах, окрім прямоочних регенеративних печей (ПРП), потрібно використовувати спеціальні пальники для газоподібного палива або для рідкого палива. Ці печі обладнані впорскувальними трубками, спеціально сконструйованими для спалювання газоподібних, рідких та твердих видів палива.

У обертових печах (ОП) також можна використовувати так звані багатоканальні пічні пальники для спалювання різних видів палива (газоподібних, рідких та твердих), як показано на Рисунку 2.14 та Рисунку 2.15.



### 2.2.5.3 Типи палива з відходів, що використовуються

Відмінності, які спостерігаються між видами палива з відходів, що використовуються в різних європейських країнах, великою мірою залежать від їх доступності на ринку, як видно з Таблиці 2.12.

Таблиця 2.12. Типи палива з відходів, що використовуються в різних європейських країнах

Країна	Типи палива з відходів		
	Рідина	Пилоподібна тверда речовина	Грудкова тверда речовина
Чехія	x		x
Данія		x	
Фінляндія	x		
Франція	x	x	x
Німеччина	x	x	x
Швеція	x		x
Велика Британія	x		

Джерело: [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006]

Рідкі та тверді види палива з відходів складаються з перелічених нижче компонентів і можуть спалюватися в різних печах, як наведено в Таблиці 2.13 та Таблиці 2.14.

Таблиця 2.13. Компоненти рідких та твердих видів палива з відходів

Рідке паливо з відходів	Тверде паливо з відходів
Відпрацьовані оливи	Види палива, отримані з твердих відходів
Розчинники та види палива, отримані з рідких відходів	Пластмаси (крім ПВХ)
Тваринний жир	Відходи деревини
	Шини
	М'ясо-кісткова мука

Джерело: [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006]

Таблиця 2.14. Паливо з відходів, що використовується в різних типах печей

Тип печі	Тип палива з відходів		
	Рідина	Пилоподібна тверда речовина	Грудкова тверда речовина
Довга обертова піч (ДОП)	х	х	х
Обертова піч з підігрівачем (ОПП)		х	х
Прямоточна регенеративна піч (ПРП)	х	х	
Кільцева шахтна піч (КШП)	х	х	х
Інші печі (ІП)	х	х	
<i>Джерело:</i> [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006]			

Рідкі види палива з відходів можна використовувати в обертових печах (ДОП, ОПП), кільцевих шахтних печах (КШП), паралельних регенеративних печах (ПРП) та спеціальних типах інших печей (ІП), наприклад, у звичайних шахтних печах з боковим пальником та у шахтних печах з подвійною похилою камерою. Якщо тверде паливо пилоподібне, його можна використовувати у всіх згаданих вище типах печей. Невеликі шматки твердого палива можна використовувати в обертових печах (ДОП, ОПП) або в кільцевих шахтних печах. При використанні відходів у якості палива не утворюється ні твердих, ні рідких відходів.

Технології, що використовуються постачальниками для підготовки і змішування палива з відходів з метою досягнення певних рівнів якості залежать від матеріалу, що завантажується в систему, та вимог користувачів. Перелічені нижче види нешкідливого твердого палива переробляються (наприклад, сортуються, дробляться та гранулюються) на установках переробки відходів для використання у виробництві вапна:

- однотипні відходи з високою теплотою згорання, як-от використані покривки, тваринна мука;
- суміші різних однотипних відходів (наприклад, текстильні чи пластикові відходи, характерні для конкретного виробництва);
- відділені фракції змішаних комунально-побутових відходів, змішаних відходів гуртово-роздрібної торгівлі чи змішаних будівельних відходів та відходів від зносу будівель та споруд з високою теплотою згорання.

Рідке паливо з відходів готується шляхом перемішування різних відходів, таких як використані розчинники чи відпрацьоване мастило з належною питомою теплотворною здатністю, на спеціальних об'єктах (установках) оброблення відходів. Зазвичай необхідна лише одна проста операція попередньої обробки (видалення важких решток фракцій, осаду та води). У деяких випадках – наприклад, при переробці машинного мастила / емульсії – для видалення металевих забруднюючих речовин та добавок потрібні хімічні процеси.

Корисна інформація про переробку відходів наведена в Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для переробки відходів [48, Європейська комісія, 2005].

Рідке паливо з відходів може бути небезпечним. Це потрібно враховувати при виконанні операцій з цим типом палива (наприклад, при зберіганні чи подаванні в піч). Для запобігання викидам органічних сполук застосовується уловлювання парів. Системи уловлювання парів експлуатуються таким чином, щоб потік органічних речовин був можливим лише за наявності з'єднання з системою уловлювання парів. Система уловлювання парів і під'єднані до неї установки не виділяють газ у повітря під час нормальної роботи, за винятком випадків, коли газ потрібно скинути з міркувань безпеки.

Приклад операцій з відпрацьованим мастилом та його використання у процесі обпалювання описано у розділі 1.1 (виготовлення вапна).

У разі використання тваринного жиру слід зазначити, що такі відходи через їх в'язкість застигають за температури 40 °C і можуть засмічувати труби та арматуру. Операції з тваринним жиром необхідно здійснювати за температур понад 40 °C – для цього потрібно, наприклад, його додатково нагрівати [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006].

### 2.2.5.4 Контроль якості твердого палива з відходів

З огляду на вимоги до конкретного продукту та характер виробничих процесів, паливо з відходів повинно мати дуже точно визначені фізичні властивості. У виробництві вапна можна використовувати лише відходи, характеристики яких підходять для цієї конкретної мети.

Відходи з високою теплою згорання можуть використовуватися замість первинного палива у печах випалу вапна, тому дуже важливо забезпечити постійну якість відходів – наприклад, достатню теплоту згорання, низький вміст вологи, металів, хлору та золи; крім того, відходи повинні підходити для пальників. Таке паливо зазвичай готується на спеціальних об'єктах (установках) оброблення відходів.

Перед тим, як відходи будуть підготовлені постачальником, їх потрібно перевірити та проаналізувати на предмет різних характеристик якості – наприклад, заданої достатньої теплоти згорання, низького вмісту вологи та забруднюючих речовин, таких як сірка, хлор та метали, оскільки вони також можуть забруднити вапно. Приклади вмісту типових забруднюючих речовин, який допускається у відпрацьованому мастилі та тваринному жири, що використовується у виробництві вапна, наведені у розділі 6.3.2.2 (див. Таблицю 6.30). Паливо з відходів може виготовлятися в різних формах – наприклад, у вигляді гранул. Крім того, підготовлені та доставлені відходи також аналізуються перед спалюванням у печі. Для аналізу різних відходів використовується спеціальне лабораторне обладнання. Приклад контролю якості твердого палива з відходів, що спалюється в обортових печах, наведений у розділі 6.3.4 [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006].

Щоб гарантувати необхідні характеристики палива з відходів, потрібна система контролю якості. Ця система, зокрема, встановлює процедури відбору проб, підготовки проби, аналізу та зовнішнього моніторингу. Більше корисної інформації можна знайти у технічних вимогах Європейського комітету зі стандартизації, таких як CEN/TC 343 «Тверде відновлене (відновлювальне) паливо».

Походження та класифікація відходів мають бути вказані згідно з Європейським каталогом відходів (EWC) [49, Європейська комісія, 2000]. У цьому каталозі відходи класифікуються та поділяються на категорії залежно від того, як вони утворилися, та від їх характеристик. На Європейський каталог з відходів посилається ряд Директив ЄС та Рішень Європейської комісії щодо керування відходами.

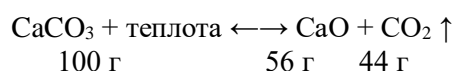
Постачальник відходів повинен класифікувати відходи та підтвердити, що готове до використання паливо має характеристики, вказані для виготовлення вапна у різних печах.

Приклад контролю якості, разом з поясненням класифікації відходів, описано у розділі 6.3.4 [44, EuLA, 2006], [46, Німеччина, 2006].

## 2.2.6 Виробництво негашеного вапна та доломітового вапна

### 2.2.6.1 Кальцинування вапняку – хімічна реакція

Вапно виготовляється шляхом обпалювання карбонатів кальцію та/або магнію за температур від 900 до 1200 °С. Крім того, можуть використовуватися температури до 1800 °С – наприклад, для забезпечення спікання (наприклад, повністю випаленого доломітового вапна). Ці температури достатньо високі для вивільнення вуглекислого газу та отримання похідного оксиду. Ця хімічна реакція термічного розкладу карбонату кальцію часто називається «кальцинуванням» і може бути записана так:



Тому технологічний процес залежить від належної температури випалу, яка повинна перевищувати принаймні 800 °С, щоб забезпечити декарбонізацію та належний час перебування в системі, тобто гарантувати, що вапно/вапняк буде зазнавати дії температур 1 000 – 1 200 °С протягом достатньо довгого часу для контролю його реактивності.

Реактивність негашеного вапна є мірою інтенсивності, з якою негашене вапно реагує у присутності води. Метод випробування для вимірювання реактивності меленого вапна шляхом гасіння вапна у воді описаного у Європейському стандарті EN 459-2. Для вимірювання реактивності грудкового вапна у вапняній промисловості використовуються деякі інші методи – наприклад, так званий «тест Вюрера» [44, EuLA, 2006].

Реактивність вапна залежить від різних параметрів сировини та технологічного процесу, а саме таких:

- температура та час випалу;
- кристалічна структура вапняку;
- домішки у вапняку;
- тип печі та паливо.

Вапно часто класифікується за реактивністю, наприклад:

- повністю випалене;
- тверде;
- середнє;
- м'яке.

Стандартний європейський метод оцінки реактивності вапна полягає у вимірюванні часу – так званого «t60» – за який суміш вапна та води (за стандартних умов) нагрівається від 20 до 60 °С. На практиці, чим більший час «t60», тим нижча реактивність виготовленого вапна. Проте не існує стандартів, які б визначали якість продукту (м'яко, помірно, сильно випалений), оскільки між цими категоріями немає чітких меж. На Рисунку 2.16 показана зміна реактивності (t60) як функції від температури випалу, а також характеру вапняку.

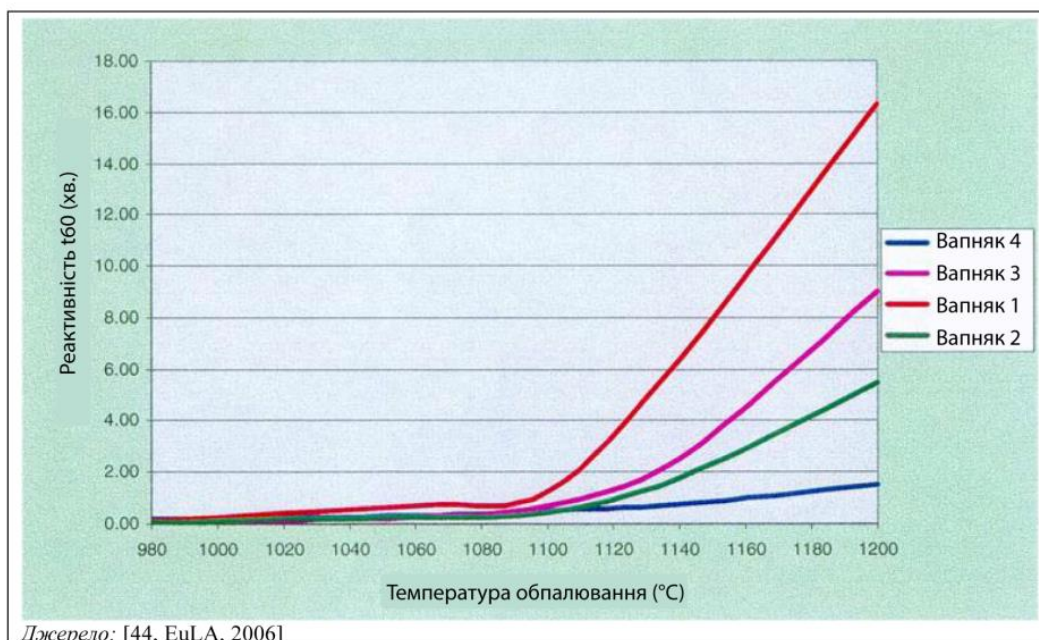
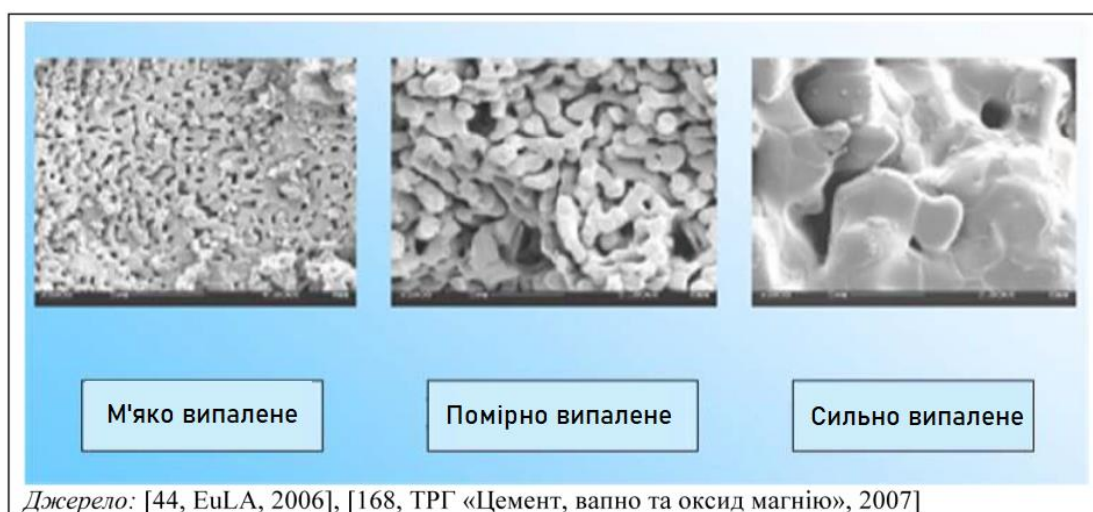


Рисунок 2.16. Зміна реактивності залежно від температури випалу та типу вапняку

Вапно з нижчою реактивністю часто називається середнім, твердим або повністю випаленим. Зниження реактивності супроводжується зменшенням поверхні та пористості вапна – цей процес називається спіканням.

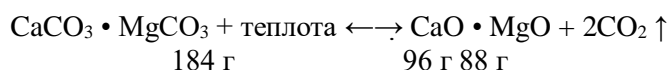
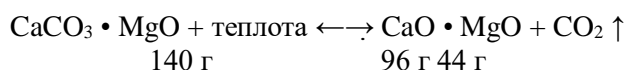
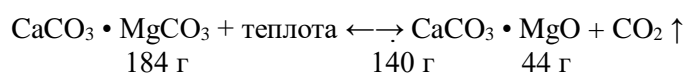
Кожен конкретний тип вапна має певну реактивність, яка, в свою чергу, визначається вимогами сфери застосування та конкретного технологічного процесу. Як зазначено вище, характеристики вапна також залежать від вапнякового матеріалу, що завантажується в піч, типу печі та палива, що в ній використовується. Наприклад, шахтні печі, які працюють на вугіллі, загалом виготовляють негашене вапно з реактивністю від середньої до низької, а прямоочні регенеративні печі, що працюють на газі, зазвичай виготовляють вапно з високою реактивністю. Хімічний склад та реактивність вапна є основними параметрами, якими керується ринок.

На Рисунку 2.17 показана відмінності у морфології (формі часток) та поверхні м'яко випаленого вапна у порівнянні з помірно та сильно випаленим вапном, зняті та відскановані растровим електронним мікроскопом (РЕМ, збільшення зображення: РЕМ x5000).



**Рисунок 2.17. Морфологія м'яко, помірно та сильно випаленого вапна**

Процес розкладання доломітів та магнезійного/доломітового вапняку набагато складніший. Розкладання може протікати в один або два окремі етапи чи навіть з проміжними етапами [44, EuLA, 2006]:



Температура, необхідна для розкладання доломітів та магнезійного/доломітового вапняку, зазвичай знаходиться в діапазоні 500 – 750 °С.

### 2.2.6.2 Кальцинування вапняку у печі

Проходження вапняку (зі значним вмістом карбонату магнію або без нього) через піч можна розділити на три ступені або зони теплопередачі, зображені на Рисунку 2.18 і описані нижче:

1. *Зона підігрівання:* Вапняк нагрівається з температури навколишнього середовища до приблизно 800 °С за рахунок прямого контакту з газами, які виходять з зони кальцинування і складаються головним чином із продуктів згорання, а також надлишку повітря та CO<sub>2</sub>, що утворюється в результаті кальцинування.
2. *Зона випалу або зона кальцинування:* Паливо згорає у попередньо підігрітому повітрі, що надходить із зони охолодження, і (залежно від конструкції) у додатковому повітрі «для забезпечення згорання», що додається разом з паливом. У цій зоні створюються температури >900 °С. За температур від 800 до 900 °С поверхня вапняку починає розкладатися. За температур, що перевищують температуру розкладання вапняку, тобто 900 °С, розкладання протікає під поверхнею вапнякової грудки. За температури 900 °С ці грудки виходять із зони кальцинування, проте іноді застрягає всередині у вигляді залишкового вапняку. Якщо грудка повністю розклалася і залишається в зоні кальцинування, відбувається її спікання.
3. *Зона охолодження:* Негашене вапно, що виходить із зони кальцинування за температур 900 °С, охолоджується за рахунок безпосереднього контакту з «охолоджувальним» повітрям, функцію якого виконує частина або все повітря для забезпечення згорання, яке, у свою чергу, підігрівається. Вапно виходить із цієї зони з температурою менше 100 °С.

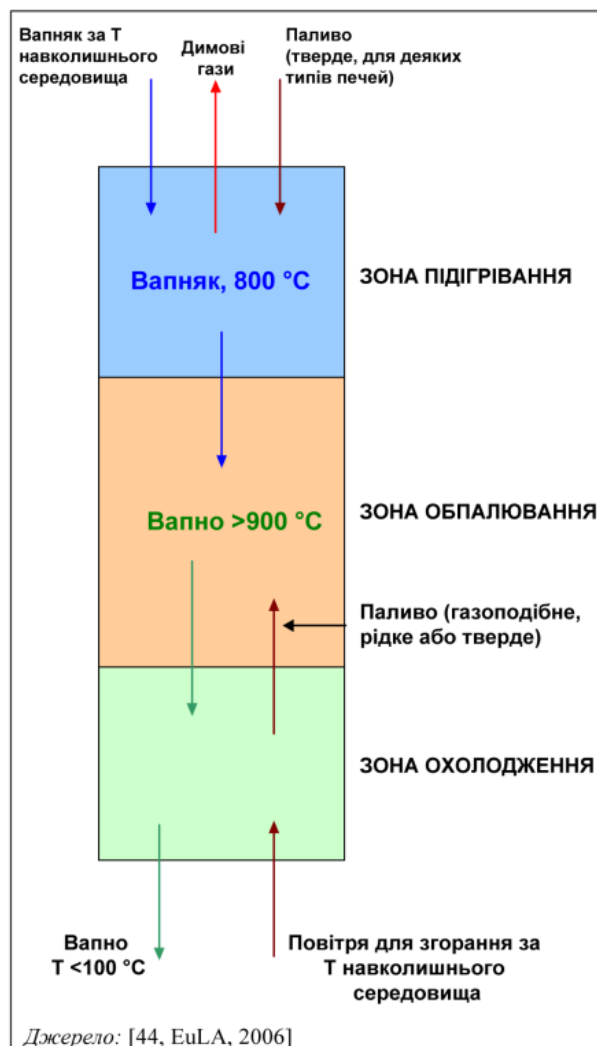


Рисунок 2.18. Загальні принципи кальцинування вапна

Час перебування вапнякового вапна у печі різниться залежно від типу печі та потрібного типу готового продукту. Практика показує, що цей період складає від шести годин до двох днів.



Негашене вапно часто називають легко (або м'яко), помірно чи сильно випаленим, залежно від того, якою мірою воно кальциноване. Практика показує, що ступінь реактивності, тобто здатності реагувати з водою, зменшується зі збільшенням пористості.

Таким чином, інтенсивність розкладання вапняку в печі залежить від кількох факторів, притаманних самим часткам вапняку, тобто їх морфології та складу, та від умов технологічного процесу. Основні змінні характеристики виявилися такими:

- хімічні характеристики вапняку;
- розмір та форма часток;
- температурний профіль зони кальцинування;
- інтенсивність теплообміну між газами та твердими частками.

Більшість печей, що використовуються, мають шахтну або обертову конструкцію. Існує кілька інших видів печей, що працюють за різними принципами. У всіх цих конструкціях реалізована концепція трьох зон. У той час як шахтні печі зазвичай мають вбудовану зону підігрівання, деякі інші печі випалу вапна, а саме обертові печі, іноді працюють у поєднанні з окремим підігрівачами. Використовується два основні типи підігрівачів – вертикальний шахтний підігрівач та підігрівач з рухомою колосниковою решіткою.

Для більшості пічних систем характерний потік твердих речовин та газів назустріч одне одному – з цього випливають певні наслідки для результуючих викидів забруднюючих речовин.

### 2.2.6.3 Обробка негашеного вапна

Мета обробки рядової маси (РМ) негашеного вапна полягає в тому, щоб виробити ряд сортів вапна з розмірами фракцій та рівнями якості, потрібними для різних сегментів ринку. Використовується ряд окремих процесів, таких як просіювання, дроблення, подрібнення в пил, помел, пневматична класифікація та транспортування. Добре спроектований завод з переробки вапна досягає ряду цілей, а саме:

- максимально збільшити вихід основної продукції;
- максимально збільшити вихід додаткових сортів (переважно дрібних фракцій);
- покращити якість певної продукції;
- забезпечити гнучкість для зміни виходу продукції у відповідь на зміни у ринковому попиті.

На переробному заводі має бути передбачений належний склад – як для продукції, так і для проміжних матеріалів – для створення буферу між піччю, яка найкраще працює в безперервному режимі, та відвантаженням, яке часто скорочується вночі та на вихідних.

Рядова маса вапна часто просіюється – зазвичай до фракцій близько 5 мм. Якщо розмір максимальної фракції рядової маси вапна перевищує, скажімо, 45 мм, його розмір зменшується таким чином, щоб утворена кількість дрібних фракцій була мінімальною. Для цього широко використовуються щоківі та валкові дробарки. Подрібнена рядова маса вапна далі подається на багатоярусне сито, на якому утворюється вторинна дрібна фракція (наприклад, менше 5 мм) та зернисті, або «грудкуваті», фракції вапна (наприклад, 5 – 15 мм та 15 – 45 мм).

Продукція зберігається в бункерах, звідки її можна безпосередньо відвантажувати або передавати на іншу установку для помелу чи гідратації.

#### 2.2.6.3.1 Виробництво подрібненого меленого негашеного вапна

Попит на різні сорти та рівні якості меленого негашеного вапна швидко зростає з 1950-х років. Вимоги до розміру часток різняться від порівняно грубої продукції, що використовується для стабілізації ґрунтів, до дуже дрібно розділеної продукції для спеціальних випадків застосування.

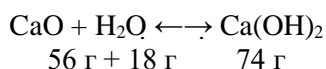
Грубіша продукція виготовляється порівняно дешево – за одне проходження через молотковий млин, обладнаний вбудованим кошиком. Дрібніша продукція виготовляється переважно у кульових млинах та вертикальних млинах з роликівими пресами. На більшості помельних установок використовуються системи пневматичної класифікації.

#### 2.2.6.4 Виробництво гашеного та/або гідратованого вапна

Гашеним вапном називається така продукція, як гідратоване вапно (сухий порошок гідроксиду кальцію), вапняне молоко та вапняне тісто (суспензія часток гідроксиду кальцію у воді).

##### 2.2.6.4.1 Виробництво гідратованого вапна

Гідратація вапна полягає в додаванні води до оксиду кальцію у гідраторі. Кількість води, що додається, приблизно вдвічі перевищує стехіометричну кількість, необхідну для протікання реакції гідратації. Надлишок води додається для обмеження росту температури, зумовленого виділенням тепла у наведеній нижче реакції випаровування:



Існує багато різних конструкцій гідраторів, проте сам технологічний процес, по суті, можна описати так, як зображено на Рисунку 2.19. Гідратор складається, наприклад, з обертових лопатей, які інтенсивно перемішують вапно у присутності води. У ньому протікає інтенсивна екзотермічна реакція, у якій утворюється 1,14 МДж енергії на кг оксиду кальцію. Процес гідратації регулюється таким чином, щоб у якості готового продукту був отриманий сухий порошок. Після гідратації продукт передається у класифікатор. Усі грубі фракції або їх частина можуть бути збережені у сховищі, помелені або перероблені. Продукція зберігається в силосах.

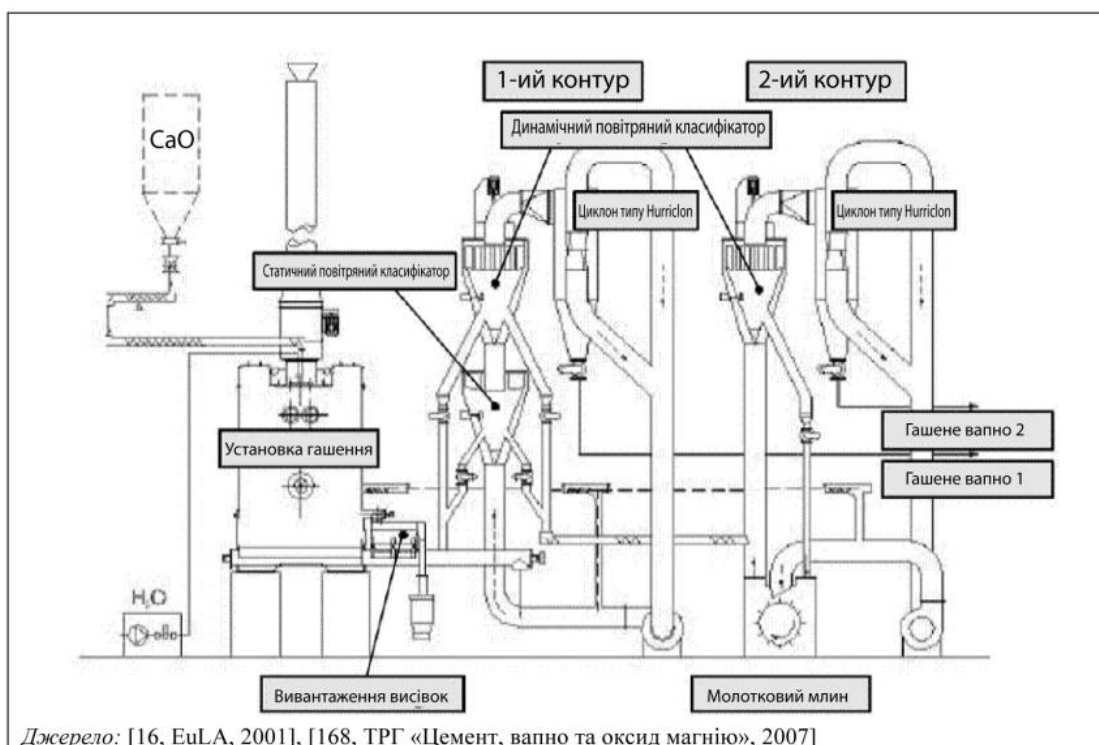


Рисунок 2.19. Схема гідратора для гасіння вапна

Деякі гідратаційні установки покращують якість гідратованого вапна шляхом видалення низькосортного матеріалу, який складається з грубих, насичених карбонатами фракцій. Ці низькосортні фракції матеріалу за можливості додаються у вибрану для цього продукцію. Якщо це неможливо, вони викидаються на звалище.

#### 2.2.6.4.2 Виробництво вапняного молока та вапняного тіста

Вапняне молоко та вапняне тісто виготовляються шляхом гашення вапна з надлишком води. Вапно гаситься у вапногасниках як періодичної, так і безперервної дії. Термін «вапняне молоко» описує рідку суспензію гашеного вапна у воді. Вапняне молоко може містити до 40 % твердих часток за вагою. Вапняне молоко з високим вмістом твердих часток іноді називають вапняною кашею. Вапняне тісто – це густа суспензія гашеного вапна у воді. Вапняне тісто зазвичай містить від 55 до 70 % твердих часток за вагою. Напіврідке вапняне тісто іноді називають вапняною пастою.

У багатьох випадках застосування – наприклад, у складі розчину для будівель або у якості реагенту в хімічних реакціях – вапно використовується у вигляді гідроксиду, у вигляді завису в воді (як вапняна каша) або у вигляді пасти.

З міркувань зручності споживачі вапна більш воліють працювати з гідратованим вапном у порошкоподібній формі, яке розчиняється у воді, ніж з негашеним вапном. Процес гашіння – це тонкий екзотермічний процес, що потребує спеціального обладнання, тож споживачі вапна воліють його уникати. Крім того, гідратоване вапно може бути зручнішим, ніж негашене вапно, тому що останнє негайно реагує з вологою. І нарешті, процес гідратації дає змогу підвищити якість (вихід) продукції за рахунок видалення грубих невипалених часток ( $\text{CaCO}_3$ ) або інших грубих домішок.

#### 2.2.7 Типи печей випалу вапна – технології та конструкція

Протягом багатьох років у всьому світі використовувалося велике розмаїття технологій та конструкцій печей. Хоча серед печей випалу вапна, проданих за останні роки, переважала невелика кількість конструкцій, існує багато альтернативних варіантів, які можуть особливо добре підходити для спеціальних випадків застосування. При виборі технології печі необхідно враховувати властивості вапняку, як-от його міцність перед обпалюванням та після нього, тип доступного палива та якість продукції. Багато виробників вапна використовують два або більше типів печей, завантажуючи в них різні фракції вапняку та виготовляючи вапно різної якості, – завдяки цьому вони ефективніше використовують природні ресурси, а це є хорошим методом охорони навколишнього середовища.

Існує шість загальних типів печей, що використовуються для виготовлення вапна. Головними важливими факторами у виборі печі загалом є такі фактори:

- характер родовища мінеральної сировини;
  - характеристики, доступність та якість вапняку;
- гранулометричний вхідної сировини;
  - механічні властивості матеріалу, що завантажуються в піч;
  - дрібні фракції;
- способи застосування продукції споживачами з точки зору властивостей вапна;
- потужність печі;
- доступність палива (у тому числі палива з відходів);
- витрати (на паливо, інвестиційні та експлуатаційні).

Типова продуктивність та розмір фракцій каменю, що завантажуються в піч, наведені у Таблиці 2.15. Загальний термін служби печей, що використовуються для виготовлення вапна, складає від 30 до 45 років.

Таблиця 2.15. Експлуатаційні параметри різних типів печей випалу вапна

Тип печі	Скорочення	Діапазон виходу продукції (т/добу)	Діапазон фракцій каменю, що завантажуються в піч (мм)
Довга обертова піч	ДОП	160 – 1 500	2 – 60
Обертова піч з підігрівачем	ОПП	150 – 1 500	10 – 60
Прямоточна регенеративна піч	ПРП	100 – 600	10 – 200
Кільцева шахтна піч	КШП	80 – 300	10 – 150
Шахтна піч зі змішаним живленням	ШПЗЖ	60 – 200	20 – 200
Інші печі	ІП	10 – 200	20 – 250

Джерело: [16, EuLA, 2001], [44, EuLA, 2006]

Фізико-хімічні властивості вапна по своїй суті пов'язані з типом печі, що використовується для кальцинування. На вибір печі можуть впливати й інші параметри, такі як:

- тип та доступність палива;
- потужність печі;
- інвестиційні витрати;
- експлуатаційні витрати;
- вплив на навколишнє середовище.

У Таблиці 2.16 наведені типи печей, які зазвичай використовуються для виробництва конкретних типів вапна, потрібних на ринку.

Таблиця 2.16. Зв'язок між печами та типами вапна, що зазвичай виготовляються в цих печах

Реактивність	t60 <sup>(1)</sup> < 3 хв.						t60 <sup>(1)</sup> > 3 хв.					
	< 20		20 – 60		> 60		< 20		20 – 60		> 60	
Розмір зерен вапняку (мм)												
Вміст сірки у вапні	С <sup>(2)</sup>	Н <sup>(3)</sup>	С <sup>(2)</sup>	Н <sup>(3)</sup>	С <sup>(2)</sup>	Н <sup>(3)</sup>	С <sup>(2)</sup>	Н <sup>(3)</sup>	С <sup>(2)</sup>	Н <sup>(3)</sup>	С <sup>(2)</sup>	Н <sup>(3)</sup>
Довга обертова піч (ДОП)				+					o <sup>(5)</sup>	+		
Обертова піч з підігрівачем (ОПП)				+			+			+		
Прямоточна регенеративна піч (ПРП)	+		+			o <sup>(5)</sup>						
Кільцева шахтна піч (КШП)			+								+	
Шахтна піч зі змішаним живленням (ШПЗЖ)												o <sup>(5)</sup>
Інші печі (ІП)	+		+		+		+			+		

<sup>(1)</sup> t60 = показник реактивності вапна, що означає час, за який негашене вапно нагрівається з 20 до 60 °С, реагуючи з водою  
<sup>(2)</sup> С = середній: >0,05 %  
<sup>(3)</sup> Н = низький: <0,05 %  
<sup>(4)</sup> Використовується найчастіше  
<sup>(5)</sup> Використовується за певних умов  
Джерело: [44, EuLA, 2006]

У Таблиці 2.17 наведені різні властивості продукції, такі як реактивність, для різних секторів ринку або груп споживачів. Хімічний склад та реактивність вапна є найважливішими параметрами, якими керується ринок.

Таблиця 2.17. Індикаторні технічні характеристики вапна за групами споживачів

Група споживачів		Відсоток виробництва (%) у 2003 році (ІЛА) <sup>(1)</sup>	Властивості продукції – вапно				Вміст сірки
			Реактивність		Хімічний склад		
			t60 <sup>(2)</sup> < 3 хв. <sup>(3)</sup>	t60 <sup>(2)</sup> > 3 хв. <sup>(3)</sup>	Дуже чисте	CL 70 – 80 <sup>(4)</sup>	
I.	Промисловість						
	1. Чорна металургія	39	x		x	x	
	2. Кольорові метали	3				x	
	3. Хімічна промисловість	10	x		x	x	
	4. Інші галузі (наприклад, паперова промисловість)	6				x	
II.	Будівельні матеріали (промисловість) <sup>(6)</sup>	3		x		x	
III.	Будівельні матеріали (торгівля) <sup>(6)</sup>	17		x		x	
IV.	Захист навколишнього середовища <sup>(6)</sup>	16					
	1. Очищення димових газів					x	
	2. Питна вода					x	
	3. Очищення стічних вод					x	
V.	Сільське господарство	2					
Група споживачів		Відсоток виробництва (%) у 2003 році (ІЛА) <sup>(1)</sup>	Властивості продукції – доломітове вапно				Вміст сірки
			Реактивність	Хімічний склад			
				Дуже чисте	CL 70 – 80 <sup>(4)</sup>		
I.	Сталеливарна промисловість		x <sup>(5)</sup>				x
II.	Доломітове вапно не застосовується						
III.	Будівельні матеріали		Напіввипалене			DL 80 DL 85 <sup>(5)</sup>	
IV.	Доломітове вапно не застосовується						
V.			Напіввипалене			DL 80 DL 85 <sup>(5)</sup>	
VI.	Доломітове вапно не застосовується						
VII.	Вогнетривкі матеріали		Повністю випалене				x
<sup>(1)</sup> Всесвітня вапняна асоціація <sup>(2)</sup> t60 = показник реактивності вапна, що означає час, за який негашене вапно нагрівається з 20 до 60 °C, реагуючи з водою <sup>(3)</sup> Хвилини <sup>(4)</sup> CL 70 – 80 = класифікаційний стандарт CL 70 = вапно, визначене у стандарті EN 459 «Будівельне вапно» з вмістом CaO + MgO >65 % CL 80 = вапно, визначене у стандарті EN 459 «Будівельне вапно» з вмістом CaO + MgO >75 % <sup>(5)</sup> DL 80, DL 85 = класифікаційний стандарт o DL 80 = доломітове вапно, визначене у стандарті EN 459 «Будівельне вапно» з вмістом CaO + MgO >75 % o DL 85 = доломітове вапно, визначене у стандарті EN 459 «Будівельне вапно» з вмістом CaO + MgO >80 % <sup>(6)</sup> У Великій Британії використовується технічна характеристика «Дуже чисте» Джерело: [44, EuLA, 2006]							

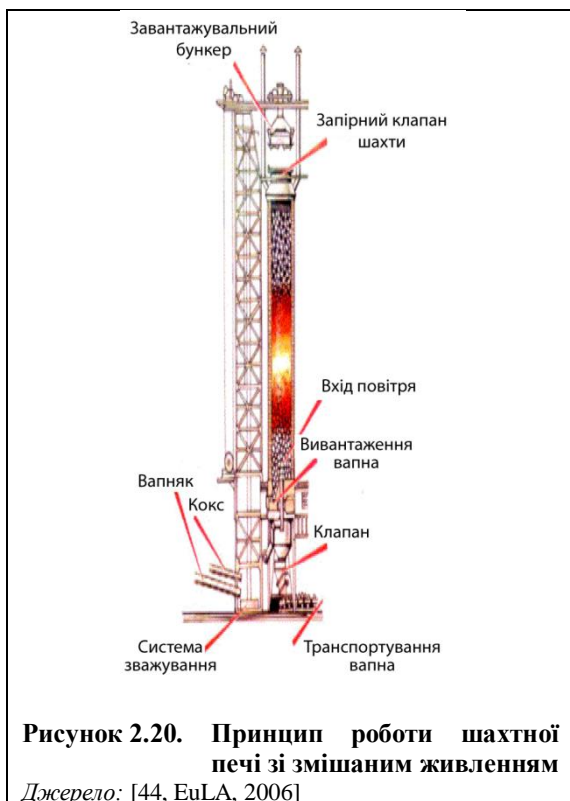
Шахтні печі складають близько 90 % всіх печей, що використовуються в Європі, тобто всього близько 551 печі. У цьому розділі описані базові принципи роботи шахтних печей з деякими відмінностями, що спостерігаються в їх підкласах, а саме:

- шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ)
  - 116 печей у країнах ЄС-27, більшість із них – у центральній Європі;
- прямоточні регенеративні печі (ПРП)
  - 158 печей у країнах ЄС-27;
- кільцеві шахтні печі (КШП);
  - 74 печей у країнах ЄС-27;
- інші печі (П)
  - 203 печі у країнах ЄС-27.

Шахтні печі мають вертикальну конструкцію, сягають 30 метрів у висоту та до 6 метрів у діаметрі. У цьому типі печі вапняк завантажується у верхню частину печі, поступово рухається вниз через різні ступені печі, і зрештою вивантажується через дно печі у вигляді вапна. Продуктивність традиційних шахтних печей обмежена складністю отримання рівномірного розподілу тепла по перерізу печі та однорідного руху матеріалу крізь піч [44, EuLA, 2006].

### 2.2.7.1 Шахтна піч зі змішаним живленням або шахтна пересипна піч (ШПЗЖ)

У шахтних печах зі змішаним живленням використовується вапняк з максимальною фракцією у діапазоні від 20 до 200 мм та з відношенням розмірів приблизно 2:1. Найбільш поширеним паливом є щільні сорти коксу з низьким вмістом золи. Розмір часток коксу лише трохи менший, ніж розмір часток каменю. Тому кокс рухається вниз разом з каменем, а не тече тонким струменем крізь пустоти. Камінь та кокс змішуються і завантажуються в піч таким чином, щоб звести до мінімуму їх розділення. Все частіше використовується антрацит: це зумовлено ціною та доступністю металургійного коксу. Принцип роботи шахтної печі зі змішаним живленням зображений на Рисунку 2.20, а приклад такої печі зображений на Рисунку 2.21.



Якість негашеного вапна зазвичай буває середньою, а реактивність – значно нижчою, ніж у негашеного вапна, отриманого в обертових печах за такого ж рівня  $\text{CaCO}_3$ . Ступінь захоплення сірки з палива високий. Основні технічні характеристики наведені у Таблиці 2.18.

**Таблиця 2.18. Основні технічні характеристики шахтних печей зі змішаним живленням**

<b>Шахтна піч зі змішаним живленням (ШПЗЖ)</b>	
Спосіб подавання палива	Змішане з вапняком
Вихід продукції (т/добу)	60 – 200
Споживання тепла (МДж/т вапна)	3 400 – 4 700
Споживання енергії/електроенергії (кВт·год./т вапна)	5 – 15
Конструкція	Вертикальна циліндрична чи прямокутна шахта з вогнетривкою футеровкою
Розмір зерен вапняку (мм)	20 – 200
Вид палива	Грудковий кокс <sup>(1)</sup> та антрацит
Вприскування повітря для згорання	Лише охолоджувальне повітря з дна
Виймання вапна	Обертова ексцентрикова пластина
Важливі моменти	Потребує однорідного змішування каменю та палива Потребує рівномірного розподілу каменю по поперечному перерізу Високий ступінь захоплення сірки з палива вапном
Переваги	Не обмежена умовами Вартість будівництва та технічного обслуговування Добре підходить для виготовлення вапна з низькою реактивністю Невисокі вимоги до електроенергії (вентиляторів) (див. Таблицю 2.23) Охолоджувальне повітря використовується як повітря для згорання Мала кількість надлишкового повітря Велика кількість $\text{CO}_2$ для ОКК <sup>(2)</sup> , цукру та соди у випадках виробництва вапна під контролем інших галузей
Недоліки	Важко досягти однорідного змішування палива з повітрям, тож відношення «повітря-паливо» нерівномірне Умови технологічного процесу призводять до викидів $\text{CO}$ Для роботи печі потрібна велика вапнякова грудка, а це скорочує період експлуатації родовищ Низька інтенсивність реакції для зміни параметрів (24 години), а отже, велика інерція
<sup>(1)</sup> Металургійний кокс <sup>(2)</sup> Осаджений карбонат кальцію Джерело: [44, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]	

### 2.2.7.2 Прямоточна регенеративна піч (ПРП)

Головною особливістю стандартної ПРП є дві кільцеві шахти, з'єднані перепускним каналом, хоча в деяких ранніх конструкціях було три шахти, а в інших – прямокутні шахти. ПРП можуть бути розраховані на вихід продукції зазвичай від 100 до 600 т/добу. На Рисунку 2.22 та Рисунку 2.24 показано основний принцип роботи та потік газу у ПРП, а на Рисунку 2.23 зображений приклад ПРП.

Принцип роботи ПРП

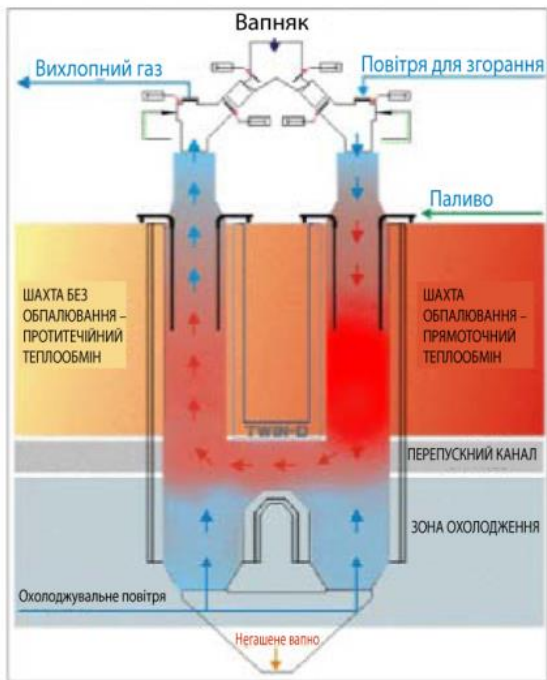
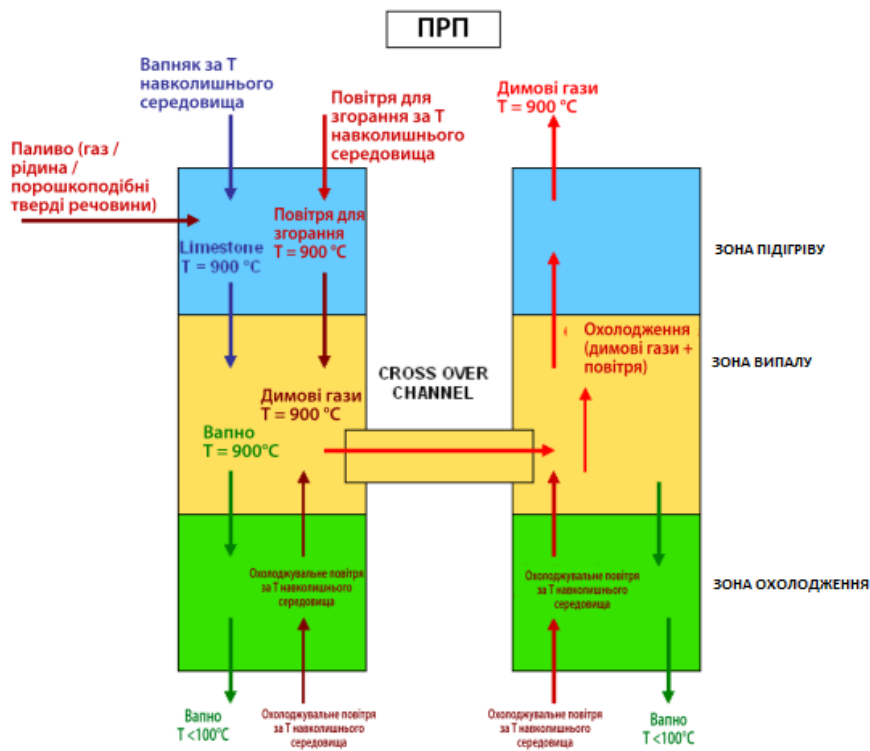


Рисунок 2.22. Принцип роботи ПРП  
Джерело: [44, EuLA, 2006]

Рисунок 2.23. Приклад ПРП  
Джерело: [44, EuLA, 2006]



Джерело: [44, EuLA, 2006]

Рисунок 2.24. Основний принцип роботи та потік газу у ПРП



Спосіб роботи базується на двох головних принципах:

- зона підігрівання у кожній шахті, окрім підігрівання каменю до температури кальцинування, діє як регенеративний теплообмінник. Надлишок тепла у газах передається каменю в іншій шахті на першому етапі процесу. Після цього тепло регенерується з каменю: воно передається у повітря для згорання, яке нагрівається до приблизно 800 °С. Завдяки цьому для печі властиве дуже низьке питоме споживання тепла;
- кальцинування негашеного вапна протікає за порівняно помірної температури – зазвичай приблизно від 900 до 1 100 °С. Завдяки цьому печі ідеально підходять для виготовлення вапна з помірною та високою реактивністю і низьким рівнем залишкового CO<sub>2</sub>.

На практиці порції вапняку поперемінно завантажуються в кожну шахту і проходять вниз через зону підігрівання, навколо трубок для вприскування палива, а потім у зону кальцинування. З зони кальцинування вони нарешті потрапляють у зону охолодження.

Робота печі складається з двох однакових періодів, які тривають від 8 до 15 хвилин за повної продуктивності. Протягом першого періоду паливо вприскується через трубки в першій шахті і згорає за участі повітря для згорання, яке вдувається зверху вниз у цю шахту. Виділене тепло частково поглинається у процесі кальцинування вапняку у цій першій шахті. Для охолодження вапна в основу кожної шахти вдувається охолоджувальне повітря. Охолоджувальне повітря в першій шахті, разом з газоподібними продуктами згорання та вуглекислим газом, що утворився в результаті кальцинування, проходить через з'єднувальний поперечний канал у другу шахту за температури близько 1050 °С. У другій шахті гази, що надходять з першої шахти, змішуються з охолоджувальним повітрям, що вдувається в основу другої шахти, і рухаються вгору. Таким чином, вони нагрівають повітря у зоні підігрівання другої шахти.

Якби піч продовжувала працювати в такому режимі, температура відхідних газів зростає б понад 500 °С. Проте через 8 – 15 хвилин потоки палива та повітря в першій шахті зупиняються, і відбувається «зворотний хід». Після завантаження вапняку в першу шахту палива та повітря вприскуються в другу шахту, а відхідні гази випускаються з верхньої частини першої шахти.

Піч може працювати на газоподібному, рідкому чи порошкоподібному твердому паливі, а також на паливі з відходів чи на біомасі. Для цієї печі також властиве велике відношення максимальної продуктивності до мінімальної, за якої вона може працювати, хоча за нижчої продуктивності може спостерігатися деяка втрата енергоефективності. Після того, як піч була запалена, її роботу небажано зупиняти, оскільки це може призвести до скорочення терміну служби вогнетривкої футеровки. Тривалість експлуатації вогнетривкої футеровки в зоні випалу та перепускному каналі складає від 4 до 8 років для більшості режимів роботи.

Для стандартної ПРП потрібен чистий камінь, в ідеалі з відношенням фракцій каменю не більше ніж 2:1. Мінімальний розмір каменів – 30 мм, хоча піч модифікованої конструкції під назвою «ПРП для дрібнозернистого вапна» може працювати з фракціями чистого вапняку від 10 – 30 мм.

У Таблиці 2.19 підсумовані головні технічні характеристики ПРП.

**Таблиця 2.19. Технічні характеристики прямоточних регенеративних печей**

<b>Прямоточна регенеративна піч (ПРП)</b>	
Спосіб подавання палива	Трубки для впрыскування у шар каменю
Вихід продукції (т/добу)	100 – 600
Споживання тепла (МДж/т вапна)	3 200 – 4 200
Споживання енергії/електроенергії (кВт· год./т вапна)	20 – 41
Конструкція	Дві або три вертикальні циліндричні чи прямокутні шахти з вогнетривкою футеровкою, з'єднані каналом для циркуляції гарячих газів
Розмір зерен вапняку (мм)	10 – 200
Вид палива	Газоподібне, рідке чи порошкоподібне тверде паливо, паливо з відходів чи біомаса
Впрыскування повітря для згорання	Зверху (основна частка) та через трубки (10 %)
Виймання вапна	Обертова ексцентрикова пластина
Важливі моменти	Дуже важливою є якість вогнетривкої кладки
Переваги	Гнучкість виробництва Висока реактивність вапна Достатньо гнучке регулювання реактивності продукції – від високої до середньої, якщо вапняк це дозволяє Хороший розподіл палива завдяки малій питомій площі поперечного перерізу, що обслуговується однією трубкою Невисокі вимоги до палива Низьке питоме споживання енергії (див. Таблицю 2.23) Довга тривалість кампанії, що припиняється лише через 5 – 7 років
Недоліки	Обмежена гнучкість пуску/зупинки Не підходить для каменю з високою схильністю до розтріскування Обмежена універсальність (м'яке та середнє обпалювання) Вогнетривка футеровка дорожча, ніж для інших типів печей випалу вапна
<i>Джерело:</i> [44, EuLA, 2006]	

### 2.2.7.3 Кільцеві шахтні печі (КШП)

Головною особливістю цього типу печі є центральний циліндр, який обмежує ширину кільця, і разом з арками для розподілу газоподібних продуктів згорання забезпечує хороший розподіл тепла, як показано на Рисунку 2.25 та Рисунку 2.27. Центральна колона також дає змогу відбирати частину газоподібних продуктів згорання від нижніх пальників, відводячи їх вниз по шахті, і впрыскувати назад у нижню камеру.

Така регенерація балансує температуру на нижніх пальниках і забезпечує низьку температуру на кінцевих етапах кальцинування. Обидва ефекти допомагають виготовляти продукцію з низьким вмістом  $\text{CaCO}_3$  та високою реактивністю. Кільцева шахтна піч (її приклад зображений на Рисунку 2.26) може працювати на газоподібному, нафтовому чи твердому паливі. У відхідних газах висока концентрація  $\text{CO}_2$ .

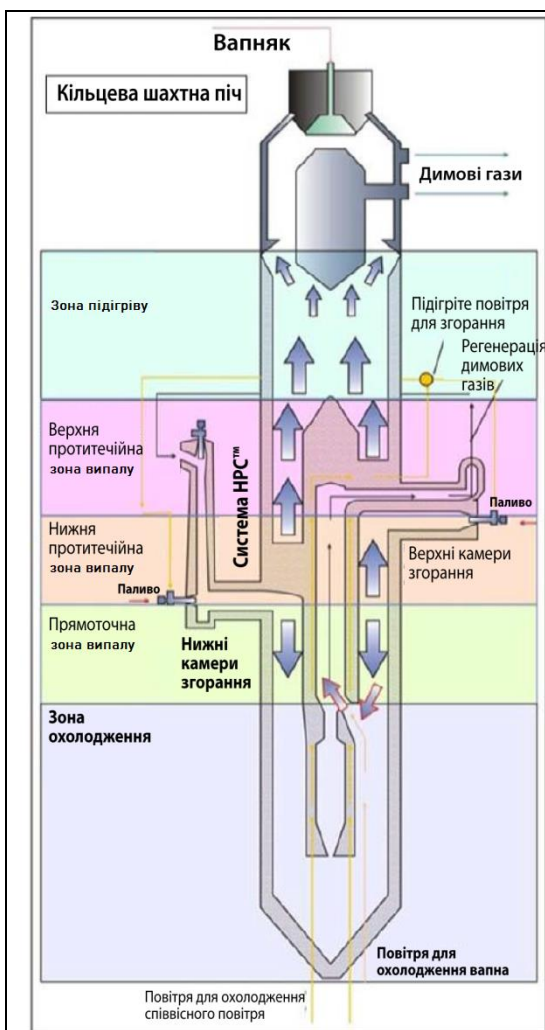


Рисунок 2.25. Кільцева шахтна піч

Джерело: [44, EuLA, 2006]



Рисунок 2.26. Приклад кільцевої шахтної печі, що використовується у виробництві вапна

Джерело: [44, EuLA, 2006]



Рисунок 2.27. Принцип роботи кільцевих шахтних печей (КШП)

Технічні характеристики кільцевих шахтних печей наведені у Таблиці 2.20 [44, EuLA, 2006].

Таблиця 2.20. Технічні характеристики кільцевих шахтних печей

Кільцева шахтна піч (КШП)	
Тип палива, що завантажується в піч	Верхня та нижня камери обпалювання; іноді у суміші з вапняком
Вихід продукції (т/добу)	80 – 300
Споживання тепла (МДж/т вапна)	3 300 – 4 900
Споживання енергії/електроенергії (кВт· год./т вапна)	18 – 35 (до 50 для фракцій зерен менше 40 мм)
Конструкція	Вертикальний циліндр з вогнетривкою футеровкою та внутрішній циліндр Зовнішні камери та пальники
Розмір зерен вапняку (мм)	(10) 40 – 150
Вид палива	Газоподібне, рідке чи порошкоподібне тверде паливо Паливо з відходів та біомаса
Вприскування повітря для згорання	У верхній частині: • канал • система пилоуловлювання • вентилятор
Виймання вапна	Обертова ексцентрикова пластина
Важливі моменти	Потребує дуже точного керування технологічним процесом
Переваги	Низький рівень залишкового CO <sub>2</sub> Реактивність від високої до середньої Заощадження палива завдяки регенерації тепла Центральний циліндр обмежує ширину кільцевого простору Хороший розподіл тепла
Недоліки	Технічне обслуговування рекуператора тепла та зовнішніх камер Порівняно висока вартість конструкції через принцип її влаштування

Джерело: [44, EuLA, 2006]

## 2.2.7.4 Інші печі (ІП)

### 2.2.7.4.1 Інші одношахтні печі

До цієї групи печей належить ряд конструкцій, не описаних вище. У цих конструкціях паливо подається через стінки печі і спалюється в зоні кальцинування, а продукти згорання рухаються вгору назустріч потоку вапна та вапняку. У деяких конструкціях паливо частково спалюється у зовнішніх газогенераторах. У інших конструкціях воно подається через пристрої, такі як центральний пальник, променевий пальник, або вприскується під зовнішніми арками.

### 2.2.7.4.2 Шахтні печі з подвійною похилою камерою

У печах цього типу можна виготовляти продукцію з низьким вмістом карбонатів, здатну вступати в реакцію. Ця піч, по суті, має прямокутний поперечний переріз, проте містить дві похилі секції в зоні кальцинування. Навпроти кожної похилої секції розташовані зміщені арки: вони утворюють простір, у який через камери згорання вприскується паливо та підігріте повітря для згорання.

Охолоджувальне повітря втягується в основу печі, де воно підігрівається, забирається і повторно вприскується через камери згорання. Звивистий шлях як газів, так і завантажених матеріалів у поєднанні зі спалюванням з обох боків забезпечує ефективний розподіл тепла. У цих печах можна використовувати ряд твердих, рідких та газоподібних видів палива, хоча їх слід ретельно вибирати таким чином, щоб уникнути зайвих нашарувань внаслідок утворення відкладень паливної золи та сульфату кальцію.

Основні особливості шахтних печей з подвійною похилою камерою показані на Рисунку 2.28.

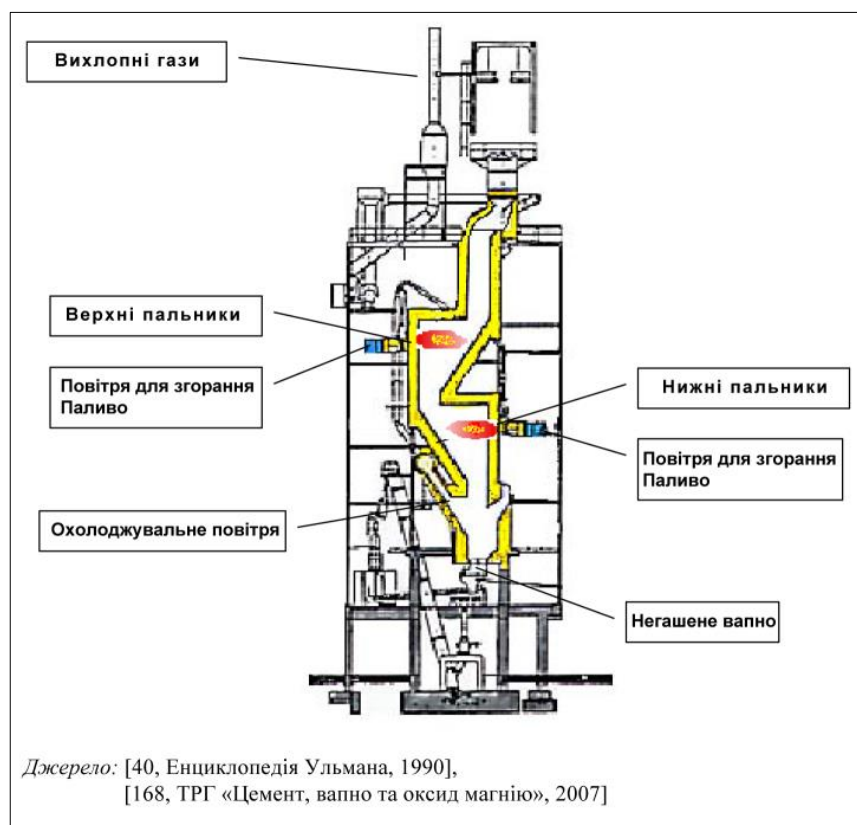


Рисунок 2.28. Шахтна піч з подвійною похилою камерою

#### 2.2.7.4.3 Багатокамерні шахтні печі

Це ще один тип печей з подвійною похилою камерою. Така піч складається з чотирьох або шести поперемінно нахилених секцій у зоні кальцинування, навпроти кожної з яких розташована зміщена арка. Арки виконують ту ж функцію, що й у печі з подвійною похилою камерою.

Охолоджувальне повітря підігрівається за рахунок контакту з вапном у зоні охолодження і відбирається, очищається від пилу та знову вприскується через камери згорання.

Особливістю печі є те, що температуру в нижніх камерах згорання можна змінювати, щоб регулювати реактивність вапна у широкому діапазоні. Ця піч може працювати на твердому, рідкому та газоподібному паливі або на суміші різних видів палива.

#### 2.2.7.4.4 Печі з рухомих колосником

Для зерен вапняку у діапазоні фракцій від 15 до 45 мм доступний такий варіант, як піч «з рухомих колосником», або піч CID. Цей тип печі був розроблений у Німеччині.

Для такої печі характерна прямокутна шахтна зона підігрівання, з якої вапняк подається у зону кальцинування. У зоні кальцинування вапняк повільно спускається через каскад з п'яти коливальних пластин, навпроти кожної з яких встановлено ряд пальників. Вапно проходить у прямокутну зону охолодження.

Піч може працювати на газоподібному, рідкому або порошкоподібному паливі; повідомляється, що у ній виготовляється м'яко випалене вапно з залишковим вмістом  $\text{CaCO}_3$  менше 2,3 %. На сьогодні побудовано чотири таких печі з потужностями від 80 до 130 тонн негашеного вапна/добу.

#### 2.2.7.4.5 Кеглеподібні печі

«Кеглеподібна» піч випалу вапна – це порівняно нова розробка, у яку можна завантажувати фракції каменю в діапазоні від 10 до 25 мм. Цей тип печі був розроблений у Японії.

Для такої печі характерна кільцева зона підігрівання, з якої вапняк виштовхується штовхальними штангами у циліндричну зону кальцинування. Газоподібні продукти згорання від оберненого вниз центрального пальника, який працює на мазуті і розташований посередині зони підігрівання, витягуються ежектором вниз у зону кальцинування. Після цього вапно спускається у конічну зону охолодження.

Повідомляється, що у цій печі виготовляється високоякісне негашене вапно, що підходить для виробництва сталі та осадженого карбонату кальцію. Потужність печей – до 100 тонн негашеного вапна/добу. Повідомляється, що завдяки порівняно невеликій висоті печі в неї можна завантажувати вапняк малої міцності.

#### 2.2.7.4.6 Печі для кальцинування у газовому завесі (КГЗ)

Печі для кальцинування у газовому завесі (КГЗ) – це технологія для обробки мінералів, такої як кальцинування вапняку, доломіту та магnezиту у вигляді порошкоподібної сировини для виготовлення однорідної продукції з високою реакційною здатністю. Проте станом на 2007 рік у країнах ЄС-27 ця технологія використовувалася лише в одній установці. Більшість процесів на установці, таких як сушіння, підігрівання, кальцинування та охолодження, виконуються у газовому завесі. Відповідно, установка складається зі стаціонарного обладнання та кількох рухомих компонентів, як показано на Рисунку 2.29.

Кількість матеріалу, присутнього в системі, незначна – це означає, що через кілька хвилин роботи продукт буде відповідати технічним вимогам. Під час пуску та зупинки немає втрат матеріалу чи якості, тож продукція нижчого сорту не утворюється. У процесі КГЗ утворюється продукт з високою реактивністю, навіть якщо він сильно кальцинований.

Матеріал, що обробляється у газовому завесі, повинен бути достатньо дрібним; практичний досвід показав, що розмір часток не повинен перевищувати 2 мм.

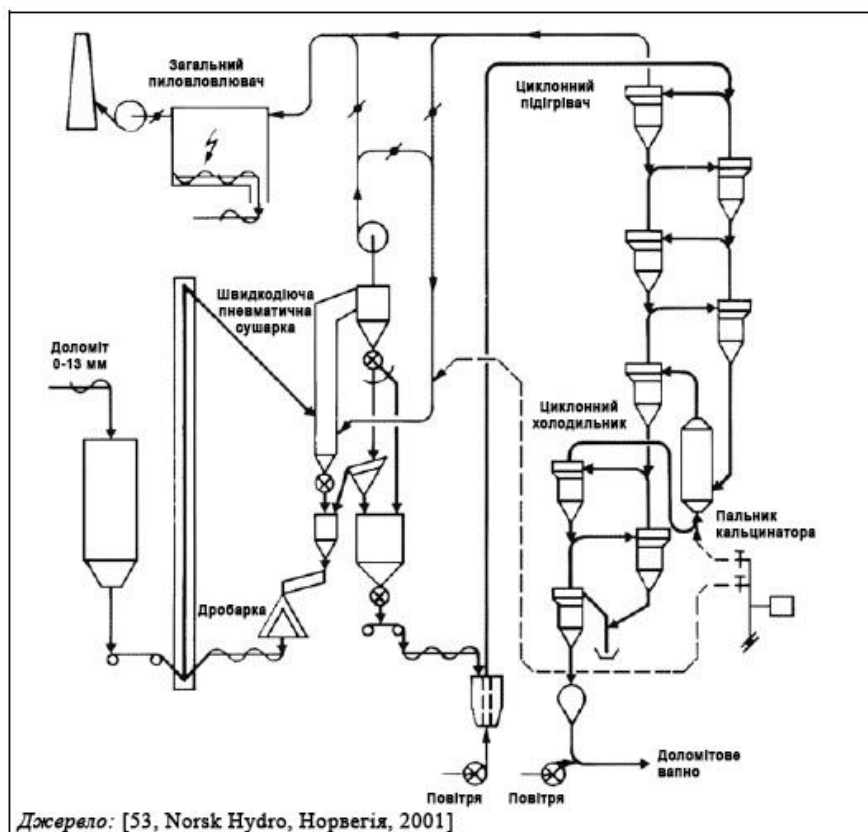


Рисунок 2.29. Технологічна схема кальцинування у газовому завесі

Установка КГЗ для виробництва доломітового вапна безперервно працює на заводі Norsk Hydro у комуні Порсгрунн, Норвегія, з серпня 1986 року. Нижче наведені деякі експлуатаційні показники для збалансованої роботи установки КГЗ та системи дроблення/сушіння [53, Norsk Hydro, Норвегія, 2001]:

- потужність установки: 430 тонн/добу
- споживання палива: 4,8 ГДж/тону продукції
- споживання електроенергії: 33 кВт·год./т продукції

#### 2.2.7.4.7 Печі з обертним подом

Цей тип печі, який зараз майже повністю вийшов з ужитку, був призначений для виробництва грудкуватого вапна. Для такої печі характерний рухомий кільцевий під, на якому рухається завантажений у піч вапняк. Рухаючись по колу на кільцевому поді, вапняк кальцинується кількома паливниками. Повітря для згорання підігрівається надлишковим теплом відхідних газів та/або за рахунок охолодження ним негашеного вапна.

Завдяки меншому стиранню у порівнянні з обертними та шахтними печами, печі з обертним подом виробляють велику частку грудкового вапна.

#### 2.2.7.5 Довгі обертві печі (ДОП)

У 2008 році в країнах ЄС-27 було близько 29 довгих обертних печей, зосереджених переважно на півночі Європи. Для довгої обертної печі характерний обертний циліндр (до 150 м у довжину), нахилений під кутом від 1 до 4 градусів відносно горизонталі, діаметром близько 2 – 4,5 м.

Вапняк завантажується у верхній кінець печі, а паливо з повітрям, яке забезпечує згорання, вприскується у її нижній кінець. Негашене вапно вивантажується з печі у вапняний холодильник, де воно використовується для підігрівання повітря, що забезпечує згорання. Використовуються різні конструкції вапняних холодильників, у тому числі планетарні агрегати, змонтовані навколо кожуха печі, рухомі колосники та різні типи протитечійних шахтних холодильників.

На Рисунку 2.30 зображена схема довгої обертової печі та типового протитечійного процесу обробки вапна; приклад печі цього типу зображений на Рисунку 2.31. Основні характеристики наведені у Таблиці 2.21.

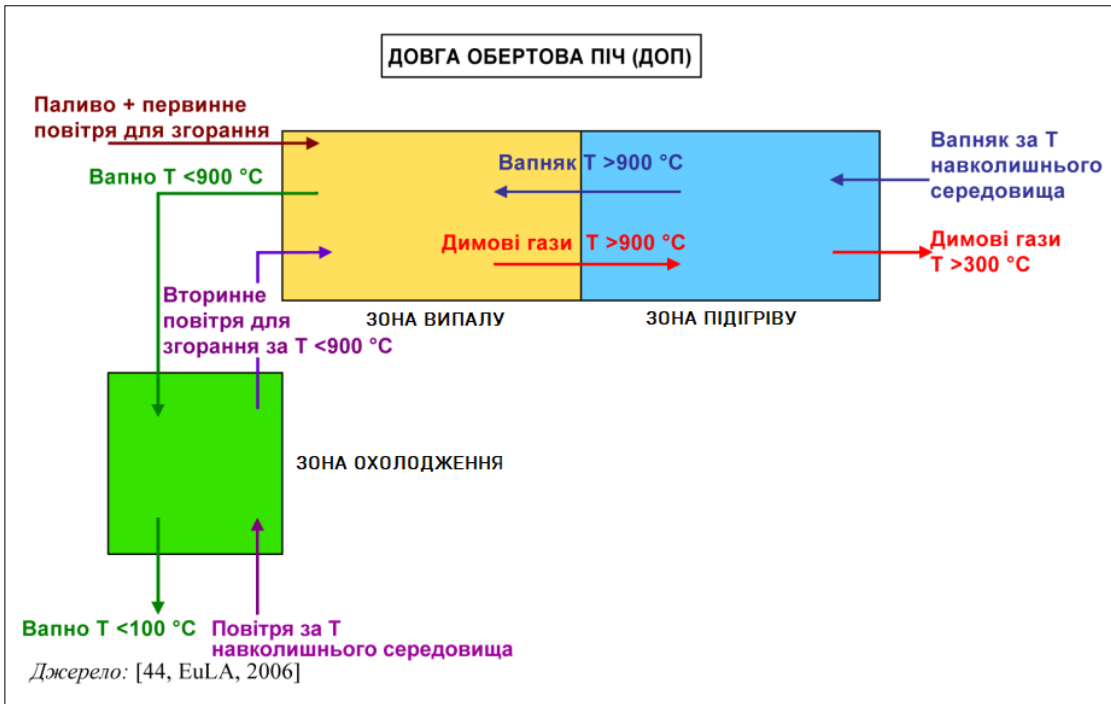


Рисунок 2.30. Принцип роботи довгих обертових печей



Таблиця 2.21. Технічні характеристики довгих обертових печей (ДОП)

Довга обертова піч (ДОП)	
Спосіб подавання палива	Пальник на отворі вивантаження вапна
Вихід продукції (т/добу)	160 – 1 500
Споживання тепла (МДж/т вапна)	6000 – 9 200
Споживання енергії/електроенергії (кВт· год./т вапна)	18 – 25
Конструкція	Похилий обертовий циліндр з «мішалками» у вогнетривкій футеровці для покращення теплообміну: <ul style="list-style-type: none"> <li>• до 150 м у довжину</li> <li>• 2 – 4,5 м у діаметрі</li> </ul> Зовнішні камери та пальники
Тип підігрівача	Немає
Тип холодильника	<ul style="list-style-type: none"> <li>• планетарні навколо кожуха печі</li> <li>• рухомий колосник, або</li> <li>• обертовий циліндр, або</li> <li>• статичний шахтний холодильник</li> </ul>
Розмір зерен вапняку (мм)	2 – 60
Вид палива	Газоподібне, рідке чи порошкоподібне тверде викопне паливо Паливо з відходів та біомаса
Вприскування повітря для згорання	Охолоджувальне повітря на кінці холодильника та первинне повітря разом з паливом
Відведення відхідних газів	На кінці труби, з боку завантаження вапняку: <ul style="list-style-type: none"> <li>• канал</li> <li>• охолодження</li> <li>• система пилоуловлювання</li> <li>• вентилятор</li> </ul>
Виймання вапна	На кінці холодильника
Важливі моменти	Якість вогнетривкої футеровки Тонкий помел вугілля для забезпечення хорошого згорання та зниження нашарувань Необхідне безперервне вимірювання рівнів CO та O <sub>2</sub> для забезпечення хорошого згорання та безпеки
Переваги	Гнучкість виробництва Дуже швидке реагування для зміни параметрів Широкий діапазон фракцій кам'яної сировини для збереження родовищ / природних ресурсів Можна досягти дуже низького залишкового рівня CO <sub>2</sub> Гнучке регулювання реактивності від м'яко до сильно випаленого продукту, можливість виготовлення повністю кальцинованого доломіту Здатність до спалювання різноманітних видів палива Можна використовувати вапняк малої міцності (який утворює багато дрібних фракцій під час кальцинування), якщо він не підходить для використання у шахтних печах
Недоліки	Потреба у великій кількості енергії (гарячі відхідні гази та висока температура кожуха) Утворення так званих «кілець» (вугільна зола, сульфати кальцію, глина)
Джерело: [44, EuLA, 2006]	



Джерело: [44, EuLA, 2006]

**Рисунок 2.31.** Приклад довгої обертової печі, що використовується у виробництві вапна

Для ефективної та надійної роботи печі велике значення має конструкція пальника. Факел має бути регульованим за типом палива.

Завдяки тому, що умови технологічного процесу можна легко та швидко змінювати, у довгих обертових печах можна виготовляти вапно з ширшим спектром реактивності та нижчими залишковими рівнями  $\text{CO}_2$ , ніж у шахтних печах. Порівняно маломіцна кам'яна сировина, як-от черепашник та вапняк, який розламується, не підходять для завантаження у шахтні печі, проте можуть виявитися придатними для використання в обертових печах.

Обертові печі можуть працювати на широкому спектрі палив. Оскільки теплопередача в зоні кальцинування великою мірою визначається випромінюванням та, оскільки випромінювальна здатність в інфрачервоному спектрі послідовно збільшується для газоподібного, нафтового та твердого палива, вибір палива може суттєво впливати на споживання тепла. Втрати на випромінювання та конвекцію високі у порівнянні з іншими конструкціями печей, а це призводить до загалом вищого споживання енергії у порівнянні з іншими типами печей.

Перевагою обертової печі є те, що сірку з палива та, меншою мірою, з вапняку можна видалити з печі у складі пічних газів шляхом контролю температури у поєднанні з відсотковим вмістом  $\text{CO}$  у зоні кальцинування. Таким чином можна виготовляти вапно з низьким вмістом сірки, використовуючи при цьому паливо з високим вмістом сірки, з урахуванням можливих обмежень на викиди  $\text{SO}_2$  з відхідними газами.

Довгі обертові печі – це універсальні печі з точки зору використання палива та вапняку з різними розмірами зерен, особливо дрібніших фракцій.

#### **2.2.7.6 Обертові печі з підігрівачем (ОПП)**

Обертові печі можуть бути обладнані підігрівачами; у цьому разі вони зазвичай значно коротші, ніж звичайні довгі обертові печі (наприклад, від 40 до 90 м). Споживання тепла зменшується, оскільки зменшуються витрати на випромінювання та конвекцію, а також збільшується регенерація тепла з відхідних газів.

У 2008 році в країнах ЄС-27 працювало 20 обертових печей з підігрівачами.

Основні особливості обертової печі з підігрівачем для виробництва вапна показані на Рисунок 2.32.

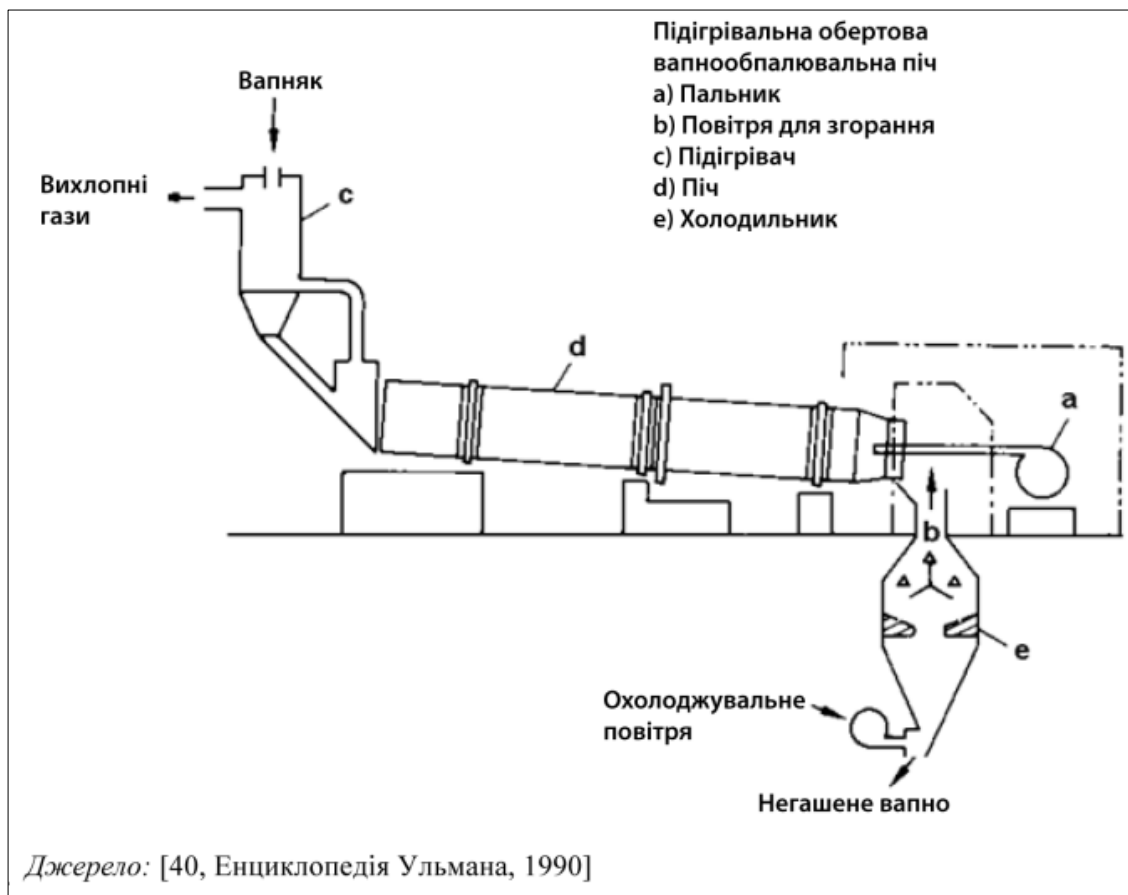


Рисунок 2.32. Обертова піч з підігрівачем (ОПП)

Розроблено ряд конструкцій підігрівачів, у тому числі з вертикальними шахтами та рухомим колосниками. Підігрівач слід вибирати з урахуванням розміру та властивостей кам'яної сировини. Більшість підігрівачів можуть працювати з мінімальною фракцією 10 мм; у деяких використовується ще менше каміння – до 6 мм, а деякі не можуть працювати з камінням малої міцності або камінням, схильним до розламування.

Хоча у печах з підігрівачами сірки важче позбутися, існує ряд способів, у які цього можна досягти:

- експлуатація печі у відновлювальних умовах та внесення додаткового повітря у холодний кінець печі (працює лише з певними конструкціями підігрівачів) та у таке обладнання:
  - пальник;
  - система повітря для згорання;
  - підігрівач;
  - піч;
  - холодильник;
- додавання до матеріалу, що завантажується в піч, достатньо тонко роздробленого вапняку, який переважно поглинатиме  $\text{SO}_2$ , таким чином, щоб він збирався пиловловлювачем у холодному кінці печі або відсіювався з вапна, що вивантажується з холодильника.

На Рисунок 2.33 зображена схема типової обертової печі з підігрівачем, що використовується у виробництві вапна; приклад печі цього типу зображений на Рисунок 2.34. Головні технічні характеристики наведені у Таблиці 2.22.

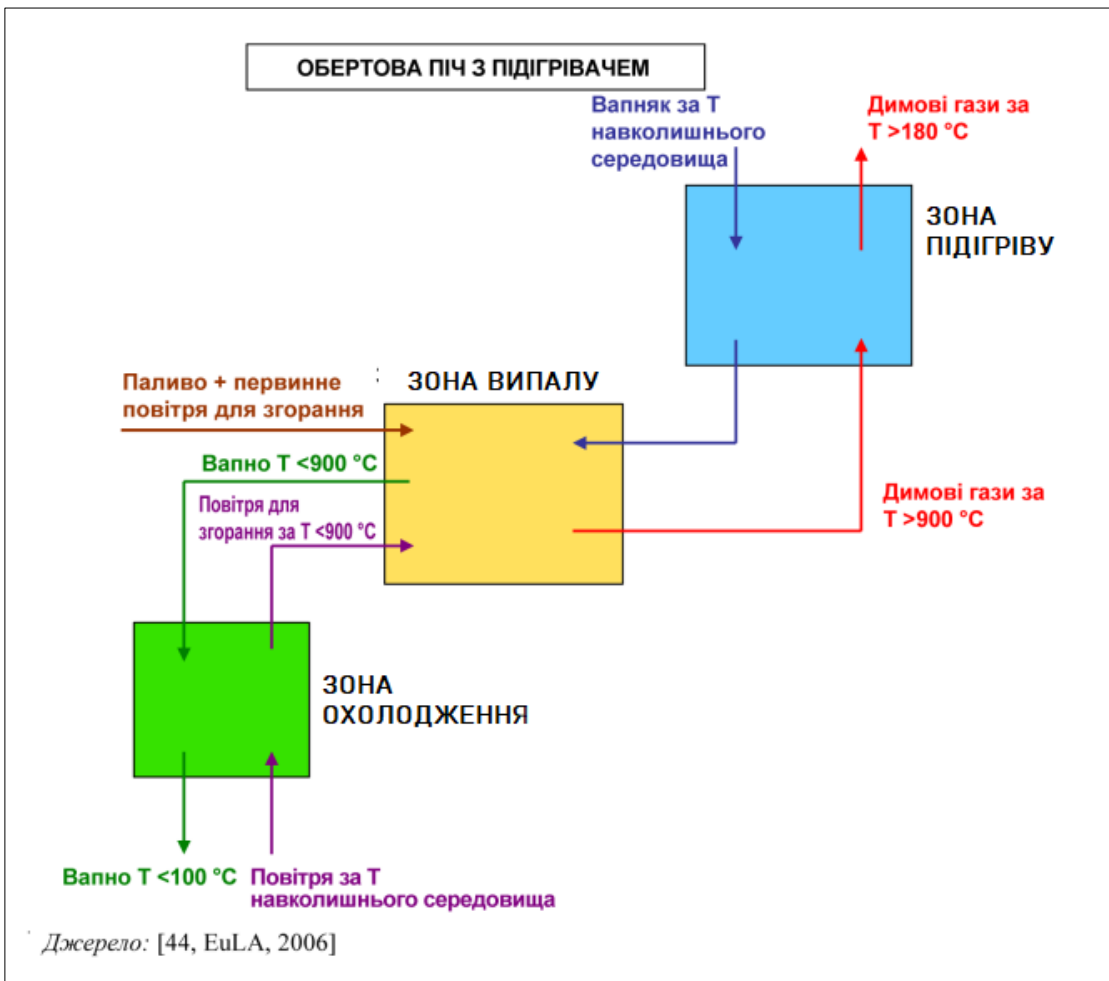


Рисунок 2.33. Принцип роботи обертової печі з підгрівачем (ОПШ)



Рисунок 2.34. Приклад обертової печі з підгрівачем

Таблиця 2.22. Технічні характеристики обертових печей з підігрівачем (ОПП)

Обертова піч з підігрівачем / підігрівальна обертова піч (ОПП)	
Спосіб подавання палива	Пальник на отворі вивантаження вапна
Вихід продукції (т/добу)	100 – 1 500
Споживання тепла (МДж/т вапна)	5 100 – 7 800
Споживання енергії/електроенергії (кВт· год./т вапна)	17 – 45
Конструкція	Похилий обертовий циліндр з «мішалками» у вогнетривкій футеровці для покращення теплообміну: <ul style="list-style-type: none"> <li>• максимум 90 м у довжину</li> <li>• 2 – 4,5 м у діаметрі</li> </ul>
Тип підігрівача	Вертикальна шахта Рухомий колосник
Тип холодильника	Планетарний навколо кожуха печі Обертовий циліндр з рухомим колосником
Розмір зерен вапняку (мм)	10 – 60
Вид палива	Газоподібне, рідке чи порошкоподібне тверде викопне паливо Паливо з відходів та біомаса
Вприскування повітря для згорання	Охолоджувальне повітря на кінці холодильника
Відведення відхідних газів	Гарячі гази проходять через підігрівач: <ul style="list-style-type: none"> <li>• канал, система охолодження, система пилоуловлювання та вентилятор</li> </ul>
Виймання вапна	На кінці холодильника
Важливі моменти	Якість вогнетривкої футеровки Тонкий помел вугілля для забезпечення хорошого згорання та зниження нашарувань Герметичність з'єднань між підігрівачем та піччю Розмір фракцій вапняку: надто велика кількість дрібних фракцій може призвести до забивання підігрівача Необхідне безперервне вимірювання рівнів CO та O <sub>2</sub> для забезпечення хорошого згорання та безпеки
Переваги	Гнучкість виробництва Дуже швидке реагування для зміни параметрів Широкий діапазон фракцій кам'яної сировини для збереження родовищ / природних ресурсів Можна досягти дуже низького залишкового рівня CO <sub>2</sub> Гнучке регулювання реактивності від м'яко до сильно випаленого продукту, можливість виготовлення повністю кальцинованого доломіту Здатність до спалювання різноманітних видів палива Можна використовувати вапняк малої міцності (який утворює багато дрібних фракцій під час кальцинування), якщо він не підходить для використання у шахтних печах Нижчі вимоги до палива завдяки кращому теплообміну в підігрівачі (початок декарбонізації)
Недоліки	Утворення так званих «кілець» (вугільна зола, сульфати кальцію, глина) Підігрівач – це додатковий елемент обладнання, який потребує технічного обслуговування
<i>Джерело:</i> [44, EuLA, 2006]	

## 2.2.8 Зберігання та вантажні операції

### 2.2.8.1 Зберігання

#### 2.2.8.1.1 Зберігання негашеного вапна

Негашене вапно бажано зберігати в сухих умовах без доступу повітря, щоб обмежити гасіння вапна. Необхідно дуже обережно слідкувати, щоб у вапно не потрапляла вода, оскільки гідратація призводить до вивільнення тепла та розширення вапна, а обидва ці явища можуть бути небезпечними.

Пневматичні засоби для вивантаження під тиском здатні вдувати матеріал безпосередньо в бункер для зберігання, обладнаний фільтром для видалення пилу з транспортного повітря. Фільтр повинен бути стійким до атмосферних впливів та водонепроникним. Зібраний пил може скидатися назад у бункер. У якості запобіжного засобу на бункері встановлений пристрій для скидання тиску/вакууму.

Усі контейнери для зберігання можуть бути обладнані пристроями, здатними повністю герметизувати основу бункера, щоб можна було виконати технічне обслуговування механізму вивантаження.

Якщо кількість негашеного вапна надто мала, щоб для його зберігання доцільно було влаштувати бункери, продукцію можна зберігати на бетонному майданчику, бажано на окремій ділянці в будівлі, щоб уникнути надмірного гасіння під дією повітря.

### 2.2.8.1.2 Зберігання гідратованого вапна

Гідратоване вапно поглинає вуглекислий газ із навколишнього середовища, утворюючи карбонат кальцію та воду. Тому його найкраще зберігати в сухих умовах без доступу до повітря.

Гідрат, упакований в паперові мішки, бажано зберігати під накриттям, щоб уникнути їх псування під дією вологи та повторної карбонізації гідратованого вапна. Якщо використовуються м'які контейнери типу «біг-бег», їх також найкраще зберігати під накриттям, щоб запобігти їх пошкодженню. Піддони з упакованим у мішки гідратом успішно зберігаються під відкритим небом; піддон накривається листом пластику, мішки ставляться на лист, і все пакування обгортається термоусадною плівкою.

Насипний гідрат зберігається в силосах, які повинні бути повністю захищені від атмосферних впливів. Силос вентилується через рукавний фільтр, який повинен бути повністю захищеним від атмосферних впливів і здатним працювати з потоком повітря, який до нього надходить. Якщо фільтр встановлений зверху силоса, зібраний пил викидається назад у силос. Зверху силоса може бути влаштований оглядовий люк та клапан скидання тиску. Для запобігання переповненню силоса на ньому може бути встановлений індикатор чи сигналізація верхнього рівня. Бажано, щоб основа силоса була розташована під кутом принаймні 60° до горизонтальної, щоб силос мав вивантажувальний отвір розміром не менше 200 мм, та щоб на його виході був встановлений відсічний клапан примусової дії, аби можна було виконувати технічне обслуговування обладнання, встановленого під силосом.

Оскільки гідратоване вапно схильне до утворення «дугових розрядів», для запобігання їм встановлюються пристрої для розривання дугових розрядів, такі як аераційні плити, вібратори та механічні пристрої. У той же час необхідно вживати запобіжних заходів для запобігання «затопленню» бункера розпушеним під дією повітря порошком.

### 2.2.8.1.3 Зберігання вапняного молока

Багато споживачів, яким потрібно додавати гашене вапно у свій технологічний процес, виявили, що вапно зручно зберігати та переміщати у формі вапняного молока. За умови вживання певних запобіжних заходів з ним можна поводитися як з рідиною.

У будь-яких системах зберігання та переміщення має бути уважно врахований той факт, що при розчиненні вапняного молока у воді або при утворенні дисперсії гідратованого вапна у воді сполуки, які обумовлюють карбонатну жорсткість води, будуть відкладатися у вигляді карбонату кальцію. Якщо не буде вжито належних заходів, це призведе до утворення накипу на стінках труб, на робочих колесах та на корпусах насосів. Можна застосовувати два підходи: спроектувати систему так, щоб вона могла впоратися з накипом, який утворюється, або вжити заходів для запобігання чи мінімізації утворення накипу.

У системах, що працюють з вапняним молоком, важливо запобігати утворенню осаду, оскільки утворене в результаті тісто може бути важко знову перевести у дисперсний стан. Тому речовину, що зберігається в баках, важливо перемішувати. Інтенсивність перемішування може бути малою і повинна не допускати утворення вихорів, які збільшують поглинання вуглекислого газу з атмосфери.

Вивантажувальна труба, що йде від резервуара для зберігання, обов'язково повинна бути виконана як окремий трубопровід, а також необхідно передбачити промивання зворотним потоком води для видалення будь-яких засмічень.

### 2.2.8.2 Переміщення

Для переміщення продукції підходить багато типів обладнання, і постійно розробляються нові конструкції. Перелічені нижче технології успішно використовувалися з цією метою, проте можуть підходити не для всіх випадків застосування.

*Скіпові піднімачі* можна використовувати для всіх сортів зернистої та грудкової продукції, проте вони найкраще підходять для часток розміром понад 100 мм. *Елеватори* – як стрічкові ковшеві, так і ланцюгові ковшеві елеватори – використовуються для всіх сортів негашеного вапна. *Скрєбкові конвеєри* підходять для зернистого та дрібнозернистого негашеного вапна. Вони зазвичай використовуються для переміщення у горизонтальному або похилому напрямку. *Конвеєрні стрічки* широко застосовуються для переміщення грудкових та зернистих сортів продукції по горизонталі та вгору по схилу. *Шнекові конвеєри* широко застосовуються для переміщення дрібнозернистого негашеного вапна. *Конвеєри з вібраційними жолобами* використовуються для часток розміром до 40 мм. Вони ефективніше працюють у разі спуску з невеликим ухилом від місця завантаження до пункту вивантаження.

*Пневматичний конвеєрний транспорт* можна використовувати для продукції з максимальним розміром часток до 20 мм; він часто потребує менших капітальних витрат, ніж альтернативні варіанти, проте експлуатаційні витрати на нього вищі. Продукція завантажується в обертовий продувний затвор, під'єднаний до повітрорудки. Внутрішній діаметр труби та об'єм/тиск продувного повітря спроектовані з урахуванням кількості вапна, що буде транспортуватися. швидкості переміщення та довжини/маршруту трубопроводу. Приймальний силос також обладнаний повітряним фільтром та клапаном скидання тиску.

### 2.2.9 Інші види обробки вапна

#### 2.2.9.1 Виробництво гідравлічних сортів вапна

Природне гідравлічне вапно виготовляється з кремнеземистого чи глинистого вапняку, що містить ту чи іншу кількість кремнезему, глинозему та заліза. Типовий вміст цих сполук у вапняку –  $\text{SiO}_2$ : від 4 до 16 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : від 1 до 8%, і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : від 0,3 до 6 %. Вміст карбонату кальцію та магнію може варіюватися від 78 до 92 %.

Вапняк зазвичай кальцинується у шахтних печах: цей процес необхідно пильно контролювати, аби гарантувати, що прореагує якомога більша кількість кремнезему та глинозему без спікання вільного вапна. Типові температури кальцинування знаходяться в діапазоні 950 – 1 250°C: необхідна температура зростає зі збільшенням цементного індексу (тобто від слабко до найвищою мірою гідравлічних видів вапна).

Кальциноване вапно гідратується достатньою кількістю води для перетворення вільного  $\text{CaO}$  в  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Якщо вміст вільного  $\text{CaO}$  перевищує 10 – 15 %, сильно спечені шматки розсипаються у порошок, а інакше вапно необхідно розмолоти перед гідратацією. Також може бути необхідно розмолоти гідратований продукт, щоб досягти необхідної тонини та швидкості тужавіння.

«Спеціальні» сорти природного гідравлічного вапна виготовляються шляхом ретельного змішування порошку природного гідравлічного вапна з порошком пуцоланових чи гідравлічних матеріалів. Штучні сорти гідравлічного вапна виготовляються шляхом ретельного змішування порошку гідратованого вапна з подрібненими в порошок пуцолановими чи гідравлічними матеріалами.

#### 2.2.9.2 Виробництво кальцинованого доломіту

Доломіт кальцинується як у шахтних, так і в обертових печах. Кальцинований доломіт виготовляється у трьох сортах якості – легко випалений, повністю випалений та напіввипалений.

Легко випалений доломіт зазвичай виготовляється в обертових або шахтних печах. Принципи виготовлення легко випаленого доломіту подібні до принципів виготовлення висококальцієвого негашеного вапна. Завдяки меншій теплоті кальцинування та нижчій температурі розкладання доломіту ( $\text{MgCO}_3$ ) у цьому процесі споживається менше тепла.

Повністю випалений доломіт виготовляється у двох сортах. Особливо чистий сорт, що використовується для виробництва вогнетривких матеріалів, виготовляється шляхом кальцинування доломіту за температур до 1 800 °С в обертових або шахтних печах. «Заправний» сорт виготовляється шляхом кальцинування доломіту з 5 – 10 % оксиду заліза за температур від 1 400 до 1 600 °С, зазвичай в обертових печах. Відхідні гази, що утворюються в обох цих процесах, мають вищу температуру, ніж відхідні гази з інших печей випалу вапна; вони зазвичай охолоджуються до менше ніж 420 °С у теплообмінниках, шляхом додавання охолоджувального повітря чи вприскування розпиленої води.

Напіввипалений доломіт ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$ ) виготовляється шляхом повільного кальцинування доломіту за температури близько 650 °С. Він виготовляється у порівняно невеликих кількостях, і єдиною країною Європи, у якій він виробляється, є Німеччина.

### 2.2.9.3 Виробництво випаленого доломітового вапна за допомогою двопрхідного процесу

Виробництво випаленого доломітового вапна за допомогою двопрхідного процесу здійснюється у два окремі етапи. Кожен етап протікає окремо у спеціальній печі:

- Етап 1: Кальцинування доломіту за температури матеріалу від 900 до 1 200°С (у більшості випадків – менше 1 000 °С). У результаті утворюється стандартне доломітове вапно, яке використовується у якості вхідного матеріалу для етапу ущільнення.
- Етап 2: Ущільнення стандартного доломітового вапна, виготовленого на етапі 1, за температури матеріалу понад 1 600°С. На виході цього процесу утворюється готовий продукт – спечене доломітове вапно належної густини.

Обидва етапи – етап 1 та етап 2 – можуть здійснюватися у шахтних або обертових печах. На відміну від двопрхідного процесу, в однопрхідному процесі етап 1 та етап 2 протікають як один безперервний етап в унікальній печі.

У двопрхідному процесі особливістю етапу 2 є те, що в печі не протікає ні жоден (або залишковий) процес кальцинування, ні екзотермічні реакції. Відповідно, питоме споживання тепла значно нижче, ніж у звичайних кальцинувальних печах (наприклад, етап 1), проте температури димових газів та продукції дуже високі. Тому цей процес потребує значних об'ємів охолоджувального повітря, а це призводить до високого вмісту кисню у результуючих димових газах – приблизно 20 % у перерахунку на суху речовину.

### 2.2.10 Загальні міркування щодо печей випалу вапна під контролем інших галузей

Вапно потрібне в багатьох інших секторах промисловості, таких як чорна металургія, цукрова та паперова промисловість, а також сектори хімічної промисловості, і в деяких з цих секторів промисловості існують власні печі випалу вапна для виробництва вапна.

#### 2.2.10.1 Печі випалу вапна в чорній металургії

Більшість вапна, що використовується в чорній металургії, застосовується для флюсування домішок в основних кисневих конвертерах. Вапно також використовується в менших кількостях у технологічних процесах на агломераційних стрічках для підготовки залізної руди, для знесірчення чавуну в бабках, у якості флюсу в інших киснево-конвертерних процесах, в електродугових сталеливарних процесах та у багатьох допоміжних сталеливарних процесах.

У якості печей випалу вапна в чорній металургії переважно використовуються шахтні печі різних конструкцій та потужностей. За структурою викидів/споживання вони не відрізняються від печей випалу вапна, які не контролюються іншими галузями.

Корисна інформація про чорну металургію наведена в Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва заліза та сталі [87, Європейська комісія, 2001].



### 2.2.10.2 Печі випалу вапна у галузі виробництва крафт-целюлози

У 2001 році в європейській паперовій промисловості налічувалося близько 100 печей випалу вапна. Усі ці печі виконані як обертові печі потужністю від 30 до 400 тонн випаленого вапна на добу. Більшість цих печей сконструйовані як довгі обертові печі, проте також існує кілька сучасних обертових печей з підігрівачами.

У довгі обертові печі зазвичай завантажуються карбонат кальцію у вигляді шламу з вмістом води 30 %. Функцію основного палива зазвичай виконує природний газ або мазут. Крім того, нездатні до конденсації газу, що утворюються на кількох ділянках технологічного процесу варіння целюлози, зазвичай також спалюються, а це призводить до збільшення вмісту  $\text{H}_2\text{S}$ , органічних сполук сірки та  $\text{SO}_2$  у димових газах. У деяких випадках в якості палива також використовується тирса та газу, отримані шляхом газифікації біомаси.

Для очищення відхідних газів зазвичай встановлюються мокрі скрубери з трубами Вентурі та електрофільтри (для твердих часток).

Корисна інформація про целюлозну та паперову промисловість наведена в Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва целюлозної маси, паперу та картону [124, Європейська комісія, 2001].

### 2.2.10.3 Печі випалу вапна у цукровій промисловості

Більшість печей випалу вапна у європейській цукровій промисловості – це шахтні печі зі змішаним живленням. Більшість цих печей виробляють від 50 до 350 тонн негашеного вапна на добу у сезон виробництва цукру, який у сезон 1997/1998 років тривав від 63 до 170 днів, тобто у середньому 86 днів.

На цукрових заводах використовується як негашене вапно, так і  $\text{CO}_2$  у складі відхідних газів. Газ, що утворюється в печах, уловлюється, і більша його частина очищається від пилу в мокрих скруберах перед використанням у процесі виробництва цукру (утворення карбонатів під дією вуглекислоти). Більша частина  $\text{CO}_2$  повторно з'єднується з вапняним молоком у дефекованому соку, утворюючи  $\text{CaCO}_3$ .

Найпоширенішим паливом у печах випалу вапна цукрової промисловості є кокс. Це зумовлено головним чином тим, що його газоподібний продукт містить більше  $\text{CO}_2$  (40 – 42%  $\text{CO}_2$  за об'ємом), ніж газоподібний продукт печей, що працюють на мазуті чи на газу (28 – 32%  $\text{CO}_2$  за об'ємом).

Рівні споживання (вапняку та палива) у печах випалу вапна цукрової промисловості приблизно такі ж, як в інших типах печей випалу вапна у інших секторах промисловості.

Корисна інформація про цукрову промисловість наведена в Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для харчової, питної та молочної промисловості (FDM). Проте у BREF для харчової, питної та молочної промисловості (FDM) поки що не розглянута інформація про тип та кількість виробленого вапна, а також про типи печей та палива, що використовується в них [125, Європейська комісія, 2006].

## 2.3 Поточні рівні споживання ресурсів та викидів

Основними проблемами захисту навколишнього середовища, пов'язаними з виробництвом вапна, є забруднення повітря та споживання енергії. Технологічний процес випалу вапна є основним джерелом викидів, а також головним споживачем енергії. Значимими також можуть бути вторинні процеси гасіння та помелу вапна, а також допоміжні операції (а саме – дроблення, просіювання, транспортування, зберігання та вивантаження), хоча вони роблять порівняно незначний внесок як у викиди, так і у споживання енергії.

Слід зазначити, що, якщо в даному документі не зазначено інше, стандартні умови вимірювання об'ємних витрат та концентрацій димових газів у контексті цього розділу, присвяченого вапняній галузі, базуються на таких визначеннях, котрі також наведені у «Словнику термінів»:

м <sup>3</sup> /Год.	об'ємна витрата: якщо у цьому документі не зазначено інше, об'ємна витрата вказана для об'ємної частки кисню 11 % та стандартного стану
мг/м <sup>3</sup>	концентрація: якщо у цьому документі не зазначено інше, концентрації газоподібних речовин або сумішей речовин вказані для сухих димових газів з об'ємною часткою кисню 11 % та у стандартному стані
стандартний стан	означає сухий газ з температурою 273 К і тиском 1 013 гПа.

Крім того, слід зазначити, що рівні викидів вказані для базового вмісту кисню 11 %, хоча фактичний вміст кисню у процесі випалювання набагато нижчий, ніж 11 %. Розрахункова формула для обчислення концентрацій викидів наведена нижче:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * E_M$$

$E_R$  (мг/м<sup>3</sup> н.у.): концентрація викидів у перерахунку на базовий вміст кисню  $O_R$   
 $O_R$  (об'ємні %): базовий рівень кисню  
 $E_M$  (мг/м<sup>3</sup> н.у.): концентрація викидів у перерахунку на вимірний вміст кисню  $O_M$   
 $O_M$  (об'ємні %): вимірний рівень кисню

Додаткова корисна інформація про моніторинг наведена у Довідковому документі щодо загальних принципів моніторингу (MON) [151, Європейська комісія, 2003].

### 2.3.1 Споживання вапняку

У виробництві вапна загалом споживається від 1,4 до 2,2 тонни вапняку на тонну призначеного для продажу негашеного вапна. Споживання залежить від типу продукції, чистоти вапняку, ступеня кальцинування та кількості пилу, що відбирається з печі та з вихідних газів печі.

### 2.3.2 Використання енергії

#### 2.3.2.1 Кальцинування вапняку

Споживання енергії піччю конкретного типу також залежить від кількох різних факторів, таких як якість каменю, що використовується, ступінь перетворення карбонату кальцію в оксид кальцію, розміру фракцій каменю, вмісту вологи, палива, конструкції печі, засобів керування процесом, герметичності за повітрям, тощо.

Теплота розкладання кальцієвого вапняку складає 3,2 ГДж/тону для вапна (приблизно на 9 % менше для доломітового вапна). Чиста витрата тепла на тонну негашеного вапна різниться залежно від конструкції печі. Обертові печі зазвичай потребують більше тепла, ніж шахтні печі.

Споживання тепла має тенденцію до збільшення зі збільшенням ступеня випалу (див. розділ 2.2.6.1).

Споживання електроенергії варіюється від невеликих значень у діапазоні 5 – 15 кВт· год./тону вапна для шахтних печей зі змішаним живленням до 20 – 40 кВт· год./тону для удосконалених конструкцій шахтних печей та для обертових печей.

Типові рівні споживання тепла та електроенергії різними типами печей випалу вапна наведені у Таблиці 2.23. Споживання тепла складає близько 95 % від загальної кількості енергії, спожитої для виготовлення вапна.

**Таблиця 2.23. Типові рівні споживання тепла та електроенергії різними типами печей для виробництва вапна та доломітового вапна у країнах ЄС-27**

Тип печі	Тип енергії, що використовується для виробництва вапна та доломітового вапна	
	Використання/споживання тепла <sup>(1)</sup> ГДж/тону	Споживання електроенергії піччю кВт· год./тону
Довгі обертові печі (ДОП)	6,0 – 9,2	18 – 25
Обертові печі з підігрівачем (ОПП)	5,1 – 7,8	17 – 45
Прямоточні регенеративні печі (ПРП)	3,2 – 4,2	20 – 40
Кільцеві шахтні печі (КШП)	3,3 – 4,9	18 – 35 <sup>(2)</sup> До 50 <sup>(3)</sup>
Шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	3,4 – 4,7	5 – 15
Інші печі (ІП)	3,5 – 7,0	20 – 40
<sup>(1)</sup> Використання /споживання тепла складає близько 80 % від загальної кількості енергії, спожитої для виготовлення вапна <sup>(2)</sup> Для розмірів зерен вапняку від 40 до 150 мм <sup>(3)</sup> Для розмірів зерен вапняку <40 мм Джерело: [46, Німеччина, 2006], [54, EuLA, 2006], [64, Чехія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]		

На значення споживання енергії, перелічені в Таблиці 2.23, можуть вплинути такі параметри:

- розмір зерен
  - до 5 %
- вологість вапняку
  - від 1 до 10 %
- паливо (вологість, ККД, тощо)
  - до 5 %
- залишковий вміст CO<sub>2</sub>:
  - від 0,5 до 5 %
- доломітове вапно:
  - до 9 % вапна
- повністю кальциноване вапно:
  - ~10 %.

На споживання енергії може впливати залишковий вміст CO<sub>2</sub> у продукції. Споживання енергії зростає зі збільшенням твердості продукції. Залишковий вміст CO<sub>2</sub> визначає використання вапна; вапно з вмістом CO<sub>2</sub> близько 5 % використовується у сталеливарній промисловості; вапно з вмістом CO<sub>2</sub> близько 1,5 % використовується для очищення вихідних газів від сульфуру та його сполук.

У особливому випадку повністю випаленого доломітового вапна споживання енергії знаходиться в діапазоні від 6,5 до 13 ГДж/тону, залежно від типу печі [54, EuLA, 2006].

Для зниження високого споживання паливної енергії у різних типах печей були реалізовані різні технології, як-от:

- оптимізація та регулювання технологічного процесу;
- зменшення кількості надлишкового повітря.

### 2.3.2.2 Гідратація вапна

Процес гідrataції екзотермічний, тож для регулювання температури у гідраторах в них додається надлишок води. Ця надлишкова вода, додана в малій кількості, перетворюється на пару, яка викидається в атмосферу разом з невеликим об'ємом повітря, що втягується в гідратор, аби запобігти потраплянню вологи та пилу в установку / обладнання для завантаження негашеного вапна, а також посприяти випаровуванню надлишкової води.

Потреба в енергії для роботи гідраторів, пневматичних класифікаторів та транспортного обладнання становить приблизно 5 – 30 кВт· год./тону негашеного вапна.

### 2.3.2.3 Помел вапна

Споживання енергії у процесі помелу вапна варіюється від 4 – 10 кВт· год./тону негашеного вапна для грубіших сортів (наприклад, тих, що використовуються для стабілізації ґрунтів) до 10 – 40 кВт· год./тону негашеного вапна для тонше подрібнених сортів. Необхідна кількість енергії також залежить від обладнання, що використовується. Для грубішої продукції можна використовувати молоткові млини. Для виготовлення тонше подрібненої продукції використовуються кульові млини, кільцеві валкові млини та млини високого тиску з деагломераторами (питоме споживання енергії у цьому ряді млинів послідовно зменшується).

### 2.3.3 Викиди у повітря

Під час виробництва вапна виникають викиди у повітря та шумове випромінювання. Крім того, виникають скиди у воду, технологічні втрати / відходи та, зрідка, неприємні запахи. У цьому розділі наведені діапазони викидів забруднюючих речовин у повітря для процесу виробництва вапна включно з іншими етапами технологічного процесу, як-от зберігання та вантаження сировини, палива або продукції.

Значна кількість викидів у повітря під час виробництва вапна припадає на процес кальцинування. Найбільш значимими викидами у повітря внаслідок кальцинування вапняку є:

- оксиди вуглецю (CO, CO<sub>2</sub>);
- оксиди азоту (NO<sub>x</sub>);
- діоксид сірки (SO<sub>2</sub>);
- пил (тверді частки).

Характер та концентрація викидів залежить від кількох факторів, таких як:

- тип та конструкція печі;
- умови роботи або технологічного процесу;
- хімічний склад та якість вапнякової сировини;
- види палива, що використовуються;
- технології зниження викидів.

У процесі виробництва виникають й інші викиди, до яких належать:

- хлороводень (HCl);
- фтороводень (HF);
- органічні сполуки;
- важкі метали;
- поліхлоровані дибензопарадіоксини та дибензофурані (ПХДД/Ф);
- сірководень (H<sub>2</sub>S).

*Тип та конструкція печі*

Тип печі вибирається, зокрема, таким чином, щоб він був сумісним з розміром фракцій та характером доступного вапняку та задовольняв конкретним вимогам до якості.

Конструкції печей мають різні характеристики, як-от:

- можливість використання в них конкретних типів вапняку (з конкретним хімічним складом та діапазоном розмірів зерен);
- типи палива, що використовуються, та методи подачі палива в піч;
- відношення «повітря-паливо»;
- їх робочі температурні профілі;
- розподіл тепла в печах.

Ще одним важливим чинником, пов'язаним з типом печі, є взаємодія газів з твердими речовинами, що залежить від температурного профілю печі. Завдяки цьому певні компоненти пічних газів (особливо  $\text{SO}_2$  та  $\text{HCl}$ ) можуть реагувати з негашеним вапном чи вапняком. Ці компоненти видаляються з газу, поглинаються продукцією і виходять із печі у складі продукції.

*Умови технологічного процесу*

Параметри технологічного процесу вибирають таким чином, щоб звести до мінімуму споживання палива, а отже, не допустити залишку невипаленого вапняку. Точно вибрані параметри технологічного процесу мають велике значення для задоволення вимог до якості продукції і впливають на викиди.

*Хімічний склад вапняку*

Концентрація домішок та поведінка каменю під час кальцинування може впливати на викиди. Відмінності у вмісті сірки та хлору в вапняку/доломіті відіграють важливу роль і впливають на діапазон викидів  $\text{SO}_2$  та  $\text{HCl}$  з вихідними газами. Це залежить від типу печі та умов технологічного процесу, необхідних для виготовлення продукції певної якості.

*Вид палива*

На викиди у повітря впливає природний склад палива, що використовується, – наприклад, тверде, рідке чи газоподібне паливо, – теплота згорання та характеристики процесу горіння палива, а також вміст у ньому різних сполук, таких як сірка та хлор.

Приклад принципу роботи системи дозування палива для шахтної печі зображено на Рисунку 2.10 у розділі 2.2.4.

*Обладнання для зниження викидів*

У печах випалу вапна зазвичай реалізовані технології зниження викидів у повітря – наприклад, пилу. Тип технології зниження викидів, що використовується, залежить, наприклад, від типу печі та видів палива, що в ній використовується. Викиди пилу виникають не лише у процесі кальцинування, а й під час інших обробних операцій, що застосовуються у виробництві вапна, як-от просіювання, дроблення, роздрібнення, гідратація та пакування.

У 2006 році європейські виробники вапна повідомили актуальні діапазони викидів у повітря. Типові викиди з європейських печей випалу вапна наведені у Таблиці 2.24.

Таблиця 2.24. Приклади типових викидів з печей випалу вапна у Європі

Забруднююча речовина	Концентрація		Частка/тону вапна	
	Мін. мг/м <sup>3</sup> н.у.	Макс. мг/м <sup>3</sup> н.у.	Мін. кг/тону вапна	Макс. кг/тону вапна
<b>Тверді частки</b>				
Пил	1 <sup>(1)</sup> – < 10	> 250	0,003 – 0,006	> 1,3
<b>Гази</b>				
NO <sub>x</sub>	< 50 – < 100	> 2 500	< 0,15	> 12,5
SO <sub>2</sub>	< 50	> 2 000	0	> 10,0
CO <sub>2</sub>			987	1975
CO	100	> 2 500	< 0,3	> 12,5
HCl	0,02 <sup>(1)</sup> – 10	> 250	0,00006	> 1,3
Діоксини (середнє значення)	0,0155 нг I-TEQ/м <sup>3</sup> н.у.	0,0638 нг I-TEQ/м <sup>3</sup> н.у.	4,7 · 10 <sup>-8</sup>	3,2 · 10 <sup>-7</sup>
<b>Важкі метали (у газоподібній формі та у формі твердих часток)<sup>(2)</sup></b>				
Арсен	< 0,01	< 0,10	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 5 · 10 <sup>-4</sup>
Кадмій	< 0,01	< 0,10	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 5 · 10 <sup>-4</sup>
Мідь	< 0,01	< 0,10	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 5 · 10 <sup>-4</sup>
Манган	< 0,01	< 0,10	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 5 · 10 <sup>-4</sup>
Ртуть	< 0,01	< 0,10	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 5 · 10 <sup>-4</sup>
Олово	< 0,01	< 0,10	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 5 · 10 <sup>-4</sup>
Телур	< 0,01	< 0,10	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 5 · 10 <sup>-4</sup>
Талій	< 0,01	< 0,10	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 5 · 10 <sup>-4</sup>
Ванадій	< 0,01	> 0,10	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 5 · 10 <sup>-4</sup>
Хром	< 0,01	> 0,10	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 5 · 10 <sup>-4</sup>
Стибій	< 0,01	< 0,04	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 2 · 10 <sup>-4</sup>
Селен	< 0,01	< 0,06	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 3 · 10 <sup>-4</sup>
Кобальт	< 0,01	< 0,06	< 5 · 10 <sup>-5</sup>	< 3 · 10 <sup>-4</sup>
Свинець	< 0,10	> 1,00	< 5 · 10 <sup>-4</sup>	< 5 · 10 <sup>-3</sup>
Цинк	< 0,10	> 1,00	< 5 · 10 <sup>-4</sup>	< 5 · 10 <sup>-3</sup>
Концентрації викидів – це середні орієнтовні значення, визначені за різними технологіями вимірювання. З огляду на наведені нижче типові об'єми сухих відхідних газів, нормальні умови стандартного стану означають тиск у 1013 гПа та температуру у 273,15 К у перерахунку на вміст O <sub>2</sub> 11 %: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 000 м<sup>3</sup> н. у./т вапна для звичайних шахтних печей, кільцевих шахтних печей та прямоточних регенеративних печей (мінімум);</li> <li>• 3 700 м<sup>3</sup> н. у./т вапна для обертових печей з підігрівачами;</li> <li>• 5 000 м<sup>3</sup> н. у./т вапна для довгих обертових печей (максимум).</li> </ul> <sup>(1)</sup> Точкові вимірювання <sup>(2)</sup> Нижній діапазон відповідає рівню виявлення для металів <i>Джерело:</i> [54, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]				

### 2.3.3.1 Пил (тверді частинки)

#### 2.3.3.1.1 Організовані джерела викидів

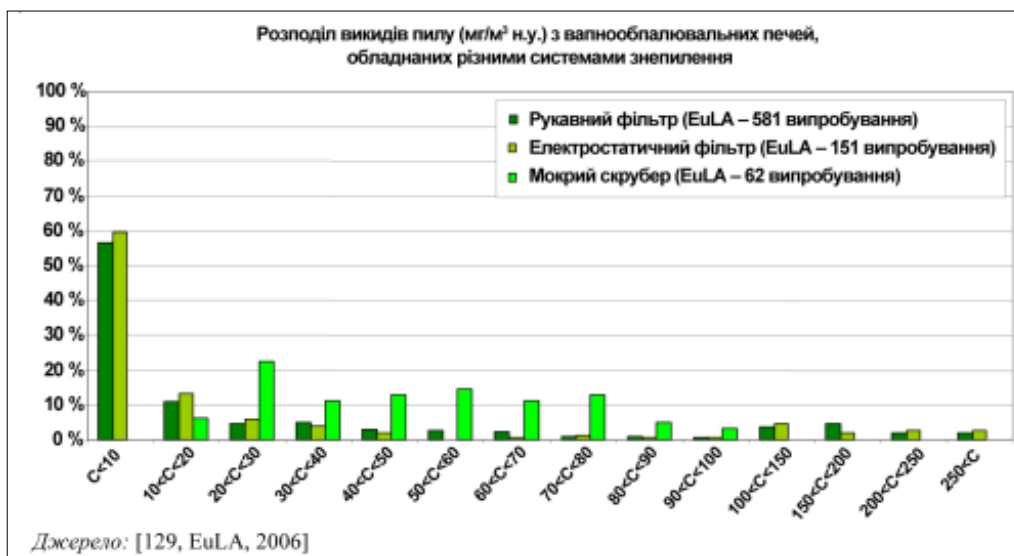
##### Кальцинування вапняку

Пил (тверді частки / РМ) утворюється з дрібно розділених часток у вапняку, що завантажуються в піч), внаслідок теплового та механічного (подрібнення вапна та вапняку) розтріскування в печі та, меншою мірою, з золи-виносу. Рівні пилу на вході знепилювального обладнання дуже різняться залежно, зокрема, від конструкції печі, її потужності та сировини, що використовується у процесі.

З огляду на велике розмаїття станів відхідного газу використовуються різноманітні пиловловлювачі, у тому числі циклони, мокрі скрубери, рукавні фільтри, електрофільтри та гравійні фільтри. Типові циклони видаляють близько 90 % пилу з печей випалу вапна.

Після зниження викидів їх рівні зазвичай знаходяться в діапазоні 10 – 250 мг/м<sup>3</sup> н.у., а за допомогою мокрих скруберів досягаються рівні у 20 – 100 мг<sup>3</sup> н.у. На Рисунку 2.35 показані результати точкових вимірювань, які демонструють, що у 70 % випробувань печей випалу вапна, у яких використовуються електрофільтри та рукавні фільтри, було отримано викиди пилу менше 20 мг/м<sup>3</sup> н.у. (з них 60 % менше 10 мг/м<sup>3</sup> н.у.), і це ж значення

було отримане лише у 6 % випробувань печей випалу вапна, у яких використовуються мокрі скрубери. Крім того, також повідомлялося про точкові викиди пилу від процесів випалу в печах у діапазоні від 1,4 до 2 мг/м<sup>3</sup> н.у. [16, EuLA, 2001], [45, Шорхт, 2006]], [46, Німеччина, 2006], [66, Австрія, 2006], [68, EuLA, 2006], [71, Угорщина, 2006].



**Рисунок 2.35.** Викиди пилу, виміряні для різних типів печей випалу вапна, у яких використовувалися різні типи технологій зниження викидів, у країнах ЄС-27 (точкові вимірювання у перерахунку на значення, усереднені за півгодини)

У Німеччина всі шахтні печі обладнані рукавними фільтрами. Після зниження вмісту пилу в димових газах за допомогою рукавних фільтрів викиди пилу зазвичай знаходяться в діапазоні від <math><10</math> до <math><20</math> мг/м<sup>3</sup> н.у. (точкові вимірювання, стандартний стан, 10 % О<sub>2</sub> при використанні відходів). Рукавні фільтри, які досягають цих же рівнів, мають відношення об'єму повітря до площі тканини у діапазоні від <math><1</math> до 1.2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>•хв. Обертові печі обладнані електрофільтрами. Типовий діапазон викидів з них – менше 20 мг/м<sup>3</sup> н.у. Пил, уловлений рукавними фільтрами чи електрофільтрами, переважно використовується у складі продукції. Викиди пилу з очищеними газами після мокрих скруберів та гравійних фільтрів, що використовувалися в Німеччині, зазвичай були в діапазоні від 30 до 60 мг/м<sup>3</sup> н.у., вимірюваному як середньодобові значення за стандартних умов. Проте для досягнення рівня викидів пилу менше 20 мг/м<sup>3</sup> н.у. мокрі скрубери та гравієві фільтри були замінені рукавними фільтрами. Вимірювання показують, що значення викидів пилу не залежать від того, який тип палива використовується, тобто викопного походження чи з відходів. У випадку, коли в якості палива використовуються відходи (наприклад, у шахтних печах), викиди пилу варіюються від <math><5</math> до <math><10</math> мг/м<sup>3</sup> н.у. у перерахунку на середньодобові значення [46, Німеччина, 2006].

#### Гідратація вапна

Газоподібні скиди з гідратаційних установок доволі малі за об'ємом; їх рівні становлять близько 800 м<sup>3</sup>/тону гідратованого вапна, проте вони можуть містити 2 г/м<sup>3</sup> пилу перед застосуванням засобів для зниження його викидів. Таким чином, кількість утвореного пилу може становити близько 1,6 кг/тону гідратованого вапна. Для знепилення викидів використовуються як мокрі скрубери, так і рукавні фільтри. На рівень викидів може впливати вміст вологи у викидах. Тому на гідратаційних установках часто використовуються мокрі скрубери. У разі використання мокрих скруберів нового покоління рівні викидів після їх зниження знаходяться в діапазоні від 10 до 30 мг/м<sup>3</sup> н.у., а це відповідає приблизно від 0,008 до 0,024 кг гідратованого вапна. У Великій Британії в 2007 році три з найсучасніших мокрих скруберів показали результати в 11 мг/м<sup>3</sup> н.у., 17 мг/м<sup>3</sup> н.у. та 18 мг/м<sup>3</sup> н.у.. Проте також повідомлялося про викиди пилу до 60 мг/м<sup>3</sup> н.у. (у перерахунку на вологі умови) [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнеїю», 2007], [177, EuLA, 2008].

### *Помел вапна*

Повітря втягується через усе помельне обладнання для видалення часток роздрібненого/помеленого вапна необхідного розміру. Продукція відділяється від повітря в рукавних фільтрах, перед якими часто встановлені циклони. Таким чином, уловлювання пилу є невід'ємною складовою технологічного процесу. Після застосування заходів для зниження викидів викиди пилу зазвичай варіюються від <math><10</math> до <math>50</math> мг/м<sup>3</sup> н.у. У Німеччина викиди пилу у процесі помелу вапна зазвичай нижчі, ніж 20 мг/м<sup>3</sup> н.у.

### *Суміжні та допоміжні технологічні процеси / операції*

Викиди пилу можуть утворюватися майже у всіх суміжних та допоміжних технологічних процесах вапняного заводу, таких як дроблення, просіювання, транспортування, гасіння, зберігання та вивантаження. Викиди пилу контролюються шляхом їх локалізації. Повітря пропускається через рукавні фільтри, де від нього систематично відділяються частки пилу, наприклад, у таких технологічних процесах:

- первинна/вторинна дробарка;
- зберігання вапняку;
- помельні установки для помелу негашеного вапна;
- просіювальні машини;
- силоси для зберігання негашеного вапна;
- зберігання твердих видів палива (наприклад, порошкоподібного лігніту);
- вантажні операції з негашеним вапном.

Зібраний пил зазвичай повертається у масу продукту. У обладнанні для помелу та вантаження негашеного вапна підтримується невеликий тиск всмоктування. Повідомлені значення викидів пилу з цих джерел знаходяться в діапазоні від 10 до 20 мг/м<sup>3</sup>, якого можна безпечно досягти.

### **2.3.3.1.2 Неорганізовані джерела викидів**

Неорганізовані викиди пилу зазвичай утворюються в результаті зберігання та вантаження сировини, палива та вапна, а також руху транспортних засобів на виробничому майданчику. Для мінімізації можливих джерел неорганізованого пилу рекомендується забезпечити просте та лінійне компонування майданчику.

Неорганізовані викиди пилу, наприклад, з відкритих складів сировини та твердого палива, можуть призвести до проблем, які можна зменшити за допомогою таких технологій:

- достатнє зволоження кагатів, пунктів завантаження і розвантаження;
- використання конвеєрних стрічок з регульованою висотою.

Якщо є велика ймовірність, що пилоподібні матеріали будуть створювати викиди пилу, конвеєри та елеватори конструюються як закриті системи. Дороги на території заводу, по яких їздять вантажівки, періодично вимощуються та прибираються для запобігання неорганізованим викидам пилу. Крім того, на майданчику, де встановлене обладнання, розбризкується вода. Завжди, коли це можливо, використовуються закриті системи зберігання. Для зниження неорганізованих викидів пилу під час завантаження випаленого вапна можна, наприклад, використовувати гнучкі наповнювальні труби, обладнані системою відсмоктування пилу. Ці гнучкі наповнювальні труби обладнані витяжними пристроями, які гарантують вантаження без викидів пилу. Вони спрямовані на завантажувальне дно кузова вантажівки, звідки можуть автоматично підніматися, поки не досягнуть запрограмованої висоти заповнення. Після того, як вантажівка виїжджає вперед приблизно на 30 см, гнучка наповнювальна трубка встановлюється у потрібне положення, і завантаження поновлюється [46, Німеччина, 2006], [66, Австрія, 2006].



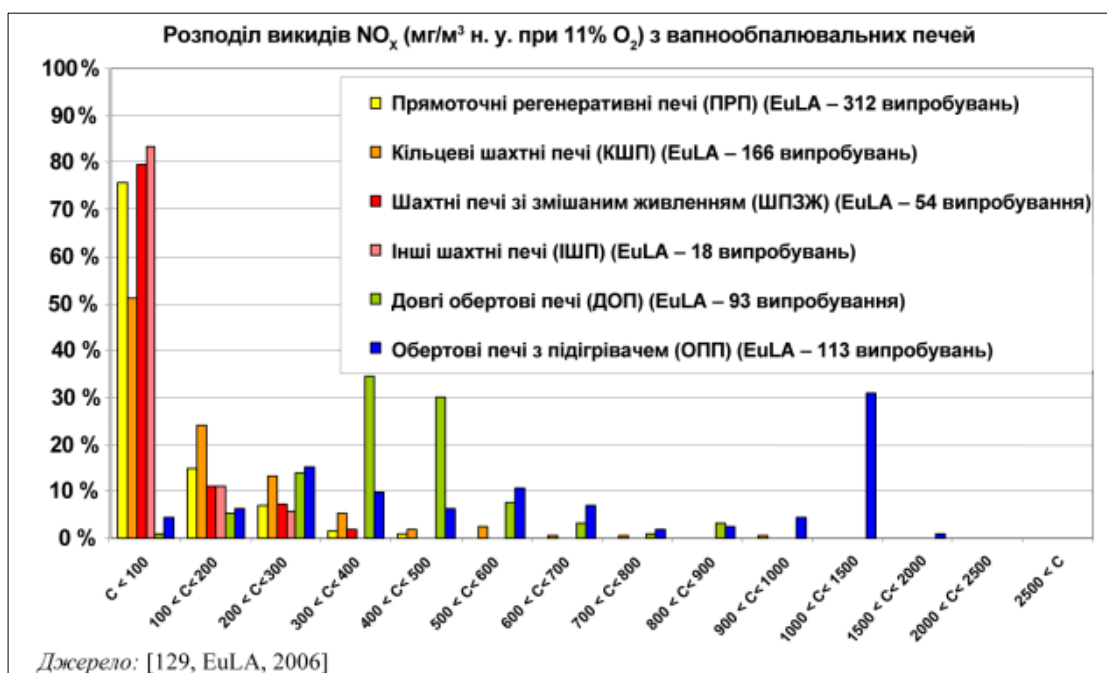
### 2.3.3.2 Оксиди азоту

NO та NO<sub>2</sub> – це оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), які найчастіше можна виявити у димових газах обертових печей, що виготовляють вапно, хоча вони можуть утворюватися і з палива під час його згорання. Існує два основних джерела NO<sub>x</sub>:

- термічні оксиди NO<sub>x</sub> утворюються головним чином у результаті високотемпературної реакції між азотом та киснем у повітрі, поданому в піч для забезпечення згорання, – цей процес (утворення так званих термічних оксидів NO<sub>x</sub>) великою мірою залежить від температури та палива, що використовується;
- паливні оксиди NO<sub>x</sub> утворюються в результаті реакції між сполуками азоту, присутніми в паливі, та киснем у повітрі, що забезпечує згорання.

Термічні оксиди NO<sub>x</sub> утворюються за температур понад 1000 °С, тобто в зоні випалу печі, де температури достатньо високі. Утворена кількість термічних оксидів NO<sub>x</sub> збільшується зі зростанням температур та вмісту кисню в зоні випалу. Оскільки печі, які виготовляють сильно чи повністю випалене вапно з низькою реактивністю, повинні працювати з вищими температурами в зоні випалу, у них зазвичай утворюється більше термічних оксидів NO<sub>x</sub>, ніж у печах, які виготовляють м'яко випалене вапно з високою реактивністю. Через цю температурну залежність викиди NO<sub>x</sub> з вертикальних шахтних печей загалом нижчі, ніж з обертових печей, як видно з Рисунка 2.36.

Паливні оксиди NO<sub>x</sub> утворюються в результаті окиснення сполук азоту, присутніх у паливі. Залежно від умов згорання палива, азот, присутній у паливі, з'єднується з іншими атомами азоту, утворюючи N<sub>2</sub>, або реагує з киснем, утворюючи NO<sub>x</sub>. У зоні обпалювання обертових печей температури зазвичай достатньо високі, щоб сприяти певному окисненню присутнього в паливі азоту до паливних оксидів NO<sub>x</sub>.



**Рисунок 2.36.** Викиди NO<sub>x</sub> з різних типів печей випалу вапна, виміряні у країнах ЄС-27 (точкові вимірювання у перерахунку на середні значення за півгодини)

Як видно з Рисунка 2.36, викиди NO<sub>x</sub> з обертових печей варіюються від 300 до 2 000 мг/м<sup>3</sup> н. у. залежно від типу печі, видів палива, що в ньому використовуються, та типу вапна, що виготовляється. Точкові вимірювання показали, що у 68 % з цих випробувань викиди NO<sub>x</sub> з обертових печей були нижчими, ніж 500 мг/м<sup>3</sup> н. у. Викиди NO<sub>x</sub> з шахтних печей варіюються від <math>< 100</math> до 500 мг/м<sup>3</sup> н. у. залежно від типу печі, що використовується, та типу вапна, що виготовляється. Точкові вимірювання показали, що у 60 % з цих випробувань викиди NO<sub>x</sub> з шахтних печей були нижчими, ніж 100 мг/м<sup>3</sup> н. у.

Крім того, близько 80 % ПРП, ШПЗЖ та ШП і приблизно 50 % КШП досягли значень викидів  $\text{NO}_x < 100 \text{ мг/м}^3$  н. у., вимірних як середні значення за півгодини.

### *Обертові печі (довгі обертові печі (ДОП) або обертові печі з підігрівачем (ОПП))*

Полум'я у цих печах точно відрегульоване, а температури полум'я вищі, ніж у шахтних печах. Через специфіку процесів теплопередачі максимальна температура пічних газів також висока, а це призводить до підвищених рівнів термічних оксидів  $\text{NO}_x$ .

Повністю випалене доломітове вапно виготовляється головним чином в обертових печах. Для протікання цього процесу потрібні вищі температури, а отже, рівні  $\text{NO}_x$  у цих печах донині вищі.

Викиди  $\text{NO}_x$  з цих печей зазвичай знаходяться в діапазоні від 300 і аж до 2 000  $\text{мг/м}^3$  н. у., залежно від типу вапна / доломітового вапна, що виготовляється (від м'яко випаленого до сильно випаленого), та від вмісту азоту в паливі, температур технологічного процесу, надлишку повітря та виготовленої продукції. З урахуванням питомої витрати димових газів, що становить:

- 5 000  $\text{м}^3$  н. у./т при 11 %  $\text{O}_2$  для ДОП;
- 4 000  $\text{м}^3$  н. у./т при 11 %  $\text{O}_2$  для ОПП,

питомий потік оксидів азоту знаходиться в діапазоні від 1,5 до 10  $\text{кг/т}$  вапна для ДОП та від 1,2 до 8  $\text{кг/т}$  вапна для ОПП.

### *Шахтні печі (інші печі (ІП), шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ), кільцеві шахтні печі (КШП) та прямоточні регенеративні печі (ПРП))*

Печі шахтного типу викидають менше  $\text{NO}_x$ , ніж обертові печі, оскільки температури в шахтних печах зазвичай нижчі, ніж 1 400 °С, тож термічні оксиди  $\text{NO}_x$  утворюються порівняно менш інтенсивно.

Крім того, у процесах згорання зазвичай створюються порівняно низькі температури полум'я, ніж в обертових печах, а це, у поєднанні з низькою інтенсивністю процесу перемішування, означає значно нижчі рівні паливних оксидів  $\text{NO}_x$ .

Викиди  $\text{NO}_x$  з цих печей зазвичай знаходяться у діапазоні від 100 до 500  $\text{мг/м}^3$  н. у., залежно від типу вапна / доломітового вапна, що виготовляється. З урахуванням питомої витрати димових газів, що становить:

- 3 000  $\text{м}^3$  н. у./т (11 %  $\text{O}_2$ ) для ПРП та КШП;
- 2 500  $\text{м}^3$  н. у./т (11 %  $\text{O}_2$ ) для ШПЗЖ та ІП,

питомий потік оксидів азоту знаходиться в діапазоні від 0,3 до 1,5  $\text{кг/т}$  вапна для ПРП/КШП та від 0,25 до 1,3  $\text{кг/т}$  вапна для ШПЗЖ/ІП.

Проте у випадках, коли шахтні печі використовуються для виготовлення сильно випаленого кальцієвого вапна чи повністю випаленого доломіту, можуть спостерігатися вищі рівні викидів  $\text{NO}_x$  – до 2 000  $\text{мг/м}^3$  н. у.

### **2.3.3.3 Діоксид сірки**

У більшості операцій випалу вапна негашене вапно захоплює більшу частину сірки, що надійшла з вапняком та паливом. Ефективний контакт між пічними газами та негашеним вапном зазвичай гарантує ефективне поглинання діоксиду сірки. Для печей випалу вапна у країнах ЄС-27 повідомляються типові викиди  $\text{SO}_2$  менше 50  $\text{мг/м}^3$  н. у. у перерахунку на середні значення за півгодини; ці значення залежать від печей, що використовуються для виробництва вапна, як показано на Рисунку 2.37.

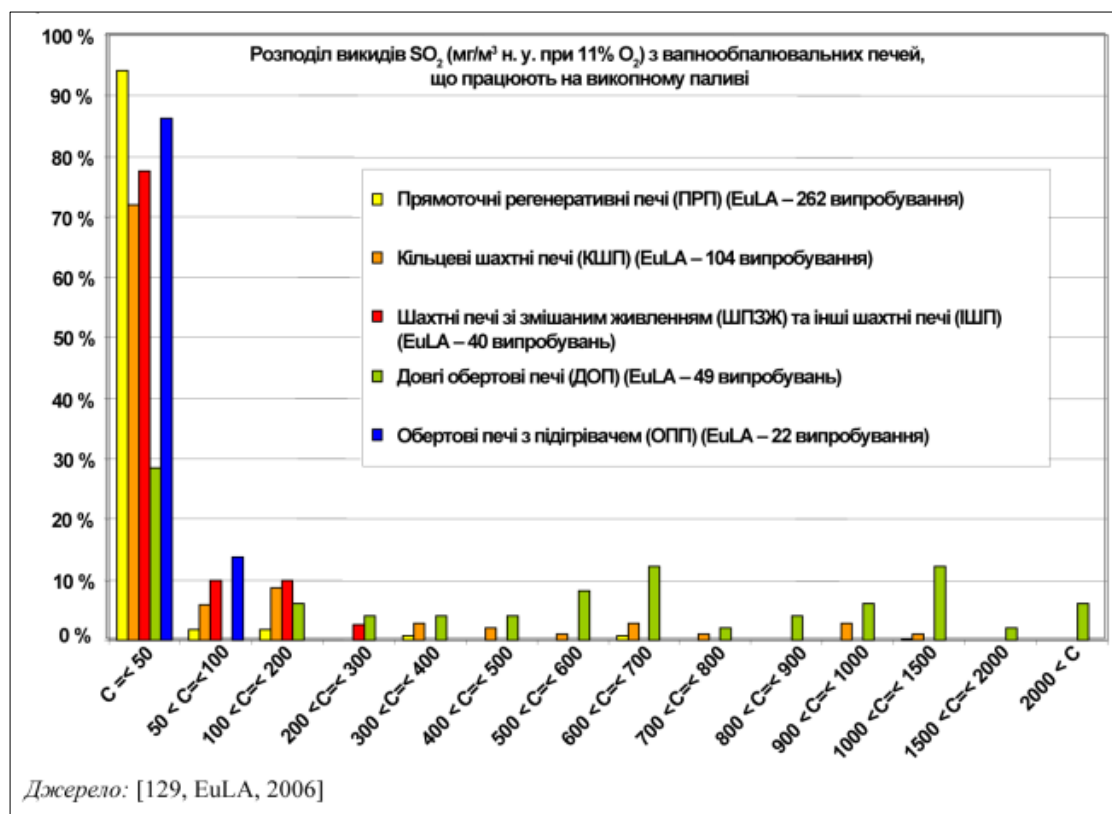
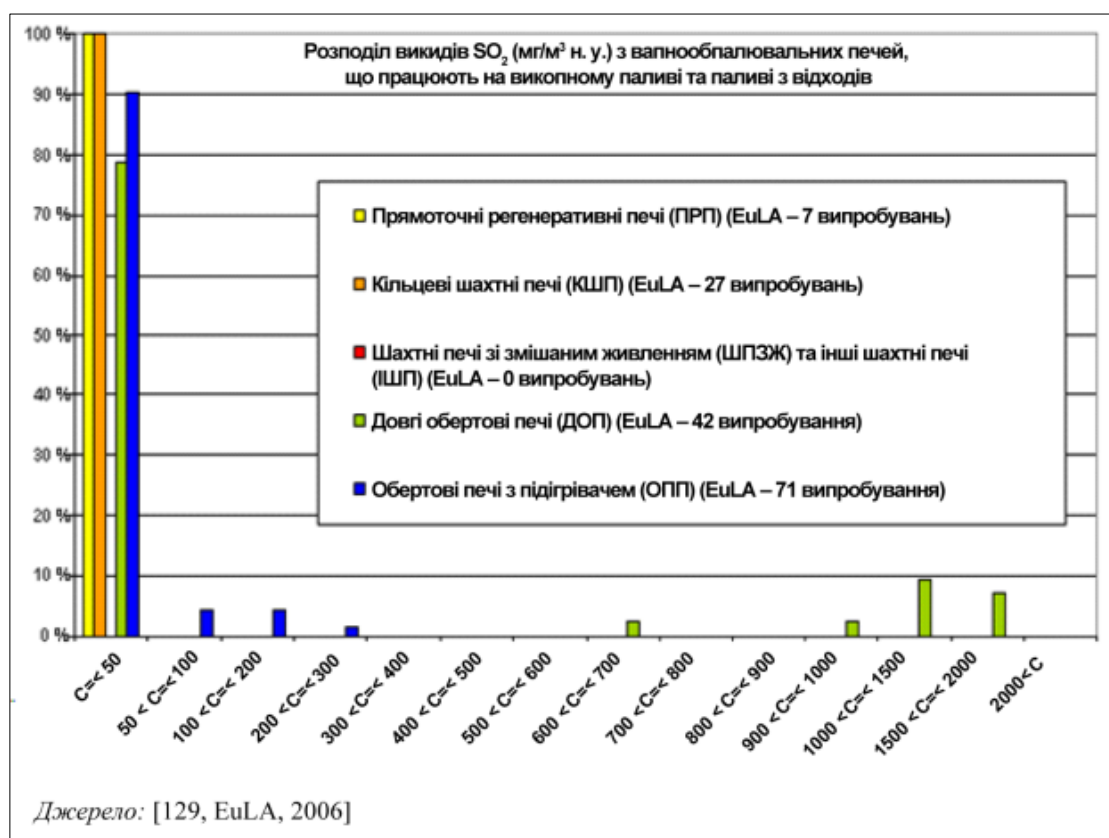


Рисунок 2.37. Виміряні викиди  $\text{SO}_2$  з різних типів печей випалу вапна, що працюють на вичерпаному паливі, у країнах ЄС-27 (точкові вимірювання у перерахунку на середні значення за півгодини)

Як видно з Рисунка 2.37, викиди  $\text{SO}_x$  з обертових печей варіюються від 50 до 2 000  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. залежно від типу печі, виду палива, що в ньому використовується, та типу вапна, що виготовляється. Точкові вимірювання показали, що у 63 % з цих випробувань викиди  $\text{SO}_x$  з обертових печей були нижчими, ніж 500  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. Викиди  $\text{SO}_x$  з шахтних печей варіюються від  $<50$  до 1 000  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. залежно від типу печі, що використовується, та типу вапна, що виготовляється. Точкові вимірювання показали, що у 87 % з цих випробувань викиди  $\text{SO}_x$  з шахтних печей склали 50  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. або були нижчими. Крім того, точкові вимірювання показали, що з цих випробувань близько 90 % викидів  $\text{SO}_x$  з ПРП становили  $< 50 \text{ mg}/\text{m}^3$  н. у., а 90 % викидів  $\text{SO}_x$  з ІШП становили  $< 200 \text{ mg}/\text{m}^3$  н. у. (виміряно як середні значення за півгодини). Крім того, майже 90 % обертових печей з підігрівачами (ОПП), приблизно 78 % кільцевих шахтних печей (КШП), інших шахтних печей (ІШП) та шахтних печей зі змішаним живленням (ШПЗЖ) досягали значення 50  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. або менше (виміряно як середні значення за півгодини).

Слід зазначити, що у разі використання палива з відходів для випалу 100 % ПРП та КШП, 90 % ОПП та приблизно 80 % ДОП досягали викидів  $\text{SO}_x$  на рівні 50  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. або менше (виміряно як середні значення за півгодини), як показано на Рисунку 2.38.



**Рисунок 2.38.** Виміряні викиди SO<sub>2</sub> з різних типів печей випалу вапна, що працюють на вичерпаному паливі та паливі з відходів, у країнах ЄС-27 (точкові вимірювання у перерахунку на середні значення за півгодини)

### Довгі обертові печі (ДОП)

Довгі обертові печі здатні виготовляти негашене вапно з низьким вмістом сірки у відновлювальній атмосфері. У цьому випадку частина сірки, присутньої в паливі та вапняку, видаляється у вигляді діоксиду сірки – головним чином у складі відхідних газів.

Викиди SO<sub>x</sub> з цих печей зазвичай знаходяться у діапазоні від 50 до 1 500 мг/м<sup>3</sup> н. у. залежно від типу палива, що використовується, та від атмосфери в печі (відновлювальної чи окисної), необхідної для досягнення різних рівнів якості продукції. Підвищені викиди пов'язані з використанням палива, яке містить багато сірки, оскільки оператор не завжди має доступ до палива з низьким вмістом сірки. З урахуванням питомої витрати димових газів, що становить 5 000 м<sup>3</sup> н. у./т (11 % O<sub>2</sub>), питомий потік оксиду сірки знаходиться в діапазоні від 0,3 до 7,5 кг/т вапна.

### Обертові печі з підігрівачем (ОПП)

Обертові печі з підігрівачем також здатні виготовляти негашене вапно з низьким вмістом сірки у відновлювальній атмосфері, проте в цьому випадку частина сірки захоплюється головним чином вапном та пилом. Тому викиди сірки нижчі, ніж у ДОП.

Викиди SO<sub>x</sub> з цих печей зазвичай знаходяться у діапазоні від 50 до 400 мг/м<sup>3</sup> н. у. залежно від типу палива, що використовується, та від атмосфери в печі (відновлювальної чи окисної), необхідної для досягнення різних рівнів якості продукції. З урахуванням питомої витрати димових газів, що становить 4 000 м<sup>3</sup> н. у./т (11 % O<sub>2</sub>), питомий потік оксиду сірки знаходиться в діапазоні від 0,2 до 1,6 кг/т вапна.

*Шахтні печі (інші печі (ІІ), шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ), кільцеві шахтні печі (КШП) та прямоточні регенеративні печі (ПРП))*

У шахтних печах ефективний контакт пічних газів з негашеним вапном зазвичай гарантує ефективне поглинання діоксиду сірки (а це, у разі використання палива з високим вмістом сірки, може призвести до отримання негашеного вапна з високим вмістом сірки).

Викиди  $SO_x$  з цих печей зазвичай знаходяться у діапазоні від 50 до 400 мг/м<sup>3</sup> н. у. залежно від типу палива, що використовується, за винятком КШП, для яких максимальне значення становить 1 000 мг/м<sup>3</sup> н. у. З урахуванням питомої витрати димових газів, що становить:

- 3 000 м<sup>3</sup> н. у./т (11 % O<sub>2</sub>) для ПРП та КШП;
- 2 500 м<sup>3</sup> н. у./т (11 % O<sub>2</sub>) для ШПЗЖ та ІІ,

питомий потік оксидів сірки знаходиться в діапазоні від 0,2 до 1,2 кг/т вапна для ПРП/КШП та від 0,1 до 1,0 кг/т вапна для ШПЗЖ/ІІ.

### 2.3.3.4 Оксиди вуглецю (CO<sub>x</sub>)

#### 2.3.3.4.1 Вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>)

Викиди CO<sub>2</sub> визначаються та класифікуються як викиди парникового газу. На викиди CO<sub>2</sub> у вапняній промисловості поширюється Схема торгівлі викидами. Інформація про викиди CO<sub>2</sub> та Схему торгівлі квотами на викиди наведена у Директиві 2003/87/ЕС Європейського парламенту та Ради від 13 жовтня 2003 року, що встановлює схему торгівлі дозволами на викиди парникових газів у межах Європейської спільноти, та наступній поправці до неї, що вноситься Директивою 2009/29/ЕС [99, Європейський Союз, 2003] [191, Європейський Союз, 2009].

Основну мінералогічну реакцію, на якій базується виробництво вапна / доломітового вапна, можна записати так:

- вапно:  $CaCO_3 + \text{енергія} \rightarrow CaO + CO_2$  від технологічного процесу + CO<sub>2</sub> від згорання
- доломітове вапно:  $CaCO_3 \cdot MgCO_3 + \text{енергія} \rightarrow CaO \cdot MgO + 2CO_2$  від технологічного процесу + CO<sub>2</sub> від згорання

(CO<sub>2</sub> від технологічного процесу) визначається за виробництвом вапна / доломітового вапна

(CO<sub>2</sub> згорання) визначається за споживанням енергії

Кількості CO<sub>2</sub> від технологічного процесу та від згорання за типами печі наведені у Таблиці 2.25.

**Таблиця 2.25. Коефіцієнти викидів CO<sub>2</sub> з різних типів печей у вапняній промисловості**

Тип печі <sup>(1)</sup>	Тонна CO <sub>2</sub> від технологічного процесу на тону вапна (CaO) <sup>(2)</sup>	Тонна CO <sub>2</sub> від технологічного процесу на тону доломітового вапна (CaO•MgO) <sup>(2)</sup>	Тонна CO <sub>2</sub> від згорання на тону вапна / доломітового вапна	Загальний коефіцієнт викидів CO <sub>2</sub> від усієї діяльності
Довгі обертові печі (ДОП)	0,785	0,913	0,365 – 1,062	Вапно 1,150 – 1,847 Доломітове вапно 1,278 – 1,975
Обертові печі з підігрівачем (ОПП)	0,785	0,913	0,269 – 0,617	Вапно 1,054 – 1,402 Доломітове вапно 1,182 – 1,530
Прямоочні регенеративні печі (ПРП)	0,785	0,913	0,202 – 0,425	Вапно 0,987 – 1,210 Доломітове вапно 1,115 – 1,338
Кільцеві шахтні печі (КШП)	0,785	0,913	0,224 – 0,465	Вапно 1,009 – 1,250 Доломітове вапно 1,137 – 1,378
Шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	0,785	0,913	0,224 – 0,708	Вапно 1,009 – 1,493 Доломітове вапно 1,137 – 1,621
Інші печі (Ш)	0,785	0,913	0,224 – 0,508	Вапно 1,009 – 1,291 Доломітове вапно 1,137 – 1,419

<sup>(1)</sup> Тип печі залежить від необхідної якості продукції, якості вапняку та гранулометричного складу вхідної сировини

<sup>(2)</sup> Викиди CO<sub>2</sub> від технологічного процесу визначені за методичним керівництвом Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату (МГЕЗК) у складі Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (РКЗК ООН). Детальніша інформація наведена у «2006 Методичному керівництві з національних інвентаризації парникових газів МГЕЗК», том 3, «Промислові технологічні процеси та використання продукції».

Джерело: [54, EuLA, 2006]

До 2008 року викиди вуглекислого газу на тону негашеного вапна вдалося знизити у більшості країн ЄС-27 – не лише шляхом заміни старих печей більш термічно ефективними конструкціями, а й шляхом оптимізації використання енергії (наприклад, шляхом вдосконалення засобів керування технологічним процесом) та підвищення продуктивності (наприклад, шляхом скорочення кількості відходів пилу, що утворюються).

### 2.3.3.4.2 Монооксид вуглецю (CO)

Типові викиди CO з вапняних заводів показані на Рисунку 2.39. Викиди CO з печей випалу вапна знаходяться в діапазоні від менш ніж 100 до 2 500 мг/м<sup>3</sup> н. у. залежно від типу печі та типу палива, що використовується. У результаті близько 50 % точкових випробувань було отримано значення викидів CO менше 100 мг/м<sup>3</sup> н. у.

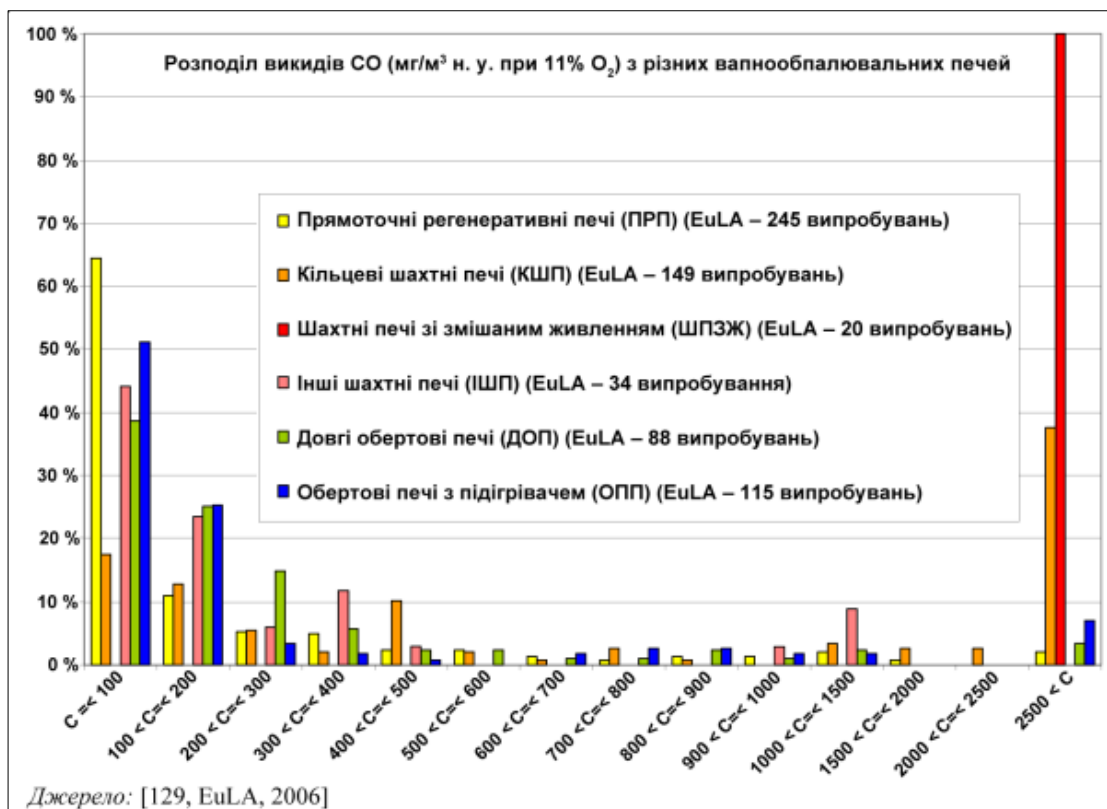


Рисунок 2.39. Викиди CO з різних типів печей випалу вапна у країнах ЄС-27

Експерименти, проведені на печах випалу вапна, показали, що за допомогою термічного окиснення можна безпечно впоратися з концентраціями CO на рівні 2 об'ємних %. Проте концентрація викидів CO в очищених газах завжди < 100 мг/м<sup>3</sup> н. у. [142, EnvNGO (Програма громадської діяльності для сприяння неурядовим організаціям, що займаються головним чином захистом навколишнього середовища)/Геберт (Tebert), 2007].

Концентрація CO вимірюється в нижній частині димової труби. Коли CO потрапляє в атмосферу, він швидко окиснюється до CO<sub>2</sub> і розсіюється.

Утворюючись внаслідок неповного згорання, викиди монооксиду вуглецю (CO) загалом означають втрату ефективності. Тому оператори часто обмежують викиди CO зі своїх печей.

#### Обертові печі

Моніторинг викидів CO безперервно здійснюється на краю труби, з боку димових газів. Викиди CO пов'язані з цільовою якістю вапна, коли у вапняку та/або паливі присутня сірка.

Викиди CO з цих печей зазвичай знаходяться у діапазоні від 100 до 400 мг/м<sup>3</sup> н. у., залежно від типу палива, що використовується. З урахуванням питомої витрати димових газів, що становить:

- 5 000 м<sup>3</sup> н. у./т при 11 % O<sub>2</sub> для ДОП;
- 4 000 м<sup>3</sup> н. у./т при 11 % O<sub>2</sub> для ОПП,

Питомий потік монооксиду вуглецю знаходиться в діапазоні від 0,5 до 2,0 кг/т вапна для ДОП та від 0,4 до 1,6 кг/т вапна для ОПП.

*Шахтні печі (інші печі (ІП), шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ), кільцеві шахтні печі (КШП) та прямоочні регенеративні печі (ПРП))*

З огляду на свою базову конструкцію, кільцеві шахтні печі (КШП) працюють з надлишком кисню на рівні нижнього пальника та нижче стехіометричних умов на рівні верхнього пальника. Тому типовий діапазон викидів з них становить від 100 до 2 500 мг/м<sup>3</sup> н. у.. З урахуванням питомої витрати димових газів, що становить 3 000 м<sup>3</sup> н. у./т (11 % O<sub>2</sub>), питомий потік монооксиду вуглецю знаходиться в діапазоні від 0,3 до 7,5 кг/т вапна.

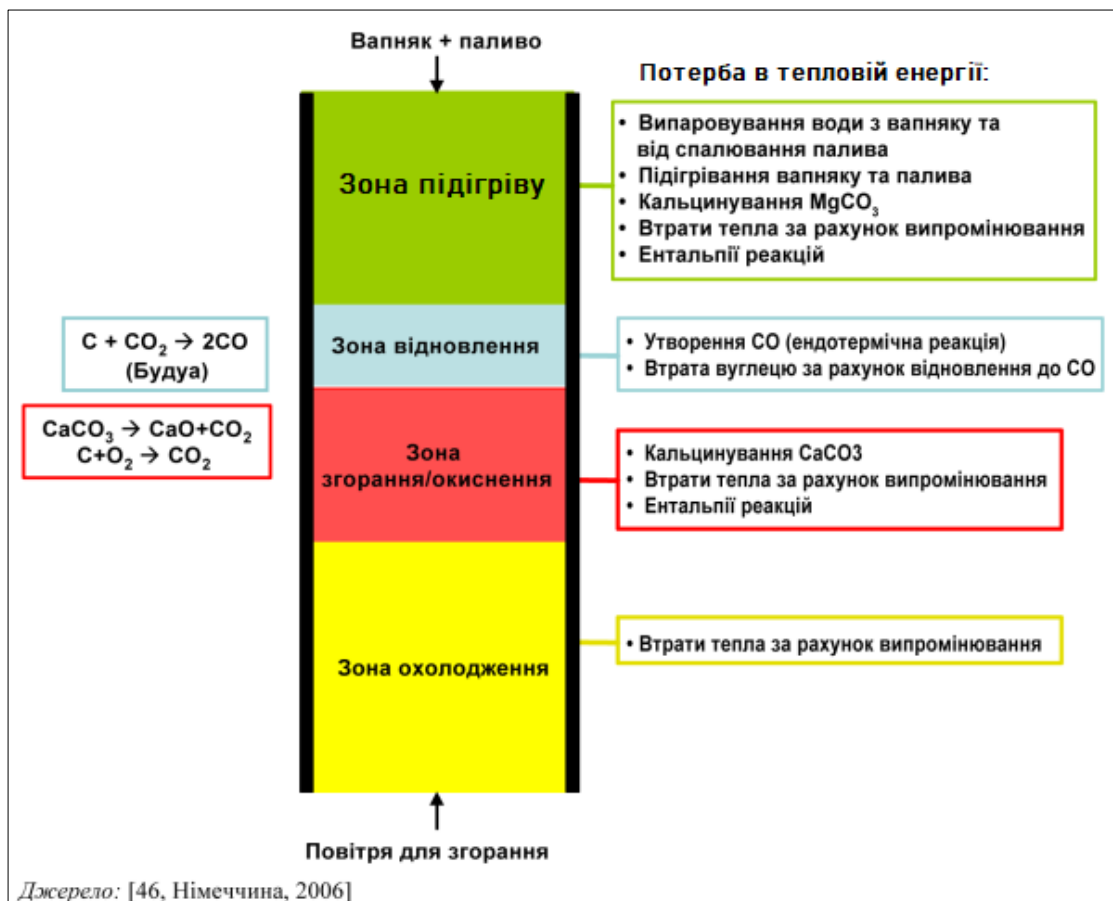
Для інших шахтних печей (ІП) кількість проведених вимірювань не дозволяє назвати узгоджені діапазони викидів СО.

Для шахтних печей зі змішаним живленням слід зазначити, що – на відміну від інших процесів згорання – рівень викидів СО з печей випалу вапна завжди не означає автоматично неповного згорання. Умови роботи печей випалу вапна завжди визначаються вимогами до продукції, тобто властивостями випаленого вапна, яких вимагає користувач. Оскільки вищі викиди СО відповідають більшим споживання енергії піччю (+1 % СО у відхідних газах дорівнює додатковому споживанню енергії близько 200 кДж/кг вапна), печі випалу вапна зазвичай працюють таким чином, щоб викиди СО були якомога меншими, залежно від конкретних продуктів. У німецькій вапняній промисловості загалом рівень СО у відхідних газах підтримується нижче 3 % за допомогою технологій оптимізації технологічного процесу. Для зниження викидів СО оптимізація є єдиним варіантом [46, Німеччина, 2006]. Крім того, для шахтних печей зі змішаним живленням при виробництві певної продукції можуть спостерігатися викиди СО в діапазоні від 1 до 6 %. У цих випадках для забезпечення потрібної якості продукції необхідно підтримувати регульовані рівні монооксиду вуглецю. Проте для деяких випадків застосування вапна потрібне сильно випалене вапно, яке виготовляється головним чином у шахтних печах зі змішаним живленням. Викиди СО з шахтних печей зі змішаним живленням визначаються за так званою реакцією Будау, як показано на Рисунку 2.40.

У прямоочних регенеративних печах (ПРП) на початку циклів виникають дуже короткі піки рівнів СО. У кінці циклу подача палива припиняється, і перед «зворотним ходом» протягом певного часу подається лише повітря, аби гарантувати спалювання всього палива. Досвід показує, що, незважаючи на це, під трубками подачі пального може залишатися невелика кількість палива. Після початку зворотного ходу воно продовжує горіти за несприятливих умов, утворюючи «пік» СО.

Викиди СО з цих печей зазвичай знаходяться у діапазоні від 100 до 400 мг/м<sup>3</sup> н. у., залежно від типу палива, що використовується. З урахуванням питомої витрати димових газів, що становить 3 000 м<sup>3</sup> н. у./т (11 % O<sub>2</sub>), питомий потік монооксиду вуглецю знаходиться в діапазоні від 0,3 до 1,2 кг/т вапна.





**Рисунок 2.40.** Хімічні реакції та споживання енергії у шахтній печі зі змішаним живленням (реакція Будуа)

Протікання реакції Будуа залежить головним чином від температурного профілю палива у безкисневій атмосфері. Іншими значимими чинниками є розмір зерен, реактивність палива, однорідність вхідної сировини, швидкість повітря та початковий вміст  $CO_2$ . Інтенсивність генерування CO збільшується з ростом температур у зоні відновлення. Тому викидам CO, що утворюються в шахтних печах зі змішаним живленням, може бути складно, а певною мірою навіть неможливо запобігти [46, Німеччина, 2006].

#### Виробництво гідралічного вапна

Деякі види вапняку містять вуглець, а це також може призвести до збільшення викидів CO у процесі випалювання вапна, як-от на установках виробництва природного гідралічного вапна (див. розділ 2.2.2) в ІШП, де використовується вапняк, що містить 65 – 90%  $CaCO_3$  та  $MgCO_3$ . Чистота цієї сировини відрізняється від чистоти сировини, що використовується для виробництва інших типів вапна. У ході періодичних вимірювань (двічі на рік) з 2003 по 2006 рік були виміряні значення викидів CO у діапазоні від 5 904 до 12 560  $mg/m^3$  н. у. (точкові вимірювання, 8 %  $O_2$ , стандартний стан), тобто 4 541 – 9 555  $mg/m^3$  н. у. відповідно при 11 %  $O_2$  [128, Португалія, 2007].

#### 2.3.3.5 Органічні сполуки / загальний органічний вуглець (ЗОВ)

Леткі органічні сполуки (ЛОС) зазвичай вимірюються як загальний органічний вуглець (ЗОВ). Спеціальний аналіз показав, що частина ЗОВ головним чином породжена метаном, проте у результаті вимірювань також був виявлений бензол. У складі викидів з шахтних печей зі змішаним живленням спостерігалось 80 – 90 % метану та 2 % бензолу [46, Німеччина, 2006] [54, EuLA, 2006]. Типові викиди органічних сполук, виміряні як викиди загального органічного вуглецю (ЗОВ), з печей випалу вапна різних типів (ДОП, ПРП, КШП) показані на Рисунку 2.41.

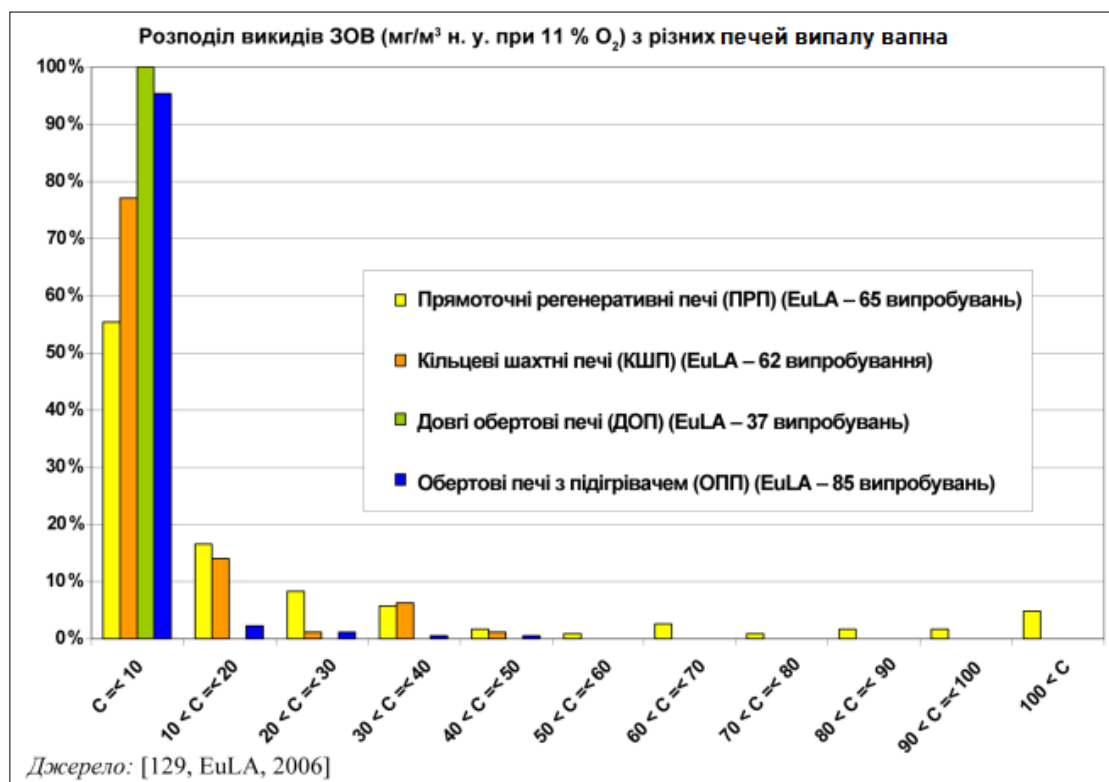


Рисунок 2.41. Викиди ЗОВ з різних типів печей випалу вапна у країнах ЄС-27

Викиди ЛОС часто пов'язані з викидами СО, що утворюються внаслідок неповного згорання палива. Оскільки оператори часто обмежують викиди СО з печей, викиди ЛОС загалом залишаються низькими. У дуже обмеженій кількості випадків, коли вапнякова сировина містить до 0,1 % органічної речовини, леткі органічні сполуки можуть викидатися безперервно.

У всіх типах печей, окрім прямоточних регенеративних печей (ПРП) та шахтних печей зі змішаним живленням (ШПЗЖ), ці викиди трапляються у короткі періоди під час пуску чи порушень у роботі – таким чином, рівень цих викидів нижчий, ніж 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. (Секв). У ПРП цей процес спричиняє циклічні зміни умов згорання кожні 10 – 12 хвилин. Тому рівні викидів ЛОС дещо вищі, ніж ті, що спостерігаються для інших типів печей. У старіших ШПЗЖ можуть траплятися вищі викиди ЗОВ, зумовлені особливими умовами технологічного процесу у верхній частині печі (відновлювальних зонах).

#### Виробництво гідралічного вапна

У випадку виробництва природного гідралічного вапна ситуація з викидами буде відрізнятися. Чистота сировини, що використовується в цьому процесі, відрізняється від чистоти сировини, що використовується для виробництва інших типів вапна. Високий вміст органічної речовини у сировині зумовлений тим, що організми в цьому матеріалі скам'яніли замість того, щоб перетворитися у вуглекислий газ та воду протягом століть. Вміст органічного матеріалу (виражений як ЗОВ) зазвичай знаходиться в діапазоні 0,8 – 5 %. Ситуаційне дослідження за 2005 рік показало, що у випадку, коли вміст органічної речовини у сировині становив від 2,8 до 5 %, вміст ЗОВ у кальцинованому продукті становив від 0,7 до 1,2 %. У обмеженій кількості випадків, коли вапняк містить значну кількість органічної речовини, леткі органічні сполуки (виражені як ЗОВ) можуть викидатися безперервно. У ході періодичних вимірювань (двічі на рік) з 2003 по 2006 рік були виміряні значення викидів ЗОВ у діапазоні від 593 до 2 169 мг/м<sup>3</sup> н. у. (точкові вимірювання, 8 % O<sub>2</sub>, стандартний стан), тобто 456 – 1 668 мг/м<sup>3</sup> н. у. відповідно при 11 % O<sub>2</sub> [127, Португалія, 2007].

### 2.3.3.6 Поліхлоровані дибензопарадіоксини (ПХДД) та поліхлоровані дибензофурани (ПХДФ)

Сировина або паливо, що містить хлориди, потенційно може призводити до утворення ПХДД/Ф в будь-якій зоні технологічного процесу з температурою від 300 до 450 °С.

Дані, повідомлені в документі «Визначення значимих промислових джерел діоксинів та фуранів у Європі», вказують, що заводи з виробництва вапна роблять незначний внесок у загальні викиди ПХДД/Ф в Європі [31, Державне агентство з охорони навколишнього середовища Північного Рейну-Вестфалії (LUA NRW), 1997].

Для отримання кращого уявлення про ситуацію з викидами ПХДД/Ф у вапняній промисловості були проведені вимірювання – більшість з них для внутрішніх потреб. Дані, наявні станом на 2006 рік, досить добре відображали ситуацію з виробництвом вапна у країнах ЄС-27, як показано в Таблиці 2.26.

Таблиця 2.26. Середні викиди ПХДД/Ф з різних типів печей у країнах ЄС-27

Тип печі	Середні викиди ПХДД/Ф (нг I-TEQ/м <sup>3</sup> н. у. (11% O <sub>2</sub> ))	Кількість печей, за якими здійснювався моніторинг	Загальна кількість печей у країнах ЄС-27	Відсоток (%)
Довгі обертові печі (ДОП)	0,0638	11	25	44
Обертові печі з підігрівачем (ОПП)	0,0698	15	20	75
Прямоточні регенеративні печі (ПРП)	0,0198	45	149	30
Кільцеві шахтні печі (КШП)	0,0155	40	77	52
Шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	0,0532	25	115	22
Інші печі (ІП)	0,0050	1	158	0,6

Джерело: [54, EuLA, 2006]

### 2.3.3.7 Хлороводень та фтороводень (HCl та HF)

Приклади типових викидів HCl та HF з печей випалу вапна різних типів наведені у Таблиці 2.27.

Таблиця 2.27. Типові викиди HCl та HF з печей випалу вапна різних типів у країнах ЄС-27

Тип печі	мг HCl/м <sup>3</sup> н. у. <sup>(1)</sup>	мг HF/м <sup>3</sup> н. у. <sup>(1)</sup>
<b>Негашене вапно (від м'яко випаленого до сильно випаленого)</b>		
Довгі обертові печі (ДОП)	<5 – <50	<1
Обертові печі з підігрівачем (ОПП) <sup>(2)</sup>	<5 – <20	<1
Прямоточні регенеративні печі (ПРП)	<10	<1
Кільцеві шахтні печі (КШП)	<20 – <40	<2
Шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	<15 – <20	<1
Інші печі (ІП)	<10	<1
<b>Доломітове вапно (від м'яко випаленого до випаленого)</b>		
Довгі обертові печі (ДОП)	<150	<1
Обертові печі з підігрівачем (ОПП)	<30	<1
Шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	<20	<1
<b>Використання відходів</b>		
Різні типи печей	10 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>
	60 <sup>(4)</sup>	4 <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Концентрації викидів виміряні як середні значення за півгодини і приведені до 10 % O<sub>2</sub>, щоб значення можна було порівнювати  
<sup>(2)</sup> Обертова піч з колосниковим підігрівачем  
<sup>(3)</sup> Середньодобове значення  
<sup>(4)</sup> Середнє значення за півгодини  
Джерело: [46, Німеччина, 2006], [168, TRF «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

Поведінка HCl у печах випалу вапна дуже подібна до поведінки SO<sub>2</sub>. Тому у більшості операцій з обпалювання вапна більша частина хлору, присутнього у сировині (вапняку) та паливі, захоплюється негашеним вапном. Ефективний контакт між пічними газами та вапном / доломітовим вапном зазвичай гарантує ефективне поглинання HCl. Це особливо характерно для вертикальних печей, у яких забезпечується ефективний контакт між пічними газами та вапном / доломітовим вапном. Проте викиди HCl з шахтних печей залежать головним чином від вмісту сполук хлору у вапняку. Викиди HCl часто бувають більшими, якщо обпалюється сухий вапняк. У деяких випадках викиди HCl можна знизити шляхом вприскування води у димові гази.

Оскільки вміст хлору вищий у доломіті (від 100 до приблизно 1000 мг/л), ніж у вапняку (від 10 до приблизно 150 мг/л), то пов'язані з ним викиди HCl загалом вищі при виробництві доломітового вапна. Таким чином, спостерігалось, що викиди з обертових печей, у яких виготовляється доломітове вапно, можуть перевищувати значення викидів у 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. (порогове значення Директиви щодо сміттєспалювальних заводів), навіть якщо в них не використовується хлороване паливо.

Розподіл типових викидів HCl з печей випалу вапна різних типів (ДОП, ПРП, КШП) показаний на Рисунку 2.42.

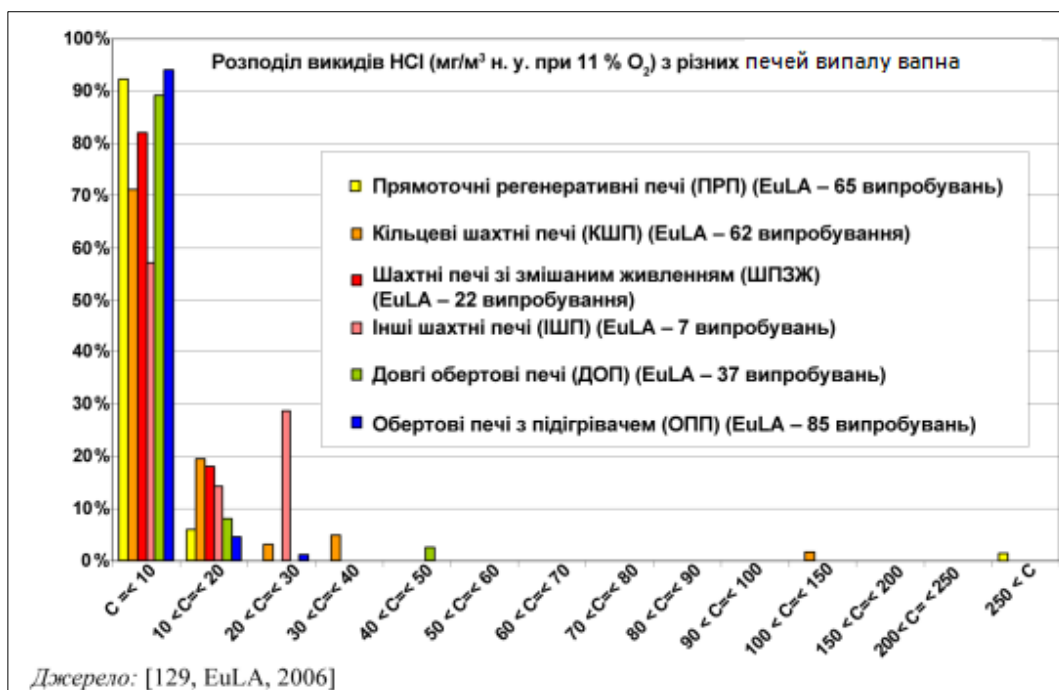


Рисунок 2.42. Викиди HCl з різних печей випалу вапна у країнах ЄС-27

У деяких випадках, якщо у якості палива та/або сировини використовуються відходи, середньодобові значення викидів (за вмісту кисню 10 %) встановлюються на рівні 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. для HCl та 1,0 мг/м<sup>3</sup> н. у. для HF. Ці рівні викидів також повинні бути дотримані під час точкових або періодичних вимірювань [46, Німеччина, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

### 2.3.3.8 Сірководень (H<sub>2</sub>S)

Викиди H<sub>2</sub>S виникають лише у шахтних печах зі змішаним живленням, оскільки у верхній частині печей цього типу створюються сильні відновлювальні умови. Спостерігалися викиди до 20 мг/м<sup>3</sup> н. у.

Проте не було виявлено зв'язку між викидами H<sub>2</sub>S та вмістом сірки у матеріалі, що завантажується в піч, таким як камінь і паливо. Це зумовлено тим, що частина сірки (у матеріалі, завантаженому в піч) присутня у відновленій формі (наприклад, у вигляді піриту, сірки, зв'язаної у складі органічних сполук, або елементарної сірки), а решта – в окисненій формі (наприклад, у вигляді сульфату).

Пропорція цих двох форм зазвичай невідома, оскільки типовий аналіз сірки показує лише загальний вміст обох форм. Проте у хімічних процесах, що протікають у верхній частині шахтної печі зі змішаним живленням,  $H_2S$  утворюється лише за рахунок відновленої або елементарної сірки [46, Німеччина, 2006], [54, EuLA, 2006].

### 2.3.3.9 Метали

На сьогодні є великі об'єми даних про такі метали: ванадій, кадмій, кобальт, манган, мідь, арсен, нікель, ртуть, свинець, селен, стибій, талій, телур, хром та цинк. Крім того, викиди металів також можуть виникати внаслідок використання відходів, як видно з прикладу у розділі 6.3.4 (див. Таблицю 6.40).

Дані про викиди металів у країнах ЄС-27 наведені у Таблиці 2.28. У цій таблиці результати (С) вказані для вмісту кисню 11 % і є зведеними значеннями для металів у формі парів та у формі твердих часток. У випадках, коли виміряна концентрація була меншою, ніж межа виявлення, припускалося, що результат дорівнює межі виявлення. Більшість цих вимірювань дозволили зробити висновок, що рівні викидів будуть меншими, ніж аналітичні межі виявлення, навіть у випадку використання палива з відходів. Тому значення викидів знаходяться у діапазоні 0,01 – 0,1 мг/м<sup>3</sup> н. у. У деяких особливих випадках з підвищеними викидами пилу для свинцю та цинку можуть спостерігатися значення до 0,40 мг/м<sup>3</sup> н. у.

Детальні цифри розподілу різних типів концентрацій металів у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 наведені у розділі 6.3.1 [56, EuLA, 2006].



### 2.3.3.10 Вплив використання відходів на динаміку викидів

#### 2.3.3.10.1 Приклади викидів у разі використання відпрацьованого мастила

Взятий для прикладу німецький завод демонструє типові результати аналізу викидів з шахтної печі, у якій в якості палива використовується відпрацьоване мастило. Ця шахтна піч обладнана рукавним фільтром. У 10 камерах згорання кільцевої шахтної печі типові температурні діапазони варіюються від 1 140 до 1 300°C. Відпрацьоване мастило для спалювання подається спеціальною установкою збору та змішування відпрацьованого мастила. Перед подаванням відпрацьованого мастила у пальник воно проходить через фільтраційне сито з розміром чарунок сітки 200 мкм. Показники якості відпрацьованого мастила (теплота згорання близько 0,030 – 0,039 ГДж/кг та вміст води приблизно 4 – 13 % за вагою), що спалюється у кільцевій шахтній печі, наведені у Таблиці 2.29. У цій таблиці наведені результати типового аналізу за 2002 рік.

**Таблиця 2.29. Результати типового аналізу якості відпрацьованого мастила, що використовується у німецьких шахтних печах**

Забруднююча речовина	Одиниця вимірювання	Типовий вміст забруднюючих речовин у відпрацьованому мастилі після фільтрування (200 мкм) <sup>(1)</sup>
Сірка	% за вагою	0,34 – 0,55
Загальний хлор	% за вагою	0,03 – 0,04
Hg	мг/кг	≤ 0,05
Cd	мг/кг	0,2 – 0,3
Pb	мг/кг	< 0,5
<b>Метали</b>		
Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Mn, V, Sn	мг/кг	42 – 244
Σ 6 ПХБ 28, 52, 101, 153, 138, 180	мг/кг	< 1
<sup>(1)</sup> Результати типового аналізу за 2002 рік Джерело: [46, Німеччина, 2006]		

У Таблиці 2.30 наведено результати окремих вимірювань викидів у Німеччині за 2002 рік. Під час вимірювань у якості палива використовувалося лише відпрацьоване мастило.

**Таблиця 2.30. Окремі вимірювання викидів з німецької шахтної печі, у якій використовується відпрацьоване мастило**

Параметр	Одиниця вимірювання	Діапазон окремих півгодинних вимірювань
Пил	мг/м <sup>3</sup> н.у.	1 – 11
ЗОВ/ЛОС	мг/м <sup>3</sup> н.у.	< 4
CO	г/м <sup>3</sup> н.у.	0,06 – 1,2
NO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	110 – 240
SO <sub>2</sub>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	1 – 13
HF	мг/м <sup>3</sup> н.у.	< 0,2
HCl	мг/м <sup>3</sup> н.у.	11 – 19
ПХДД/Ф	нг I-TEQ/м <sup>3</sup> н.у.	< 0,004 <sup>(1)</sup>
<b>Важкі метали</b>		
Σ Cd, Pb	мг/м <sup>3</sup> н.у.	< 0,01
Hg	мг/м <sup>3</sup> н.у.	< 0,01
Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Mn, V, Sn	мг/м <sup>3</sup> н.у.	< 0,04
Вміст кисню 10 %, 273,15 К, 101,3 кПа, сухий газ <sup>(1)</sup> Для ПХДД/Ф період відбору проб складає 6 годин Джерело: [46, Німеччина, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].		

Дослідження показали, що викиди металів дуже низькі, незалежно від типу печі та палива, що в ній спалюється. У результаті вимірювань на всіх типах печей було отримано типові значення для кадмію (Cd) у діапазоні <0,001 – 0,05 мг/м<sup>3</sup> н. у. Для загального вмісту таких металів, як арсен (As), свинець (Pb), хром (Cr), мідь (Cu), нікель (Ni), селен (Se) та телур (Te), спостерігалися типові значення викидів з шахтних печей у діапазоні 0,01 – 0,04 мг/м<sup>3</sup> н. у.

У обертових печах викиди таких металів, як арсен (As), свинець (Pb), хром (Cr), мідь (Cu), нікель (Ni), селен (Se) та телур (Te), у деяких випадках були вищими – до  $0,16 \text{ мг/м}^3$  н. у. Викиди ртуті з усіх типів печей, як правило, становили  $<0,05 \text{ мг/м}^3$  н. у. Особливу увагу слід звертати на можливе забруднення палива з відходів, які використовуються разом із ртуттю (наприклад, відходи деревини). Оскільки ртуть летка, можуть виникати відповідні підвищені викиди ртуті. Тому надходження ртуті у складі палива з відходів має бути обмежене.

У випадку використання відходів спостерігалися виміряні викиди ртуті нижче  $0,03 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середньодобове значення або  $0,05 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середнє значення за півгодини. Для загального вмісту кадмію і талію спостерігалися виміряні викиди нижче  $0,05 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середнє значення за півгодини, а для суми арсену, кобальту, хрому, міді, мангану, свинцю, стибію, олова та ванадію спостерігалися виміряні викиди нижче  $0,5 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середнє значення за півгодини (вміст кисню 10 %) [46, Німеччина, 2006].

### 2.3.3.10.2 Приклади викидів з обертових печей у випадку використання твердих відходів

У чотирьох обертових печах на взятому для прикладу заводі в Німеччині використовуються тверді відходи. Типи твердих відходів, що були вибрані і використовуються, залежать від технічних вимог процесу обпалювання та якості продукту. Приклад контролю якості цих твердих відходів описано у розділі 6.3.4. У всіх обертових печах реалізовані технології зниження викидів – наприклад, циклони, електрофільтр для зниження викидів пилу та технологія СНКВ для зниження викидів  $\text{NO}_x$ .

Безперервні вимірювання для наведених нижче викидів та контрольних чинників виконані у димових трубах печі:

- пил (у тому числі фракції  $\text{PM}_{10}$ );
- оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ );
- оксиди сірки ( $\text{SO}_2$ ) (починаючи з 2007 року);
- об'ємний потік димових газів;
- вологість димових газів;
- тиск димових газів;
- температура димових газів;
- вміст кисню.

Вимірювальні інструменти та пристрої для аналізу відповідають стандарту DIN/ISO 14181. Виміряні значення реєструються і передаються в режимі онлайн до органу моніторингу. У Таблиці 2.31 наведені результати безперервних вимірювань рівнів пилу та  $\text{NO}_x$ , зареєстровані у 2006 році. Розбиття на періоди вимірювань зумовлене змінами у національному законодавстві. До кінця 2006 року рівні  $\text{SO}_x$  вимірювалися періодично, а безперервні вимірювання  $\text{SO}_x$  почалися на початку 2007 року.



Таблиця 2.31. Безперервні вимірювання викидів з німецьких обертових печей, у яких використовується тверде паливо, виконані у 2006 році

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення викидів (середньорічне)
<b>З січня по жовтень 2006 року</b>		
Пил	мг/м <sup>3</sup> н.у.	6,1
NO <sub>x</sub> <sup>(1)</sup>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	376
NO <sub>x</sub> <sup>(2)</sup>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	737
<b>З листопада по грудень 2006 року</b>		
Пил	мг/м <sup>3</sup> н.у.	4,1
NO <sub>x</sub> <sup>(3)</sup>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	366
<sup>(1)</sup> Виробництво м'яко випаленого вапна <sup>(2)</sup> Виробництво помірно та сильно випаленого вапна <sup>(3)</sup> Виробництво м'яко, помірно та сильно випаленого вапна Джерело: [156, Німеччина, 2007, [164, Rheinkalk, 2007]		

Крім того, з огляду на національне законодавство, деякі параметри викидів, окрім безперервних вимірювань, також вимірюються періодично. У Таблиці 2.32 наведені результати окремих вимірювань викидів (середньодобові значення).

Таблиця 2.32. Періодичні вимірювання викидів з німецьких обертових печей, у яких використовується тверде паливо, виконані у 2006 році

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення викидів (середньодобові значення)		
		Перший день	Другий день	Третій день
Загальний рівень С (органічні речовини)	мг/м <sup>3</sup> н.у.	1,7	1,7	0,2
HCl	мг/м <sup>3</sup> н.у.	2,0	1,2	0,9
HF	мг/м <sup>3</sup> н.у.	< 0,1	< 0,2	< 0,2
SO <sub>2</sub>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	8,9	2,5	5,2
Hg	мг/м <sup>3</sup> н.у.	0,006	0,005	0,004
∑ Cd, Tl та їх сполуки	мг/м <sup>3</sup> н.у.	0,003	0,007	0,005
∑ Метали та їх сполуки	мг/м <sup>3</sup> н.у.	< 0,009	< 0,066	< 0,049
Be	мг/м <sup>3</sup> н.у.	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ПХДД/Ф	нг/м <sup>3</sup> н.у.	0,072	0,044	0,025
Стандартний стан, сухий газ, 10,25 % O <sub>2</sub> Джерело: [164, Rheinkalk, 2007]				

### 2.3.4 Технологічні втрати / відходи

У результаті кальцинування вапняку в якості побічного продукту може утворюватися вапно з такими розмірами твердих часток та рівнями декарбонізації, які не завжди задовольняють вимогам ринку. Цей побічний продукт можна збирати безпосередньо з вивантажувального отвору печі під час процедур пуску та зупинки або шляхом просіювання чи видалення пилу з димових газів. На цей побічний продукт припадає від 1 до 5 % загального річного обсягу виробництва. Під час пуску печі з холодного стану та під час зупинки утворюються невеликі кількості частково кальцинованого матеріалу. Такі ситуації можуть траплятися з різною частотою – від одного разу на 6 місяців до одного разу на 10 років.

Тверді фракції, відділені у процесі промивання вапняку, – наприклад, природні домішки, як-от кремнезем, глина та наддрібні частки, – можна утилізувати та повторно використовувати:

- для рекультивації чи засипання забруднених (наприклад, кислих) земель;
- у якості сировини для цементної промисловості; або
- для меліорації ґрунтів у сільському господарстві.

Пил, зібраний з рукавних фільтрів, можна використовувати у різноманітній комерційній продукції [46, Німеччина, 2006].

### 2.3.5 Використання та очищення води

Сировина, видобута з кар'єру, може у невеликих кількостях містити глину та пісок. У цьому випадку вапняк промивається водою перед подачею у піч. Потреба у воді для промивання вапняку складає від 0,5 до 2 м<sup>3</sup> на тонну сировини, залежно від характеру та кількості забруднень. Після використання промивальна вода містить від 50 до 200 мл зважених твердих часток на літр – це відповідає вмісту твердих часток від 5 до 20 г/л. Промивальна вода загалом не містить інші забруднюючі речовини.

Вода, що використовується для промивання вапняку, зазвичай береться з поверхневих вод або вичерпується при зниженні рівня підземних вод під час виймання ґрунту. Іншими поширеними джерелами промивальної води є дощові опади та колодязі.

Очищена вода з обох систем повторно використовується у процесі промивання/ Ступінь повторного використання води складає близько 85 %; лише 15 % води є технологічними втратами, які потрібно замінити свіжою водою.

У результаті обробки в загущувачі та механічного осушення утворюються фільтр-пресові коржі з залишковим вмістом вологи від 10 до 20 % [46, Німеччина, 2006].

### 2.3.6 Шум

Шумове випромінювання характерне для всього технологічного процесу виготовлення вапна – від видобування та підготовки сировини у процесі виробництва вапна та зберігання матеріалу до відвантаження, а також транспортування готової продукції. Наприклад, у процесі виробництва вапна завантаження грудок вапняку у печі випалу вапна може створювати шум та/або вібрацію таких рівнів, які потребують зниження; Проте джерела шумового випромінювання найчастіше бувають такими:

- потужні машини;
- жолоби та бункери;
- будь-які операції, пов'язані з розколюванням, дробленням, помелу та просіюванням вапна;
- витяжні вентилятори;
- повітродувки;
- вібрація трубопроводів.

Заводи повинні дотримуватися стандартів зниження шуму відповідно до національного законодавства.

### 2.3.7 Неприємні запахи

Неприємні запахи можуть з'являтися на вапняних заводах, де використовуються шахтні печі зі змішаним живленням, оскільки там утворюються викиди сірководню (H<sub>2</sub>S). При використанні паливної суміші, що складалася з 30 % коксу та 70 % антрациту, повідомлялося про викиди H<sub>2</sub>S у діапазоні від 6 до 9,5 мг/м<sup>3</sup> н. у. У випадках, коли використовувався виключно антрацит, повідомлялося про знижені викиди H<sub>2</sub>S – від рівня нижче межі виявлення до <1,6 мг/м<sup>3</sup> н. у.

Крім того, відходи, що використовуються у якості сировини або палива, можуть призводити до появи неприємних запахів, особливо на різних етапах технологічного процесу, таких як підготовка та зберігання.

### 2.3.8 Моніторинг

За даними Європейської асоціації виробників вапна, досвід показує, що у вертикальних печах випалу вапна умови технологічного процесу загалом стабільні. Рівень викидів може змінюватися лише тоді, коли змінюється хімічний склад вапняку та/або палива і умови технологічного процесу, необхідні для забезпечення певної якості продукції.

Додаткова корисна інформація щодо моніторингу наведена у Довідковому документі щодо загальних принципів моніторингу [151, Європейська комісія, 2003].

#### 2.3.8.1 Безперервні вимірювання

Вимірювання викидів дійсно підтверджують стабільність викидів. Для контролю процесу обпалювання у печі здійснюється безперервний моніторинг кількох параметрів технологічного процесу, який демонструє стабільність технологічного процесу. До цих параметрів належать, наприклад:

- температура;
- вміст  $O_2$ ;
- потік повітря;
- тиск.

Більш того, деякі з параметрів технологічного процесу є характеристичними, тож вони пов'язані з параметрами викидів, наприклад, інтенсивністю уловлювання в електрофільтрі та викидами пилу. Крім того, може бути доцільно проводити безперервні вимірювання, і в деяких конкретних випадках повідомлялося про їх проведення для таких параметрів:

- $NO_x$ ;
- $SO_2$ ;
- пил;
- $CO$ .

Проте, якщо у якості палива використовуються відходи, то, як правило, необхідно здійснювати безперервний моніторинг викидів згідно з положеннями Додатку VI до Директиви 2010/75/EU – наприклад, для викидів  $NO_x$ , а в деяких випадках – для викидів  $SO_2$  та ЛОС/ЗОВ. При сумісному спалювання відходів потрібно дотримуватися вимог Частини IV та Додатку VI до Директиви 2010/75/EU.

Також може бути доцільно здійснювати моніторинг викидів з великих обертових печей через мінливість деяких параметрів їх технологічного процесу. Крім того, залежно від видів палива, що використовуються, умов технологічного процесу та значимості викидів може бути необхідно виконувати додаткові вимірювання [46, Німеччина, 2006], [54, EuLA, 2006].

#### 2.3.8.2 Періодичні вимірювання

Періодичні вимірювання виконуються для таких забруднюючих речовин, якщо тільки моніторинг цих речовин не здійснюється безперервно:

- пил;
- діоксид сірки ( $SO_2$ );
- оксид азоту ( $NO_x$ ).

Залежно від видів палива, що завантажуються в піч, особливо у разі використання з цією метою відходів, від умов технологічного процесу та значимості викидів, виконуються додаткові вимірювання рівнів таких забруднюючих речовин:

- оксиди вуглецю (СОх);
- загальний органічний вуглець (ЗОВ);
- хлороводень (НСІ);
- фтороводень (НF);
- важкі метали;
- поліхлоровані дибензопарадіоксини (ПХДД) та поліхлоровані дибензофурани (ПХДФ).

У деяких випадках здійснюється моніторинг рівня бензопірену (С<sub>20</sub>Н<sub>12</sub>), (категорія 2А; можливо, канцерогенний для людей за класифікацією Міжнародного агентства з дослідження раку (IARC)).

## 2.4 Технології, які потрібно розглянути при визначенні НДТМ

У цьому розділі описано технології (або їх комбінації) та пов'язані з ними процедури моніторингу, які вважаються потенційно здатними забезпечити високий рівень захисту довкілля у ході діяльності, що входить до обсягу цього документа. До описаних технологій належать як технології, що використовуються на установці, так і способи проектування, будівництва, технічного обслуговування, експлуатації установки та її виведення з експлуатації.

Цей розділ охоплює системи управління навколишнім середовищем, технології, інтегровані у технологічний процес, та заходи зі зниження викидів у кінці виробничого циклу. Також розглядаються процедури запобігання утворенню відходів та керування обробленням відходів, у тому числі процедури мінімізації утворення відходів та переробки, а також технології, які зменшують споживання сировини, води та енергії шляхом оптимізації їх використання та повторного використання.

У Додатку III до Директиви перелічено ряд критеріїв для визначення НДТМ; ці міркування будуть враховані в інформації, наведеній у цій частині. Кожна технологія окреслена, наскільки це можливо, з дотриманням стандартної структури, представленої у Таблиці 1.30, щоб технології та їх оцінку можна було порівнювати з визначенням НДТМ, наведеним у цій Директиві.

Цей розділ не обов'язково містить вичерпний перелік технологій, що можуть застосовуватися у цьому секторі промисловості. Можуть існувати, або бути розроблені, й інші технології, які можна буде врахувати при визначенні НДТМ для конкретної установки.

**Таблиця 2.33. Інформація про кожен технологію**

Тип інформації, що враховується	Тип інформації, що входить до складу цих відомостей
Опис	Стислий опис технології з зазначенням, залежно від конкретного випадку, хімічних або інших рівнянь, рисунків, діаграм та схем технологічного процесу.
Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти	Основні потенційні вигоди для навколишнього середовища, яких буде досягнуто завдяки реалізації технології (у тому числі скорочення споживання енергії; зменшення скидів у воду, викидів у повітря та ґрунти; заощадження сировини, а також збільшення виходу продукції, зменшення кількості відходів, тощо).
Міжсередовищні наслідки	Значимі негативні наслідки для навколишнього середовища, викликані реалізацією цієї технології, які дають змогу порівнювати різні технології для оцінки їх впливу на навколишнє середовище у цілому. До них можуть належати такі питання: <ul style="list-style-type: none"> <li>• споживання та характер сировини і води;</li> <li>• споживання енергії та внесок у зміну клімату;</li> <li>• потенційна здатність до руйнування стратосферного озону;</li> <li>• потенційна здатність до створення фотохімічного озону;</li> <li>• закислення середовища внаслідок викидів у повітря;</li> <li>• присутність твердих часток у навколишньому повітрі (у тому числі мікрочасток та металів);</li> <li>• евтрофікація земель та вод внаслідок викидів у повітря або воду;</li> <li>• потенційна здатність до виснаження запасів кисню у воді;</li> <li>• стійкі / токсичні / біоаккумулятивні компоненти (у тому числі метали);</li> <li>• утворення решток / відходів;</li> <li>• обмеження здатності повторно використовувати чи переробляти рештки / відходи;</li> <li>• створення шуму та/або неприємного запаху;</li> <li>• підвищений ризик нещасних випадків.</li> </ul> Слід враховувати Довідковий документ щодо економічних та міжсередовищних наслідків (ЕСМ).
Експлуатаційні параметри	Фактичні та притаманні конкретному заводу експлуатаційні параметри (у тому числі рівні викидів, рівні споживання – сировини, води, енергії, – та кількість решток/відходів, що утворюються).

Тип інформації, що враховується	Тип інформації, що входить до складу цих відомостей
	<p>Будь-яка інша корисна інформація з таких питань:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• як проєктувати, експлуатувати, виконувати технічне обслуговування, контролювати та виводити з експлуатації цю технологію;</li> <li>• питання моніторингу викидів, пов'язані з використанням цієї технології;</li> <li>• чутливість та довговічність технології;</li> <li>• питання щодо запобігання нещасним випадкам.</li> </ul>
Застосування	<p>Зазначається, чи технологія може застосовуватися у всьому секторі промисловості. Якщо ні – вказуються основні загальні технічні обмеження щодо використання технології у секторі промисловості. Ці обмеження можуть бути такими:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• зазначення типів заводів або технологічних процесів у межах сектору промисловості, з якими технологія не може застосовуватися;</li> <li>• обмеження на реалізацію у певних стандартних випадках, з урахуванням, наприклад, таких моментів: <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ чи розрахована технологія на новий або існуючий завод, з урахуванням факторів, пов'язаних з модернізацією (наприклад, наявність вільної виробничої площі) та взаємодією з уже встановленими технологіями;</li> <li>◦ розмір заводу, його потужність або коефіцієнт експлуатаційного навантаження;</li> <li>◦ кількість, тип або якість продукції, що виготовляється;</li> <li>◦ тип палива або сировини, що використовується.</li> </ul> </li> </ul> <p>Ці обмеження вказуються разом з їх причинами.</p> <p>Ці обмеження не мають на меті надати перелік можливих місцевих умов, які можуть вплинути на застосування технології для конкретного заводу.</p>
Економіка	<p>Інформація про витрати (капітальні витрати / інвестиції, експлуатаційні витрати та витрати на технічне обслуговування, у тому числі дані про те, як ці витрати були розраховані/оцінені), та будь-які можливості заощадження (наприклад, скорочення споживання сировини чи енергії, податки на вироблені відходи, зменшення терміну окупності у порівнянні з іншими технологіями, або доходи чи інші вигоди включно з даними про те, як вони були розраховані/оцінені.</p> <p>Економічні аспекти та витрати на моніторинг розглядаються з урахуванням відповідно Довідкового документа щодо економічних та міжсерєдовищних наслідків (ECM) і Довідкового документа щодо загальних принципів моніторингу (MON).</p>
Стимули для впровадження	<p>У випадках, де це застосовно – конкретні місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи техніки безпеки) або чинники, не пов'язані з захистом довкілля (наприклад, збільшення виходу продукції, покращення якості продукції, економічні стимули – наприклад, субсидії, податкові пільги), які ініціювали або посприяли впровадженню технології на сьогодні.</p>
Приклади заводів	<p>Посилання на завод(и), де ця технологія реалізована, і з яких була зібрана інформація, використана для написання цього розділу. Зазначення міри, якою ця технологія використовується у ЄС або у всьому світі.</p>
Довідкова література	<p>Література або інші довідкові матеріали (наприклад, книги, звіти, дослідження), які використовувалися у написанні цього розділу і містять детальнішу інформацію про технологію. Якщо довідковий документ містить багато сторінок, буде зроблене посилання на відповідну сторінку (сторінки) або розділ(и).</p>

## 2.4.1 Споживання вапняку

### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Мінімальне споживання та раціональне використання вапняку досягається за рахунок максимального збільшення виходу вапнякового каменю з кар'єру шляхом оптимізації технологій видобування (буріння і підривних робіт) та обробки, а також виходу доступного для продажу негашеного вапна з вапнякового каменю. Цього можна досягти шляхом застосування оптимізованих технологій, які здатні працювати з розширеним діапазоном розмірів зерен вапняку, наприклад, у ПРП та/або інших обертових печах для виробництва дрібнозернистого вапна.

### Міжсередовищні наслідки

Міжсередовищні наслідки відсутні.

### Експлуатаційні параметри

Експлуатаційні параметри для різних типів печей випалу вапна наведені у Таблиці 2.15.

### Застосування

Загалом може застосовуватися у вапняній промисловості, проте технології обробки каменю та пічні технології залежать від якості вапняку.

### Економіка

Дані відсутні.

### Стимули для впровадження

Скінченні запаси доступного вапняку.

Вигоди для навколишнього середовища за рахунок подовження періоду експлуатації кар'єрів (раціональне використання).

Вимоги законодавства.

### Приклади заводів та довідкова література

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[54, EuLA, 2006].

## 2.4.2 Зменшення споживання енергії (енергоефективність)

### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

У вапняній промисловості можна застосовувати систему енергетичного менеджменту для моніторингу споживання енергії печами.

З огляду лише на енергоефективність та викиди CO<sub>2</sub>, найбільш ефективними печами є вертикальні печі загалом та, зокрема, прямоочні регенеративні печі (ПРП). Проте, хоча міркування стосовно енергії та CO<sub>2</sub> мають принципове значення, перед прийняттям рішення щодо вибору печі (див. розділи 2.2.7 та 2.3.2) або сировини потрібно також врахувати інші технічні вимоги. У деяких випадках технічні вимоги можуть створювати технічні переваги для обертових печей, особливо у випадку модернізованих обертових печей.

У більшості випадків нові печі встановлюються замість старих, проте деякі з існуючих печей були модифіковані для зменшення споживання паливної енергії. Такі модифікації варіюються від незначних модифікацій до принципових змін конфігурації печі, залежно від технічної обґрунтованості, вартості та фактичних потреб, наприклад:

- встановлення теплообмінників для довгих обертових печей, які будуть регенерувати надлишкове тепло з димових газів або дадуть змогу використовувати ширший асортимент палив;
- використання надлишкового тепла, що виділяється з обертових печей, для сушіння вапняку в інших технологічних процесах, таких як подрібнення вапняку;
- у деяких випадках, коли шахтні печі стали нерентабельними, було доцільно перетворити їх у сучасні конструкції – наприклад, перетворити просту шахтну піч у кільцеву шахтну конструкцію, або сполучити пару шахтних печей, щоб створити прямоочну регенеративну піч. Перетворення подовжує термін служби дорогих елементів обладнання, таких як конструкція печі, система завантаження каменю та установка переміщення/зберігання вапна;

- у виняткових випадках може бути економічно доцільно вкоротити довгі обертові печі і обладнати їх підігрівачем, щоб таким чином зменшити споживання палива;
- споживання електроенергії можна мінімізувати шляхом використання енергоефективного обладнання.

Перелічені тут енергоефективні заходи/технології сприятливо впливають на споживання енергії:

- керування технологічним процесом – наприклад, регулювання надлишку повітря, що забезпечує згорання, або витрати палива;
- технічне обслуговування обладнання – наприклад, контроль його герметичності, ерозії вогнетривких матеріалів;
- оптимізований розмір зерен каменю.

Крім того, у Таблиці 2.34 перелічені можливості вдосконалення печей випалу вапна з точки зору енергоефективності, згруповані за компонентами пічної системи.

**Таблиця 2.34. Можливості вдосконалення печей випалу вапна з точки зору енергоефективності**

Компонент пічної системи	Опис	ДОП	ОПП	ПРП	КШП	ШПЗЖ, Ш
Система спалювання палива	Технологія високоєфективних та гнучко регульованих пальників для адаптації температурного профілю до вимог продукції	X	X	-	-	-
Система спалювання палива	Моніторинг згорання у режимі онлайн та зменшення кількості надлишкового повітря	X	X	-	-	-
Система спалювання палива	Регулювання згорання за допомогою аналізу димових газів	-	-	X	X	X
Система спалювання палива	Система спалювання палива з високою гнучкістю регулювання, у тому числі можливість використання паливних сумішей з паливом, отриманим з відходів	X	X	X	X	X
Холодильник	Ефективний холодильник з рівномірним розподілом повітря та вивантаженням продукції для мінімізації необхідної кількості охолоджувального повітря	X	X	X	X	X
Холодильник	Надійний пристрій вимірювання рівня у холодильнику	X	X	-	-	-
Контур димових газів	Система регенерації тепла	X	-	-	-	-
Вхідний контроль	Систематичний відбір проб та аналіз палива і каменю, а також відповідна адаптація технологічного процесу	X	X	X	X	X
Вхідний контроль	Повторне просіювання каменю перед завантажувальним у піч для регулювання гранулометричного складу каменю	X	X	X	X	X
Вхідний контроль	Надійні зважувальні/відмірювальні пристрої для контролю витрати палива, каменю та повітря	X	X	X	X	X
Конструкція печі (1)	Оптимізоване відношення довжини до діаметру	X	X	X	X	X
Сама піч	Вогнетривке внутрішнє устаткування всередині обертової частини для сприяння теплообміну та запобігання розшаруванню продукту	X	X	-	-	-
Сама піч	Ефективна ізоляційна футеровка для мінімізації втрат тепла через кожух	X	X	X	X	X
Сама піч	Зменшення подачі повітря шляхом встановлення ущільнень на головці печі та завантажувальному отворі печі	X	X	-	-	-
Сама піч	Регулярне очищення каналу	-	-	X	X	X
Піч та підігрівач	Зменшення затікання повітря для контролю надлишку повітря	-	-	X	X	X
Робота печі	Автоматичні ланцюги керування тягою в головці печі, надлишком повітря, масою в тоннах/оберт печі, регулюванням, тощо	X	X	-	-	-
Робота печі	ПЛК та система контролю з відображенням тенденцій зміни основних параметрів	X	X	X	X	X
Робота печі	Рівномірні умови роботи	X	X	X	X	X
Робота печі	Аналіз причин зупинок та ремонтів	X	X	X	X	X
Підігрівач	Оптимізація балансу між перепадом тиску та теплообміном	-	X	-	-	-
Подальший контроль якості	Систематичний відбір проб та аналіз вапна, а також регулювання печі	X	X	X	X	X

(1) Може застосовуватися лише до нових печей

Джерело: [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007] [177, EuLA, 2008]

### Міжсередовищні наслідки



Оскільки природні ресурси стають усе менш доступними, потрібно віднайти баланс між оптимальним використанням енергії та найбільш раціональним використанням покладів на місцевому рівні.

#### **Експлуатаційні параметри**

Паливо та енергія є, як правило, найбільш витратними факторами випалу вапна, і для зведення до мінімуму собівартості продукції було розроблено методи покращення енергоефективності. У Німеччині в деяких випадках споживання електроенергії у процесі помелу вапна вдалося мінімізувати шляхом заміни млинів для негашеного вапна млинами, що працюють за принципом помелу під високим тиском (наприклад, валковими млинами). Повідомлялося, що завдяки використанню установок помелу високого тиску було заощаджено енергію у розмірі  $2,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.} / T_{\text{негашеного вапна}}$ . Крім того, в одному конкретному випадку споживання електроенергії вдалося зменшити шляхом заміни мокрих скрубєрів рукавними фільтрами. У цьому випадку повідомлялося про заощадження електроенергії у розмірі  $2,9 \text{ кВт} \cdot \text{год.} / T_{\text{негашеного вапна}}$  [46, Німеччина, 2006].

#### **Застосування**

Може застосовуватися, в принципі, до всіх типів печей випалу вапна.

Вертикальні печі зазвичай здатні випалювати лише грубий вапняковий камінь. Проте обертові печі, які споживають більше енергії, здатні з користю переробляти і дрібні фракції, а у нових вертикальних печах, як правило, можна обпалювати невеликі гранули розміром від 10 мм. Більші гранули кам'яної сировини для печі частіше використовуються у вертикальних печах, ніж в обертових печах.

#### **Економіка**

Дані відсутні.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Природні ресурси.

Зменшення витрат.

#### **Приклади заводів та довідкова література**

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[46, Німеччина, 2006], [54, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007]. Корисна інформація на цю тему також наведена у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для енергоефективності (ENE) [181, Європейська комісія, 2008].

### **2.4.3 Оптимізація керування технологічним процесом**

#### **Опис**

Оптимізацію можна реалізувати шляхом автоматизації більшості етапів технологічного процесу у всьому процесі виготовлення вапна. Підтримання параметрів керування піччю на рівні, близькому до їх оптимальних значень, призводить до зниження всіх параметрів споживання ресурсів та викидів у процесі випалу вапна. Це зумовлено, зокрема, меншою кількістю зупинок та порушень умов роботи. Можна впровадити системи управління, аби гарантувати застосування належних методів експлуатації та технічного обслуговування і їх виконання всіма, кого це стосується, а також здійснювати моніторинг їх дотримання.

#### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Технології оптимізації керування технологічним процесом сприятливо впливають на використання енергії та викиди.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Немає.

#### **Експлуатаційні параметри**

Залежно від завдання оптимізації.

### **Застосування**

Може різною мірою застосовуватися на всіх заводах випалу вапна.

Повної автоматизації технологічного процесу зазвичай неможливо досягти через наявність змінних, які не піддаються контролю, тобто чинника якості вапняку.

### **Економіка**

Залежно від завдання оптимізації.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[54, EuLA, 2006].

## **2.4.4 Вибір палива (у тому числі палива з відходів)**

### **Опис**

Вапняна промисловість – це енергоємна галузь промисловості (див. розділ 2.2.4). Залежно від хімічного складу палива та типу печі, що використовується, вибір належного палива або паливної суміші може зменшити викиди та підвищити ефективність випалу, наприклад:

- використання палива з низьким вмістом сірки зменшує викиди  $\text{SO}_2$ , пов'язані з енергією. Проте, оскільки сірка, що надходить з паливом, хімічно поглинається вапном, деякі види палива з високим вмістом сірки можна використовувати у виробництві вапна без підвищення викидів  $\text{SO}_2$ ;
- використання біомаси сприяє збереженню викопних видів палива;
- використання палива з відходів зменшує кількість використаного викопного палива та пов'язані з ним викиди  $\text{CO}_2$  (див. розділ 2.2.5), проте тверде паливо з відходів водночас робить внесок у збільшення викидів  $\text{CO}_2$ .

За винятком шахтних печей зі змішаним живленням, усі типи печей можуть працювати на всіх видах палива. Деякі печі працюють лише на одному виді палива, однак більшість печей працюють на суміші палив. Залежно від типу печі, можна використовувати газоподібні, рідкі та тверді види палива. Тверді види палива можна додатково поділити на порошкоподібні та грудкові види палива, які також можуть використовуватися у поєднанні залежно від типу печі.

Аж до 2008 року найпоширенішими видами палива, що використовувалися у ЄС, були природний газ та тверді види палива, як-от лігніт, вугілля, нафтовий кокс та кокс. Проте також використовуються рідкі види палива, а також паливо з відходів та/або біомаса з великою теплотою згорання та високою реактивністю.

Вибір належних видів палива з відходів для технологічного процесу та пальника (наприклад, відпрацьованого мастила, використаних розчинників, тваринного жиру, рідких відходів), які водночас мають певні характеристики, відповідають певним критеріям та мають постійну якість (наприклад, мають велику теплоту згорання, високу реактивність, низький вміст сірки, хлору, металів та золи, а також кількісно доступні), зменшує кількість використаних викопних палив (див. розділ 2.2.5). Щоб гарантувати необхідні характеристики палива з відходів, потрібна система контролю якості. Ця система, зокрема, встановлює процедури відбору проб, підготовки проби, аналізу та зовнішнього моніторингу. Більше корисної інформації можна знайти у технічних вимогах Європейського комітету зі стандартизації, таких як CEN/TC 343 «Тверде відновлене (відновлювальне) паливо».

### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Вибір належних видів палива чи паливної суміші дає змогу знизити викиди та підвищити ефективність опалювання.

### **Міжсередовищні наслідки**

Залежно від хімічного складу палива та типу печі, можуть підвищуватися викиди.

Слід зазначити, що у разі використання відходів можуть виникати різні типи додаткових викидів.

Крім того, зміни у паливній суміші часто призводять до зміни питомого споживання енергії на тонну вапна. Залежно від видів палива з відходів, що використовуються, та їх теплоти згорання, середньорічна питома потреба в тепловій енергії може збільшитися, як спостерігалось у цементній промисловості (див. розділ 1.3.3 стосовно цементної промисловості). Це спостереження у цементній промисловості можна поширити на використання відходів у вапняній промисловості.

### **Експлуатаційні параметри**

При зміні паливної суміші, що використовується, питома споживання енергії на тонну вапна може різнитися з різноманітних причин, залежно від типів палива та теплоти згорання палива, що використовується. З літератури можна дізнатися, що теплота згорання (середня нижча теплота згорання) викопних видів палива становить, наприклад, 26 – 30 МДж/кг для звичайного вугілля, 40 – 42 МДж/кг для звичайного мазуту, у той час як теплота згорання твердих відходів, таких як пластмасові матеріали, становить від 17 до 40 МДж/кг. Слід зазначити, що теплота згорання цих відходів дуже різниться – від 3 до 40 МДж/кг. Проте види палива з теплою згорання менше 18 МДж/кг не підходять для вапняної промисловості через високий вміст золи та вологи (також див. приклади у Таблиці 6.41). Повідомляється, що теплота згорання тваринної муки (кісткової муки), яке використовується у печах випалу вапна, варіюється від 14 до 21,5 МДж/кг.

### **Застосування**

Кожен тип печі, в принципі, здатний працювати на різних видах палива, проте на практиці потребує для цього відповідного технічного обладнання. Сюди також можуть входити засоби для приймання та зберігання палива. Крім того, у печах повинні бути передбачені технології для спалювання або вприскувальні трубки для конкретних видів палива. Більшість заводів у ЄС тією чи іншою мірою універсальні з точки зору роботи на різних видах палива, залежно від їх розташування та згаданих вище економічних чинників. Проте перехід на інший тип палива може потребувати значних інвестицій.

Слід зазначити, що у разі використання рідких відходів таке паливо з відходів повинно мати малу в'язкість, і паливо часто необхідно підігрівати (до 60 – 70 °С). Крім того, у разі використання тваринного жиру цей вид відходів через свою в'язкість застигає за температури 40 °С і може забивати труби та арматуру. Операції з тваринним жиром необхідно здійснювати за температур понад 40 °С – для цього потрібно, наприклад, його додатково нагрівати.

Паливо з пухких твердих відходів можна використовувати лише в обертових печах. Крім того, порошкоподібне паливо з відходів можна використовувати в обертових печах, прямоточних регенеративних печах та у спеціальних типах шахтних печей. Проте станом на 2008 рік порошкоподібне паливо з відходів недоступне для використання у вапняній промисловості через високу вартість дроблення пухких відходів до стану порошку.

Вибір належних видів палива залежить від типу печей, що використовуються, від потрібних рівнів якості продукції, від доступності цих видів палива та від технічних можливостей вприскувати їх у вибрану піч. Їх використання обмежене головним чином такими чинниками:

- фізичні та хімічні властивості, які не завжди задовольняють відповідним фізичним, хімічним вимогам чи вимогам, пов'язаним з конкретним технологічним процесом;
- доступність на ринку та гарантоване постачання у довготерміновій перспективі;
- економічні міркування;
- рівень викидів.

Інформація щодо використання палива з відходів наведена у розділі 2.2.5.

### **Економіка**

Найважливішими економічними параметрами є:

- вартість самого палива – вартість палива на тонну вапна може складати від 30 до 60 % собівартості;

- різниця між цінами на природний газ та тверді види палива, яка змінюється з часом;
- вплив вартості дозволів на викиди CO<sub>2</sub>;
- інвестиційні витрати на обладнання, необхідне для використання конкретного виду палива – наприклад, його зберігання, переміщення, сушіння, роздрібнення, вприскування та заходи безпеки.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Економічні вимоги.

Місцеві умови.

### Приклади заводів та довідкова література

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[54, EuLA, 2006], [143, Вільямс (Williams), 2005], [155, Німеччина, 2007], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнезії», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнезії», 2008].

## 2.4.5 Викиди пилу (твердих часток)

У цьому розділі описано технології запобігання організованим (див. розділ 2.3.3.1.1) та неорганізованим (див. розділ 2.3.3.1.2) викидам пилу.

Корисна інформація на цю тему також міститься у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для викидів зі складів насипних чи небезпечних матеріалів та у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для загальних систем переробки/керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі [58, Європейська комісія, 2003], [96, Європейська комісія, 2006].

### 2.4.5.1 Технології для операцій, що супроводжуються утворенням пилу

#### Опис

Тут наведено кілька різних технологій, які можна застосовувати окремо або у поєднанні одна з одною (див. розділ 2.3.3.1.2):

- огороження/закриття кожухами операцій, що супроводжуються утворенням пилу, таких як помел, просіювання та перемішування;
- накриття конвеєрів та елеваторів, які конструюються як закриті системи, якщо є велика ймовірність, що пилоподібні матеріали будуть створювати викиди пилу;
- використання силосів для зберігання належної місткості, індикаторів рівня з рубильниками та фільтрами для очищення запиленого повітря, що рухається під час операцій заповнення;
- у пневматичних системах транспортування бажано використовувати циркуляційний процес;
- виконання вантажних операцій з матеріалами в закритих системах, у яких підтримується розрідження, та очищення втягнутого повітря від пилу за допомогою рукавного фільтра перед викиданням у атмосферу;
- зменшення кількості точок витоків та проливання, повне укомплектування установки.
- належне і повне технічне обслуговування установки;
- використання автоматичних пристроїв та систем контролю;
- забезпечення безперервної та безаварійної роботи;
- використання гнучких наповнювальних труб, обладнаних системою відсмоктування пилу для вантаження випаленого вапна і спрямованих на дно кузова вантажівки.

#### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Зменшення головним чином неорганізованих викидів пилу.

За допомогою огороження машин кожухами також можна знизити рівень шуму.

#### Міжсередовищні наслідки

Збільшення споживання енергії внаслідок використання вакуумних систем.

При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

**Експлуатаційні параметри**

Залежать від конкретного процесу/технології для окремого випадку.

**Застосування**

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у вапняній промисловості.

У операціях підготовки сировини, таких як дроблення та просіювання, відділення пилу зазвичай не застосовується через вміст вологи у сировині. Для зниження викидів пилу сировину можна зволожувати шляхом додаткового вприскування води під час обробки.

**Економіка**

Залежать від конкретного процесу/технології для окремого випадку.

**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Вимоги до охорони здоров'я та техніки безпеки на робочих місцях.

**Приклади заводів та довідкова література**

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[46, Німеччина, 2006], [54, EuLA, 2006]

**2.4.5.2 Технології для майданчиків зберігання насипом та кагатів (відкриті склади)****Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Для того, щоб насамперед зменшити неорганізовані викиди пилу з ділянок зберігання насипом, складів, майданчиків під відкритим небом, де зберігається пилоподібна сировина або паливо, такі складські майданчики можна обгородити екранами, стінами або вертикальними зеленими насадженнями (штучними або природними вітрозахисних бар'єрами для захисту відкритих складів від вітру).

Силоси для продукції та повністю автоматизовані закриті сховища для сировини вважаються найефективнішим рішенням проблеми неорганізованого викиду пилу, що утворюється великими об'ємами запасів. Ці типи сховищ обладнані одним або кількома рукавними фільтрами для запобігання утворенню неорганізованого пилу під час операцій завантаження та розвантаження (наприклад, закрите сховище з автоматичною системою завантаження-розвантаження). Неорганізовані викиди пилу з відкритих складів можна зменшити шляхом достатнього зволоження пунктів завантаження і розвантаження кагатів та використання конвеєрних стрічок з регульованою висотою. Якщо неорганізованих викидів пилу у пунктах завантаження та розвантаження на складських майданчиках неможливо уникнути, їх можна зменшити: для цього потрібно слідкувати (якщо це можливо, автоматично) за тим, щоб висота розвантаження відповідала змінній висоті кагату, або зменшити швидкість розвантаження.

Крім того, на ділянках зберігання можна підтримувати вологу за допомогою розбризкувальних пристроїв, особливо у сухих місцевостях (якщо точкове джерело пилу просторово обмежене, можна встановити спринклерну систему), і прибирати ділянки за допомогою очисних вантажівок. У разі використання технологій зволоження чи розбризкування землю можна також герметизувати долівку і збирати надлишок води, яку потім за необхідності можна очищати і використовувати у замкнених циклах.

Для запобігання неорганізованим викидам пилу під час операцій з прибирання матеріалів можна використовувати вакуумні системи. Нові будівлі можна легко обладнати стаціонарними вакуумними очисними системами, а існуючі будівлі зазвичай зручніше оснащувати пересувними системами з гнучкими з'єднаннями;

Щоб знизити неорганізовані викиди пилу з ділянок, по яких їздять вантажівки, ці ділянки за можливості повинні бути вимощені, а їх поверхні слід тримати максимально чистими. За допомогою змочування доріг можна знизити неорганізовані викиди пилу, особливо у суху погоду. Для зведення до мінімуму неорганізованих викидів пилу слід дотримуватися належних практик прибирання

**Міжсередовищні наслідки**

Якщо на ділянках зберігання підтримується волога, споживання води збільшується.

Використання вакуумних систем призводить до збільшення споживання енергії.  
При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

### **Експлуатаційні параметри**

Залежать від конкретного процесу/технології для окремого випадку.

### **Застосування**

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у вапняній промисловості.

### **Економіка**

Залежать від конкретного процесу/технології для окремого випадку.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Вимоги до охорони здоров'я та техніки безпеки на робочих місцях.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[46, Німеччина, 2006], [54, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007].

#### **2.4.5.3 Зменшення викидів пилу з організованих джерел**

У цьому розділі описані технології, націлені виключно на видалення пилу (див. розділ 2.3.3.1.1). На заводах, що виробляють вапно, існують різні основні джерела пилу, як-от процеси підготовки сировини, кальцинування вапняку, гідратації вапна та помелу вапна, а також суміжні та допоміжні процеси. Залежно від того, який тип печі використовується для виготовлення вапна, використовуються різні технології знепилення. Технології знепилення базуються на фільтруванні, електростатичному розділенні або очищенні у мокрих скруберах (очищенні димових газів за допомогою фільтра). Ці технології пов'язані з такими характеристиками димових газів:

- температура;
- витрата;
- вологість;
- концентрація пилу на вході фільтра.

У Таблиці 2.35 підсумовано експлуатаційні параметри, наведені в тексті цього розділу. Ця таблиця містить загальні відомості, і її слід розглядати разом з відповідними розділами та наведеними нижче параграфами.

Таблиця 2.35. Огляд технологій контролю викидів пилу у процесі виробництва вапна

Захід/ технологія	Застосування	Дані про викиди <sup>(1)</sup>		Витрати <sup>(2)</sup>	
				Інвестиційні	Експлуатаційні
		мг/м <sup>3</sup> н.у. <sup>(3)</sup>	кг/тону <sup>(4)</sup>	мільйони євро	євро/т вапна
Електрофільтр	Усі пічні системи, помельні установки, допоміжні процеси	< 10 – <20	0,015 – 0,1	0,6 – 3,9	> 1,5
Рукавний фільтр	Усі пічні системи	< 10 – <20	0,015 – 0,15	0,25 – 1,7	> 1,5
	Помельні установки, допоміжні процеси	< 10 – <20	0,015 – 0,05		
Мокрий пиловловлювач	Усі пічні системи, гідратаційні установки	10 – 30	0,06 – 0,25		
Відцентровий сепаратор	Підходить лише у якості попереднього сепаратора: усі пічні системи, млини, допоміжні процеси	-	-		
Зниження неорганізованих викидів пилу	Усі заводи	-	-		

(<sup>1</sup>) Дані про викиди наведені у відповідному параграфі цього розділу  
(<sup>2</sup>) Стосовно різних потужностей печей – див. Рисунок 2.46 та Таблицю 2.36  
(<sup>3</sup>) Дані для пічних систем, зазвичай визначені як середньодобові значення, за таких умов: сухий газ, 273 К, 101,3 кПа та 11 % O<sub>2</sub>  
(<sup>4</sup>) кг/тону вапна при:

- 3 000 м<sup>3</sup> н. у./т вапна для КШП та ПРП
- 3 700 м<sup>3</sup> н. у./т вапна для ОПП
- 5 000 м<sup>3</sup> н. у./т вапна для ДОП

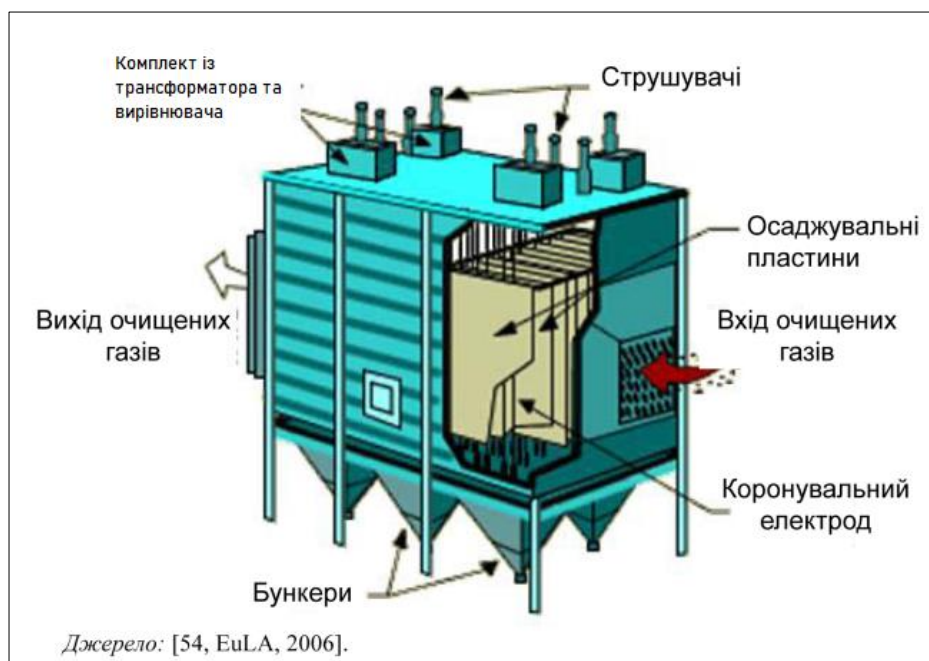
Як для електрофільтрів, так і для рукавних фільтрів властива висока ефективність видалення пилу за нормальних умов роботи – вони затримують понад 99 % твердих часток, хоча ефективність обох видів фільтрів залежить від розміру часток. Залежно від температури димових газів, потрібно використовувати різні типи фільтрувальних матеріалів. Обидва типи фільтрувальних систем потребують належного (періодичного) технічного обслуговування для підтримання їх достатньої ефективності, яка є вищою, ніж у мокрих пиловловлювачів. Мокрі пиловловлювачі споживають додаткову енергію, а також воду, і утворюють стічні води, які потім потрібно очистити. Ефективність електрофільтрів можуть погіршувати відключення за рівнем CO; проте частоту відключень за рівнем CO можна звести до мінімуму, як викладено в розділі 6.2.6. Також використовуються відцентрові сепаратори, хоча вони придатні лише для використання у якості попередніх сепараторів; однак вони можуть працювати ефективніше за вищого навантаження забруднюючими речовинами. Стосовно зниження неорганізованих викидів пилу – див. розділи 2.4.5.1 та 2.4.5.2.

#### 2.4.5.3.1 Електрофільтри (ЕСП)

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

У електрофільтрі димові гази проходять через камеру з двома електродами. На перший електрод подається висока напруга (до 100 кВ), яка іонізує димові гази. Утворені іони прилипають до часток пилу у димових газах, і в результаті ці частки набувають електричного заряду. Електростатичні сили відштовхують заряджені частки пилу від першого електрода і притягують їх до другого, на якому вони відкладаються. Таким чином, частки пилу видаляються з потоку димових газів.

Електрофільтри створюють електричне поле на шляху твердих часток у потоці повітря. Частки набувають негативного заряду і рухаються до позитивно заряджених осаджувальних пластинчатих електродів. Осаджувальні пластини періодично струшуються за допомогою простукування чи вібрації, скидаючи матеріал, щоб він упав у збиральні бункери під осаджувальними пластинами. Електрофільтри характеризуються здатністю працювати в умовах високої температури (приблизно до 400 °С) та високої вологості. Їх ефективність залежить від таких чинників, як витрата димових газів, напруженість електричного поля, електропровідність пилу, концентрація SO<sub>2</sub>, вміст вологи та форма і площа електродів. Зокрема, несприятливим чинником є нашарування матеріалу, що утворює ізоляційний шар на осаджувальних пластинах, і таким чином послаблює електричне поле, як показано на Рисунку 2.43.



**Рисунок 2.43.** Схема класичного електрофільтра (ЕСП)

З огляду на ризик вибуху, безпечна концентрація CO на вході електрофільтра зазвичай обмежена значенням у 1 – 2 %, яке значно нижче межі вибуху, що становить 10 %. Тому необхідно уникати відключень за рівнем CO, а для цього потрібно здійснювати безперервний моніторинг рівнів CO перед фільтром. Кількість відключень за рівнем CO можна зменшити за допомогою сучасних системи контролю зі швидшим вимірювальним та контрольним обладнанням, які дають змогу встановити вищий критерій вимкнення. Вказівки щодо контролю відключень за рівнем CO у цьому значенні наведені у розділі 6.2.6.

У випадках, коли це виправдано, перед електрофільтрами можна встановлювати башти швидкого охолодження для кращого очищення від таких викидів, як ПХДД.

#### Міжсередовищні наслідки

За високих концентрацій CO виникає ризик вибуху.

Споживання енергії збільшується внаслідок роботи електрофільтра (проте завдяки меншому падінню тиску у порівнянні з іншими фільтрувальними системами вентилятори для переміщення димових газів споживають менше електроенергії). Виникають додаткові відходи.

#### Експлуатаційні параметри

За стабільних умов роботи електрофільтри здатні надійно знижувати викиди пилу до рівнів від 5 до 20 мг/м<sup>3</sup> н. у. (див. розділ 2.3.3.1.1). У 2005 році на прикладі фінських заводів з виготовлення вапна за допомогою точкових вимірювань було продемонстровано, що, використовуючи кокс та вугілля у якості палива в обертових печах, викиди пилу можна знизити до менш ніж 5 мг/м<sup>3</sup> н. у.

Ефективність існуючих електрофільтрів можна підвищити шляхом додавання послідовно під'єднаних камер (електричних полів). Проте це вдосконалення можна реалізувати, лише якщо фактичний рівень викидів пилу високий, і за умови, що для цього є достатньо місця.

#### Застосування

Електрофільтри підходять для роботи за температур вище точки роси і до 400 °C (у випадку конструкції з м'якої сталі). Крім того, електрофільтри також можна використовувати за температур, близьких або навіть нижчих, ніж точка роси.

Через великі об'ємні витрати та порівняно високі пилові навантаження електрофільтрами обладнують головним чином обертові печі без підігрівачів, проте іноді й обертові печі з підігрівачами. У деяких випадках це зумовлено високою температурою відхідних газів, а в інших – великою виробничою потужністю цих печей, внаслідок чого в них утворюються великі об'єми газів. Використовуючи ці фільтри у поєднанні з баштою швидкого



охолодження, можна досягти відмінних робочих показників.

### **Економіка**

Інвестиційні витрати на електрофільтри у порівнянні з рукавними фільтрами зростають зі збільшенням розміру печі та добової виробничої потужності, як показано на Рисунку 2.46.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Температура та витрата димових газів.

Інвестиції (місцеві обставини).

Поточні експлуатаційні витрати.

Споживання енергії.

Перевірена технологія.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Завод Nordkalk Oy у місті Лаппеенранта (Фінляндія), завод Rheinkalk GmbH у поселенні Фландерсбах (Flandersbach) (Німеччина), завод у місцевості Хьоннеталь (Hönnetal) (Німеччина), вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[54, EuLA, 2006], [63, Фінляндія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

#### **2.4.5.3.2 Рукавні фільтри**

##### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

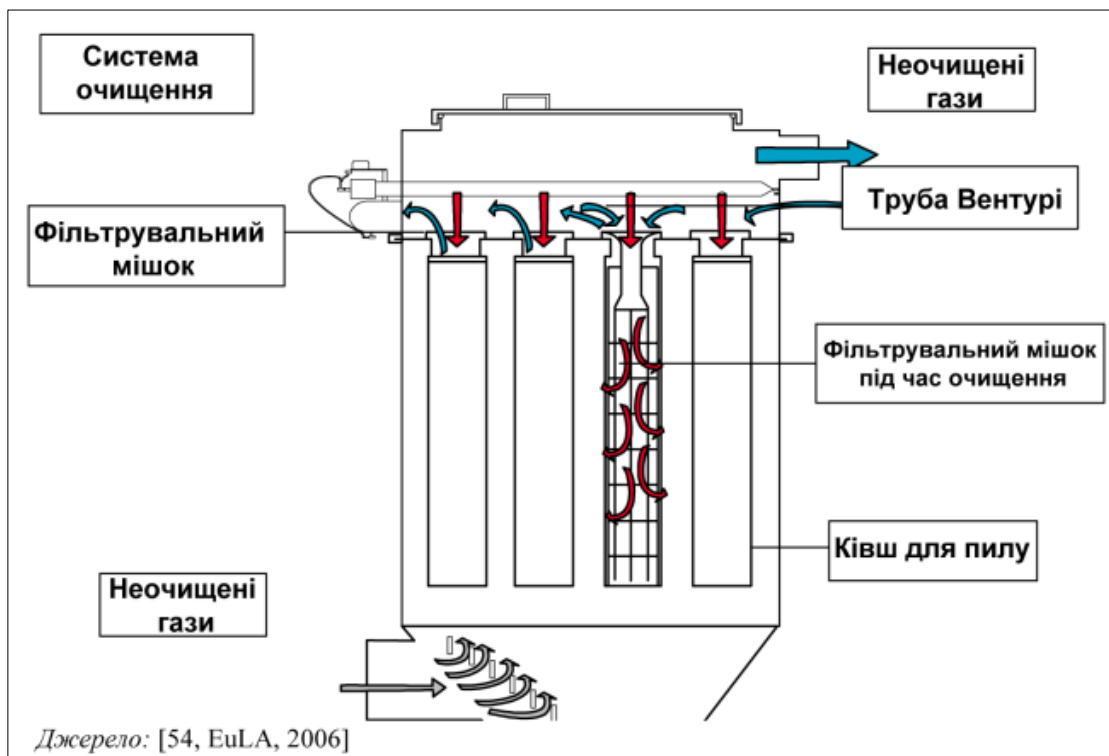
У рукавному фільтрі принцип фільтрування базується на використанні тканинної мембрани, яка є проникною для газу, але утримує частки пилу. Спочатку пил відкладається як на поверхні, так і в глибині тканини. Проте по мірі того, як накопичується поверхневий шар, фільтрувальним матеріалом переважно стають самі частки пилу. По мірі того, як пиловий шар стає товстішим, його опір потоку газу (перепад тиску) збільшується.

Тому фільтраційний матеріал необхідно періодично чистити, щоб контролювати перепад тиску газу на фільтрі. Серед поширених методів очищення – зворотний потік повітря, механічне струшування, вібрація та імпульсне подавання стисненого повітря (імпульсне очищення).

Система очищення, потік повітря та повітряне навантаження на фільтрувальний матеріал є ключовими чинниками для ефективного фільтрування. Фільтр повинен складатися з кількох відсіків (які впливають на інвестиційні витрати та на розмір фільтра – площу його поверхні та об'єм), які можна ізолювати у випадку несправності мішка, і яких має бути достатньо, щоб підтримувати належну роботу фільтра у разі виведення одного відсіка з роботи, наприклад, для технічного обслуговування. Крім того, у кожному відсіку мають бути передбачені «детектори розриву мішка», які будуть повідомляти про необхідність технічного обслуговування у разі розриву мішка.

Пил буде зберігатися в бункері, у так званому «ковші для пилу» (входить до складу відсіку), і вийматися за допомогою шнекових конвеєрів, заслінок та поворотних клапанів, як показано на Рисунку 2.44.

Рукавні фільтри можуть працювати за надлишкового тиску, а також в умовах тиску всмоктування.



**Рисунок 2.44.** Схема рукавного фільтра з імпульсним очищенням

Залежно від температури відхідних газів, можна використовувати різні типи фільтрувальних матеріалів. Причинами короткого терміну служби мішків можуть бути:

- температурні умови під час пуску;
- температурні умови під час зупинки;
- різкі підвищення температури;
- склад димових газів;
- наповнення вапняного пилу (забивання).

У одному випадку було виявлено, що короткий термін служби мішків був зумовлений недостатнім розміром фільтра. Проблема була вирішена шляхом збільшення фільтра: після цього за його допомогою вміст пилу вдавалося знизити до менш ніж  $5 \text{ мг/м}^3$  н. у. з гарантованим 2-річним терміном служби мішків. Також використовувалися мішки зі спеціальних матеріалів та спеціальних рівнів якості, і в деяких випадках також виникали проблеми з коротким терміном їх служби. На одному з заводів причиною проблем виявилось те, що робоча температура періодично була надмірною [24, Юнкер, 2001].

#### Міжсередовищні наслідки

Збільшує питоме споживання енергії через великий перепад тиску (фільтрувальна тканина та шар пилу на поверхні).

Збільшує споживання енергії та викиди  $\text{CO}_2$  через додаткове нагрівання димових газів з високим вмістом вологи та низькою температурою ( $<120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) для запобігання корозії фільтра та засміченню мішків.

У ході роботи рукавних фільтрів, особливо з регенерацією імпульсами тиску, може виникати шумове випромінювання.

У деяких випадках невеликі дефекти у зварних швах та початок корозії (який важко відстежити) можуть призводити до руху газів в обхід фільтра, у результаті чого викиди пилу перевищують рівень, що спостерігається під час нормальної роботи.

Недостатня площа фільтра призводить до надто високої швидкості фільтрування, коли охолоджувальне повітря затікає в фільтр.

Виникають додаткові відходи.

#### Експлуатаційні параметри

Рукавні фільтри загалом працюють за температур вище точки роси – до 180 – 200 °С для спеціальних видів тканини та до 250 °С для таких фільтрувальних матеріалів, як скловолокно та тефлон. Проте їх можна використовувати на рівні точки роси для очищення викидів з гідратаційних установок.

Для добре спроектованих рукавних фільтрів, які правильно експлуатуються і отримують належне технічне обслуговування (безперервне очищення фільтрувальних мішків від пилу), викиди пилу вдається знизити до менш ніж 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. (60 % – у країнах ЄС-27), і реєструються викиди пилу менше 20 мг/м<sup>3</sup> н. у. На одному з фінських заводів викиди пилу, виміряні раз на рік, знаходилися в діапазоні від 0,7 – 1,1 мг/м<sup>3</sup> н. у. (4,3 % O<sub>2</sub>) у 2004 році та від 1,7 – 2,2 мг/м<sup>3</sup> н. у. (4,3 % O<sub>2</sub>) у 2005 році. Такого зниження викидів вдалося досягти у кільцевій шахтній печі, у якій використовувалися рукавні фільтри та спалювалося легке паливо. Крім того, у 2004 році в Фінляндії викиди пилу від однієї з ПРП вдалося знизити до 6 мг/м<sup>3</sup> н. у. (за короткий термін, 9,6 % O<sub>2</sub>) шляхом використання рукавних фільтрів та коксового газу у якості палива (також див. Таблицю 6.37). У 2005 році в одній із кільцевих шахтних печей викиди пилу вдалося знизити до діапазону 1,7 – 2,2 мг/м<sup>3</sup> н. у. за допомогою рукавного фільтра (однократні вимірювання).

Моніторинг ефективності рукавних фільтрів та навантаження на фільтрувальний мішок загалом здійснюється шляхом вимірювання перепаду тиску між неочищеними та очищеними газами. На установках рукавних фільтрів досягається високий ступінь утримання твердих часток, зазвичай понад 98 і до 99,9 %, залежно від розміру часток; ці установки можна використовувати у всіх типах печей (див. розділ 6.3.2.3).

### **Застосування**

Рукавні фільтри для видалення пилу з відпрацьованих газів можна, в принципі, застосовувати у вапняній промисловості з усіма типами печей випалу вапна, і вони широко використовуються для знепилення. Вони добре підходять для печей, установок роздрібнення та помелу негашеного вапна, а також вапняку; для гідратаційних установок, транспортування матеріалу, складських споруд та завантажувально-розвантажувального обладнання. Часто їх корисно використовувати у поєднанні з циклонними попередніми фільтрами.

Робота рукавних фільтрів обмежена характеристиками димових газів, такими як температура, волога, пилове навантаження та хімічний склад. Для того, щоб фільтри відповідали цим умовам, існують різні тканинні матеріали, стійкі до механічного, термічного та хімічного зношування.

Робочі температури можуть досягати 250 °С для димових газів печі, що фільтруються через термостійкий матеріал. Якщо температури ще вищі, газ потрібно охолоджувати шляхом швидкого гасіння водою чи свіжим повітрям.

Димові гази з високим вмістом вологи та низькою температурою (<120 °С) потрібно нагрівати для запобігання корозії фільтра та засміченню мішків. Для цього перед фільтром потрібно встановити додаткову нагрівальну систему. Корпус фільтра часто буває ізольований, а критично важливі деталі підігріваються та/або виготовлені з нержавіючої сталі.

Висока швидкість димових газів підвищує ефективність очищення мішків. Відповідно, для того, щоб мішки очистилися, тиск очищувального повітря має бути підвищений, а це скорочує тривалість служби мішків. Рекомендована швидкість фільтрування становить 0,9 – 1,2 м/хв.

Необхідно повністю контролювати ламінарний потік у фільтр, щоб уникнути пошкодження фільтрувального мішка та сталевій конструкції. Ці моменти – наприклад, як розташувати муфелі – неможливо симулювати за допомогою моделей, а потрібно визначити з досвіду експлуатації. Мова тут іде про те, які типи фільтрувальних матеріалів потрібно використовувати, а також про розподіл потоку газу всередині фільтра. Також важливо, щоб фільтр працював вище точки роси, інакше сталева конструкція буде зазнавати корозії. У деяких випадках, коли виникають (великі) проблеми з корозією, деякі деталі фільтра мають бути виготовлені з нержавіючої сталі.

### **Економіка**

Інвестиційні витрати на рукавні фільтри зростають зі збільшенням розміру печі та добової виробничої потужності, як показано на Рисунку 2.46 (див. розділ 2.4.5.3.5). Витрати на технічне обслуговування та енергію показані на Рисунку 2.47 та Рисунку 2.48 (див. розділ 2.4.5.3.5).

На австрійських вапняних заводах інвестиційні витрати на встановлення рукавного фільтра складали від 350 000 євро до 500 000 євро без самого фільтра та периферійного обладнання. Експлуатаційні витрати складали близько 0,5 – 1,0 євро на тонну [66, Австрія, 2006].

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Температура та витрата димових газів.

Інвестиційні витрати (місцеві обставини).

Поточні експлуатаційні витрати.

Споживання енергії.

Перевірена технологія.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Вапняні заводи у країнах ЄС-27, завод у місцевості Тютюрі (Тутугі), що в Фінляндії.

[24, Юнкер, 2001] [45, Шорхт, 2006], [54, EuLA, 2006], [63, Фінляндія, 2006], [66, Австрія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

### **2.4.5.3.3 Мокрі пиловловлювачі**

#### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

За допомогою мокрих пиловловлювачів пил видаляється з потоків відпрацьованих газів шляхом приведення потоку газів у тісний контакт зі зрошувальною рідиною (зазвичай водою): при цьому частки пилу захоплюються рідиною, і їх таким чином можна видалити. Мокрі пиловловлювачі можуть поділятися на різні типи залежно від їх конструкції та принципів роботи (наприклад, на базі труби Вентурі), проте найбільш поширеними їх типами, що використовуються на печах з випалу вапна, є багатокаскадні/багатоступеневі скрубери, як показано на Рисунку 2.45.

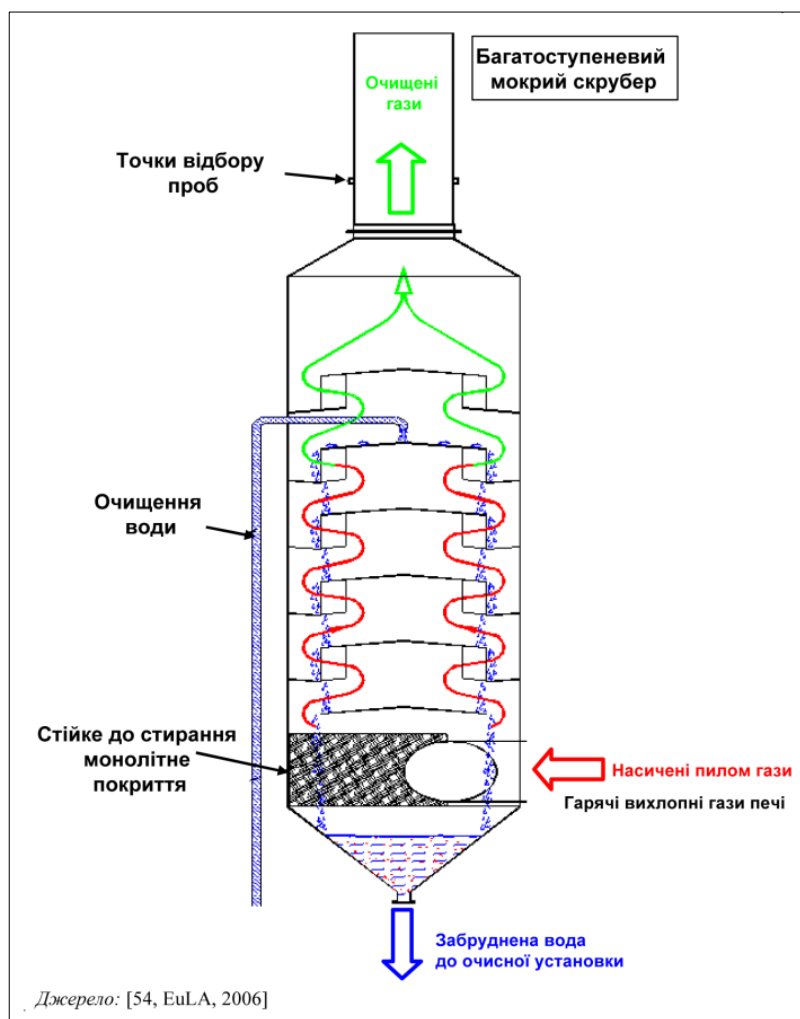


Рисунок 2.45. Схема взятого для прикладу багатоступеневого мокрого скрубера відхідних газів

Неочищені газы, що виходять з печі, проходять через багатокаскадний/багатоступеневий скрублер, і лише після цього викидаються у повітря. Вода закачується в агрегат насосом, потім спускається вниз каскадом через кілька секцій, у яких з неї захоплюється пил, і, нарешті, стікає на водоочисну установку. Шлам, що утворюється в мокрому скрублері печі, можна продавати як продукт для нейтралізації або утилізувати після осушення. Вода зазвичай переробляється.

Для видалення пилу доступно кілька різних типів мокрих скрублерів. Основними типами, що використовуються у печах випалу вапна, є багатокаскадні/багатоступеневі мокрі скрублери, динамічні мокрі скрублери та мокрі скрублери з трубою Вентурі. Більшість мокрих скрублерів, що використовуються у печах випалу вапна, – це багатокаскадні/багатоступеневі мокрі скрублери, приклад яких показаний на Рисунку 2.45. Для досягнення нижчого пилового навантаження очищених газів агрегати може бути необхідно виконувати з більшим запасом розміру, ніж потрібно для даного режиму експлуатації, передбачати в них додаткові каскадні секції або забезпечувати низьке пилове навантаження на вході шляхом промивання каменю.

У разі використання скрубера з трубами Вентурі газ примусово пропускається через трубопровід, у якому швидкість газу досягає 60 – 120 м/с. Вода, що додається перед трубопроводом по ходу потоку, розбивається на дрібні краплі під дією пневматичних сил, і таким чином ретельно перемішується з газом. Частки пилу, уловлені краплями, стають важчими і легше видаляються в сепараторі захоплених твердих часток (зазвичай циклонному), приєднаному до скрубера з трубою Вентурі.

Зібраний матеріал має вигляд шламу, тож при переміщенні цього матеріалу не утворюються неорганізовані викиди пилу. За постійного подавання води робочі показники мокрого скрубера залишаються сталими, і у скрубери не потрібно замінити жодних витратних матеріалів.

### Міжсередовищні наслідки

Споживання води збільшиться.

Більший вміст вологи в очищених газах.

Внаслідок великого вмісту вологи, залежно від атмосферних умов та відносної вологості, над пічним димарем може бути видно шлейф.

Можуть виникати додаткові відходи.

Потрібно враховувати очищення зрошувальної рідини та технологічних стічних вод, переміщення, використання та утилізацію шламу.

На очищення стічних вод може витратитися додаткова енергія.

Можливий шум.

Для досягнення нижчого пилового навантаження очищених газів агрегати може бути необхідно виконувати з великим запасом розміру, передбачати в них додаткові каскадні секції або забезпечувати низьке пилове навантаження на вході шляхом промивання каменю.

Можливі додаткові інвестиційні витрати та витрати на технічне обслуговування.

### Експлуатаційні параметри

У разі використання мокрих скрубєрів нового покоління рівні викидів після їх зниження знаходяться в діапазоні від 10 до 30 мг/м<sup>3</sup> н.у., а це відповідає приблизно від 0,008 до 0,024 кг гідратованого вапна. У Великій Британії в 2007 році найсучасніші мокрі скрубєри показали результати в 11 мг/м<sup>3</sup> н.у., 17 мг/м<sup>3</sup> н.у. та 18 мг/м<sup>3</sup> н.у. Проте також повідомлялося про викиди пилу до 60 мг/м<sup>3</sup> н.у. (у перерахунку на вологі умови) [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [177, EuLA, 2008].

За умов ефективної роботи багатокаскадні/багатоступеневі мокрі скрубєри можуть знижувати концентрації пилу в очищених газах до менш ніж 30 мг/м<sup>3</sup> н. у.; проте в більшості випадків викиди пилу вищі, ніж 30 мг/м<sup>3</sup> н. у. З Рисунка 2.35 (див. розділ 2.3.3.1.1) видно, що лише приблизно 30 % мокрих скрубєрів досягли рівнів викидів нижче 30 мг/м<sup>3</sup> н.у., приблизно 12 % – нижче 20 мг/м<sup>3</sup> н.у., і жоден – нижче 10 мг/м<sup>3</sup> н.у. Проте нижчого діапазону можна досягти шляхом ефективної експлуатації багатокаскадних/багатоступеневих мокрих скрубєрів та/або шляхом використання мокрих скрубєрів нових поколінь.

У порівнянні з електрофільтрами та рукавними фільтрами, рівень викидів, якого можна досягти за допомогою мокрих скрубєрів, може бути значно вищим.

Типове споживання води багатокаскадним/багатоступеневим мокрим скрубєром – близько 100 л/т вапна.

### Застосування

Мокрі скрубєри вибирають у тих випадках, коли температури відхідних газів близькі або нижчі, ніж точка роси. Їх також можуть вибрати в умовах обмеженого простору.

Мокрі скрубєри іноді використовуються для очищення газів з вищою температурою: у цьому випадку вода охолоджує гази і зменшує їх об'єм.

### Економіка

З точки зору експлуатаційних витрат потрібно враховувати витрати як на промивальну рідину, так і на очищення технологічних стічних вод.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

### Приклади заводів та довідкова література

Вапняний завод у місцевості Шепфелл (Shapfell Limeworks), Велика Британія [54, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [177, EULA, 2008], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### 2.4.5.3.4 Відцентрові сепаратори / циклони

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

У відцентровому сепараторі / циклоні частки пилу, які потрібно видалити з потоку відпрацьованих газів, відтискаються до зовнішньої стінки агрегату під дією відцентрової сили, а тоді викидаються через отвір у днищі агрегату. Відцентрові сили можна створювати шляхом спрямування потоку газу вниз по спіралі через циліндричні посудини (циклонні сепаратори) або за допомогою встановленої в агрегаті крильчатки, що обертається (механічні відцентрові сепаратори). Проте вони підходять лише для використання у якості попередніх сепараторів, оскільки ефективність видалення часток у них обмежена: вони звільняють електрофільтри та рукавні фільтри від високого пилового навантаження та зменшують проблеми зі стиранням.

##### Міжсередовищні наслідки

Робота відцентрових сепараторів є значним джерелом шуму.

##### Експлуатаційні параметри

Циклони зазвичай видаляють близько 90 % пилу з печей випалу вапна. Використовуючи ці пристрої у якості попередніх сепараторів / сепараторів продукту, викиди пилу зазвичай можна знизити лише до значень менше 150 мг/м<sup>3</sup> н. у.

Відцентрові сепаратори ефективніше працюють з більшими навантаженнями забруднюючих речовин, за умови, що пристрій при цьому не забивається.

##### Застосування

Циклони порівняно дешеві і прості в експлуатації, проте вони нездатні ефективно уловлювати частки малого діаметру. Застосування відцентрових сепараторів / циклонів також може бути обмежене, якщо частки надто дрібні. Оскільки ефективність видалення часток у циклонах обмежена з огляду на саму їх суть, вони підходять лише для використання у якості попередніх сепараторів і використовуються головним чином для попереднього очищення відхідних газів від млинів, печей та інших технологічних процесів.

##### Економіка

Циклони відносно дешеві у порівнянні з електрофільтрами та рукавними фільтрами. Інвестиційні витрати для рукавних та електрофільтрів (залежно від розміру печі та добової потужності) наведені на Рисунку 2.46, а витрати на технічне обслуговування та енергію – на Рисунку 2.47 та Рисунку 2.48 (див. розділ 2.4.5.3.5).

##### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Заощадження сировини.

##### Приклади заводів та довідкова література

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[16, EuLA, 2001], [54, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### 2.4.5.3.5 Приклади даних про витрати на різні технології очищення димових газів

Деякі приклади даних про витрати на зниження викидів пилу за допомогою різних технологій зниження викидів наведені у Таблиці 2.36.

У печах випалу вапна застосовуються три основні технології знепилення:

- рукавні фільтри;
- електрофільтри (ЕСП);
- мокрі скрубери.

Інвестиційні витрати залежать від розміру фільтра та умов роботи. З огляду на температури та компоненти газу, можуть знадобитися кілька додаткових установок, наприклад:

- ізоляція;
- нагрівання/охолодження;
- захист від корозії та зношування.

Тому інвестиційні витрати дуже різняться. Основними чинниками витрат є інвестиції, технічне обслуговування та енергія.

Інвестиційні витрати на електрофільтри у порівнянні з рукавними фільтрами зростають зі збільшенням розміру печі та добової виробничої потужності, як показано на Рисунку 2.46.

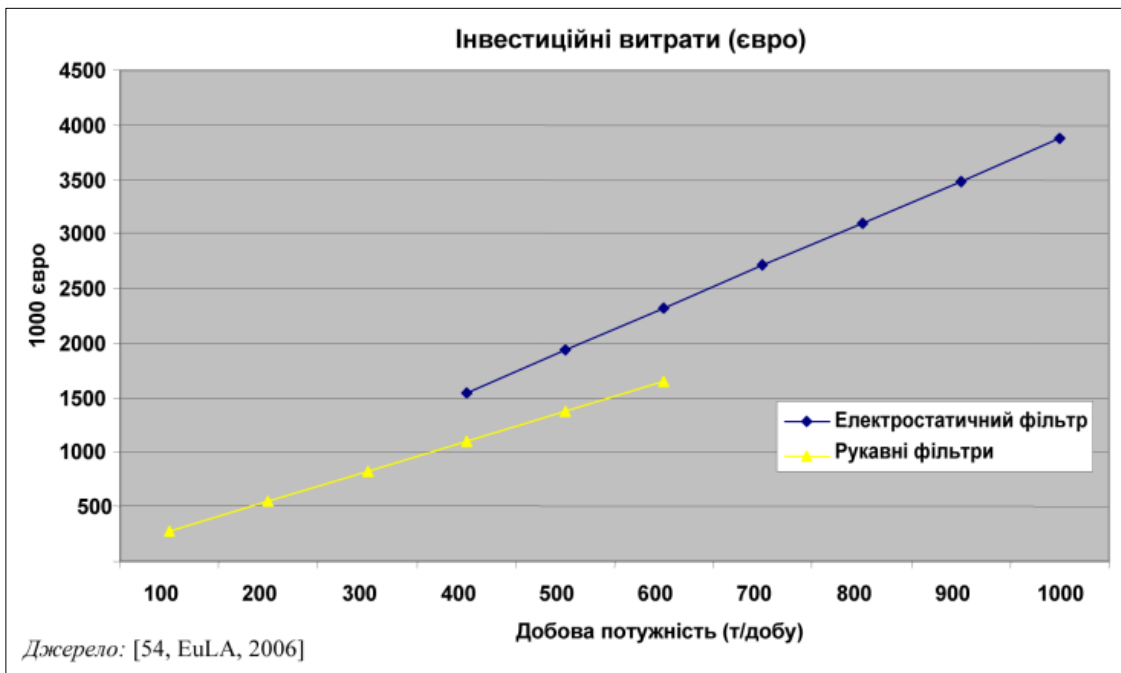


Рисунок 2.46. Інвестиційні витрати на електрофільтри та рукавні фільтри залежно від потужності печі – країни ЄС-27

Інвестиційні витрати на обладнання варіюються від 300 000 до 4 000 000 євро залежно від потужності печі та чинників на конкретному об'єкті. Було виявлено, що зі зниженням рівнів викидів витрати на технічне обслуговування та енергію зростають, як показано на Рисунку 2.47 та Рисунку 2.48.

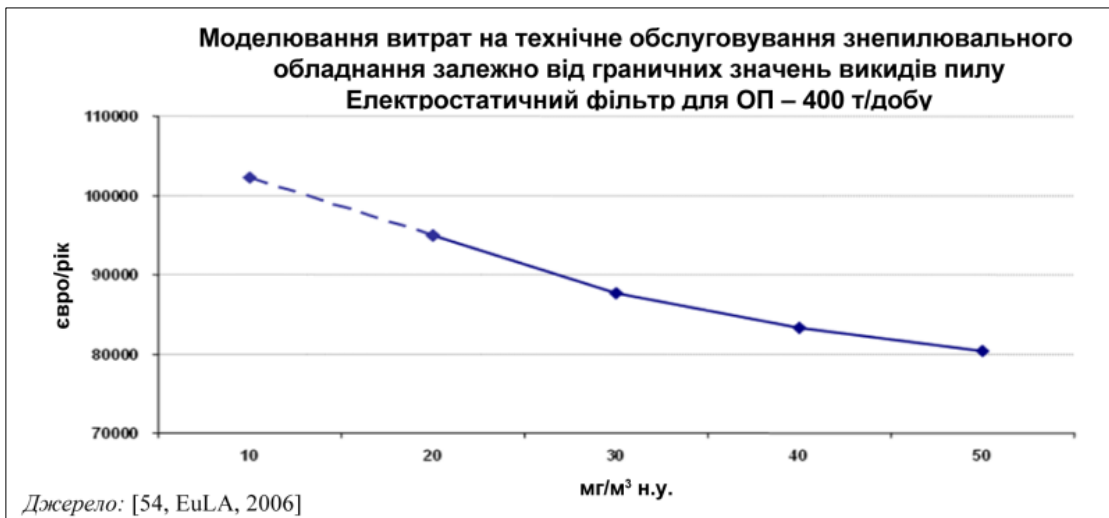
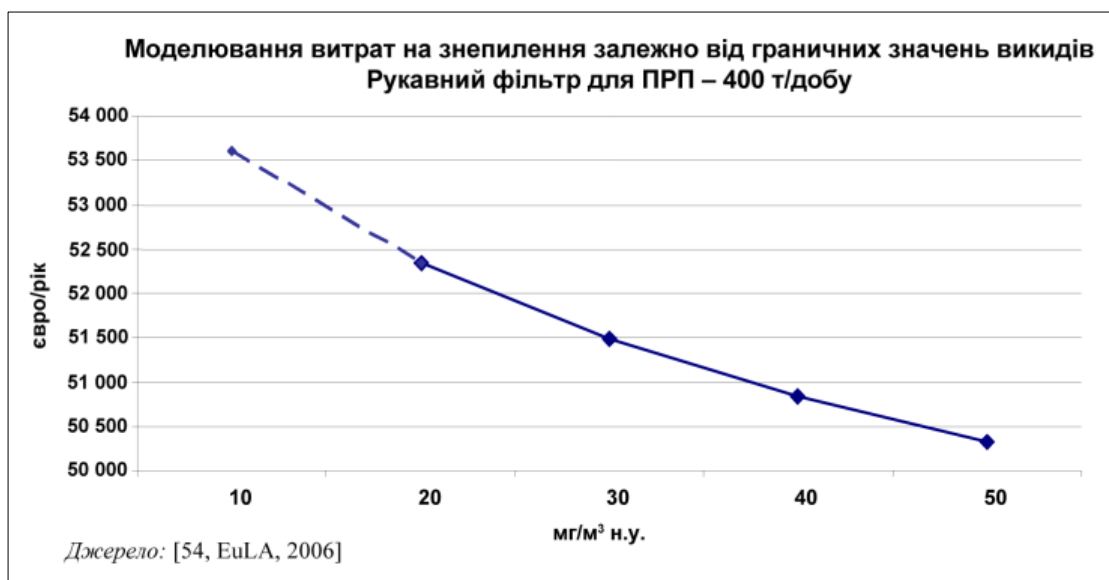


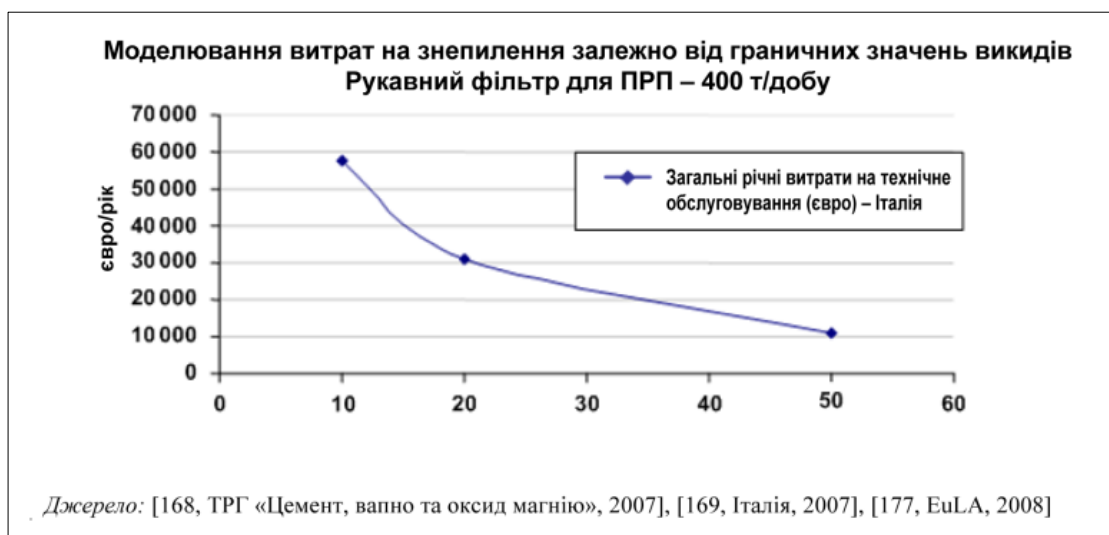
Рисунок 2.47. Моделювання витрат на знепилення залежно від граничних значень викидів пилу для оборотної печі (ОП) з електрофільтром – країни ЄС-27





**Рисунок 2.48.** Моделювання витрат на знепилення залежно від граничних значень викидів пилу для ПРП з рукавним фільтром – країни ЄС-27

У 2007 році в Італії було проведено опитування щодо 33 італійських ПРП, у ході якого було досліджено залежність витрат на знепилення від діапазонів викидів пилу з ПРП. Дослідження показало, що між витратами на знепилення та концентрацією викидів пилу існує параболічна залежність. Як видно з Рисунка 2.49, у діапазоні викидів пилу від 20 до 50 мг/м<sup>3</sup> н. у., а також у діапазоні викидів пилу від 10 до 20 мг/м<sup>3</sup> н. у., відношення максимальних витрат до мінімальних становить близько 2.



**Рисунок 2.49.** Моделювання витрат на знепилення залежно від діапазонів викидів пилу для ПРП з рукавним фільтром в Італії у 2007 році

У Таблиці 2.36 нижче наведені приклади розрахунків витрат на технології зниження викидів пилу з еталонного французького заводу виробництва вапна. Враховано досліджені технології зниження викидів пилу на основі електрофільтрів та рукавних фільтрів. Змінні експлуатаційні витрати охоплюють витрати на електроенергію, трудові витрати та витрати на утилізацію пилу і вказані в цій таблиці. Крім того, представлено дані про мокрі скрубери.

Таблиця 2.36. Інвестиції та витрати на технології зниження викидів пилу

Інвестиції та витрати на технології зниження викидів пилу				
Параметр	Одиниця вимірювання	Технологія зниження викидів		
		Електрофільтр <sup>(0)</sup>	Рукавний фільтр <sup>(0)</sup>	Мокрий скруббер
Опис еталонної установки				
Потужність	т вапна/добу	140	140	
Потужність	т/рік			50 000
Коефіцієнт використання установки	год./рік	7 680	7 680	
Витрата відхідних газів	м <sup>3</sup> н. у./год. (1)	23 333	23 333	
Інвестиційні витрати	тис. євро	600	700	6 – 18
Капітальні витрати, перераховані на рік	тис. євро			
Відсоткова ставка	%/100/рік	4	4	
Термін служби апаратури регулювання	роки	10	10	
Усього	тис. євро	73,97	86,30	
Усього	тис. євро/тону вапна	1,65E-03	1,93E-03	
Постійні експлуатаційні витрати	%/рік (2)	4	4	
Усього	тис. євро	24	28	
Усього	тис. євро/тону вапна	5,36E-04	6,25E-04	1,0 – 5,0E-04 (0,1 – 0,5 євро/тону вапна)
Змінні експлуатаційні витрати	тис. євро/тону вапна	8,06E-04	9,03E-04	
Витрати на тону вапна	тис. євро/тону вапна	2,99E-03	3,45E-03	
Витрати на тону твердих часток (3), викидам яких вдалося запобігти	тис. євро/т твердих часток, викидам яких вдалося запобігти			
Коефіцієнт викидів до зниження викидів	т твердих часток/т вапна	0,015	0,015	
Коефіцієнт викидів після зниження викидів	т твердих часток/т вапна	0,0002	0,0002	
Усього	тис. євро/т твердих часток, викидам яких вдалося запобігти	0,202	0,233	
Визначення змінних експлуатаційних витрат				
Витрати на електроенергію (4)				
Додаткова потреба в електроенергії (λ <sup>5</sup> ) (5)	кВт· год./т вапна	6,86 40 Вт	8,57 50 Гц	
Ціна електроенергії (с <sup>6</sup> )	євро/кВт· год.	0,0569	0,0569	
Усього	тис. євро/тону вапна	3,90E-04	4,88E-04	
Трудові витрати (6)				
Потреба в робочій силі (λ <sup>1</sup> )	людино-рік/т вапна	1,12E-05	1,12E-05	
Заробітна плата (с <sup>1</sup> )	тис. євро/людино-рік	37,234	37,234	
Усього	тис. євро/тону вапна	4,16E-04	4,16E-04	
Витрати на утилізацію пилу (7)				
Усього	тис. євро/тону вапна	0	0	
Загальні змінні експлуатаційні витрати	тис. євро/тону вапна	8,06E-04	9,03E-04	

тис. євро = тисяча євро  
(0) Дані за 2000 рік  
(1) 10 % O<sub>2</sub> та сухий газ  
(2) Інвестицій  
(3) Перерозподіл на 50 % за рахунок електрофільтра та 50 % за рахунок рукавного фільтра; використовується середнє значення між електрофільтром та рукавним фільтром  
(4) Витрати на електроенергію = λ<sup>5</sup> • с<sup>6</sup>/10<sup>3</sup> (тис. євро/т)  
(5) Додаткова потреба в електроенергії = нове загальне споживання - старе загальне споживання  
(6) Трудові витрати = λ<sup>1</sup> • с<sup>1</sup> (тис. євро/т)  
(7) Витрати на утилізацію пилу = λ<sup>d</sup> • с<sup>d</sup> • e<sub>ф,до зниження викидів</sub> • η/10<sup>3</sup> (тис. євро/т)  
e<sub>ф,до зниження викидів</sub>: коефіцієнт викидів забруднюючих речовин до зниження викидів (тонна забруднюючої речовини/тону)  
λ<sup>d</sup>: потреба в утилізації пилу (тонна/тону видаленої забруднюючої речовини)  
с<sup>d</sup>: питома вартість утилізації пилу (євро/т)  
η: ефективність видалення (=1-e<sub>ф,після зниження викидів</sub>/e<sub>ф,до зниження викидів</sub>)  
Джерело: [61, Франція, 2006], [62, Франція / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (DFIU) / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (IFARE) в Університеті Карлсруе, 2004]

У Таблиці 2.37 нижче наведені пропорції витрат на основі розрахунку витрат у Таблиці 2.36 – насамперед для різних витрат, що входять до складу експлуатаційних витрат.

**Таблиця 2.37. Пропорції різних статей витрат, що входять до складу експлуатаційних витрат на технології зниження викидів**

Пропорційні витрати, що входять до складу змінних експлуатаційних витрат			
Типи витрат	Одиниця вимірювання	Захід/технологія для зниження викидів	
		Електр офільтр	Рукавний фільтр
Витрати на електроенергію	%	48,42	53,99
Трудові витрати	%	51,58	46,01
Витрати на утилізацію пилу	%	0,00	0,00
Загальні змінні експлуатаційні витрати	%	100,00	100,00
<i>Джерело: [61, Франція, 2006]</i>			

У Австрії витрати на встановлення рукавного фільтра становили від 350 000 до 500 000 євро. У цих витратах на встановлення не враховані витрати на периферійне обладнання [66, Австрія, 2006].

## 2.4.6 Газоподібні сполуки

### 2.4.6.1 Зниження викидів NO<sub>x</sub>

Найвищі викиди NO<sub>x</sub> спостерігалися з обертових печей. Тому пріоритетним питанням є контроль викидів NO<sub>x</sub> з обертових печей (див. розділ 2.3.3.2).

Можливості зниження викидів NO<sub>x</sub> можна поділити на:

- первинні технології, націлені на зниження інтенсивності утворення NO<sub>x</sub>, та
- вторинні технології, націлені на руйнування оксидів азоту шляхом їх відновлення до N<sub>2</sub>.

До первинних технологій, зокрема, належать:

- вибір палива (обмеження вмісту азоту в паливі);
- оптимізація технологічного процесу (регулювання форми факела та профіль температури);
- конструкція пальника (пальник з низьким виділенням NO<sub>x</sub>);
- ступінчасте подавання повітря.

Ці технології є найменш витратними, проте їх ефективність обмежена, особливо конструкцією камери згорання обертових печей та рівнями температурами, необхідними для підтримання якості вапна.

Вторинні технології можна поділити на:

- селективне некаталітичне відновлення (СНКВ), та
- селективне каталітичне відновлення (СКВ).

У обох цих технологіях використовуються сполуки азоту, які реагують з оксидами азоту, відновлюючи їх з утворенням N<sub>2</sub>. Каталітичні процеси зазвичай потребують більших інвестиційних витрат.

У Таблиці 2.38 представлені технології зниження рівня NO<sub>x</sub>, які можуть застосовуватися у певних печах випалу вапна.

Таблиця 2.38. Огляд технологій зниження рівня NO<sub>x</sub> у вапняній промисловості

Захід/технологія	Застосування	Ефективність зниження викидів, %	Дані про викиди (1)(2)		Витрати (3)	
					Інвестиційні	Експлуатаційні
			мг/м <sup>3</sup> н.у. (4)	кг/тону (5)	мільйони євро	євро/т вапна
Оптимізація технологічного процесу	ПРП, КШП, ШПЗЖ, ШПП		< 100 – < 350 (6, 7)	0,3 – 1,05		
	ДОП, ОПП		< 200 – < 500 (6, 7)	0,74 – 2,5		
Ступінчасте подавання повітря (у 2007 році, не застосовується у вапняній промисловості в країнах ЄС-27)	ДОП, ОПП	-				
Пальники з низьким виділенням NO <sub>x</sub>	ДОП, ОПП	0 – 20			У діапазоні традиційних технологій пальників	У діапазоні традиційних технологій пальників
СНКВ (8)	ОПП (кокосникова піч Леполя)	30 – 80	< 500 (7)	< 2,5	0,5 – 1,2	0,1 – 1,7 (9)
СКВ (у 2007 році, не застосовується у вапняній промисловості в країнах ЄС-27)	ДОП, ОПП	(10)	-	-	(11)	(11)

(1) Стандартний стан, 11 % кисню  
(2) Дані про викиди наведені у відповідному параграфі цього розділу  
(3) Стосовно різних потужностей печей – див. Рисунок 2.46 та Таблицю 2.36  
(4) Дані для пічних систем, зазвичай визначені як середньодобові значення, за таких умов: сухий газ, 273 К, 101,3 кПа та 11 % O<sub>2</sub>  
(5) кг/тону вапна при:  
• 3 000 м<sup>3</sup> н. у./т вапна для КШП та ПРП  
• 3 700 м<sup>3</sup> н. у./т вапна для ОПП  
• 5 000 м<sup>3</sup> н. у./т вапна для ДОП  
(6) Рівень може бути вищим залежно від технічних вимог до продукту, див. розділ 2.3.3.2 та Рисунок 2.36  
(7) Залежно від початкового рівня NO<sub>x</sub>  
(8) У 2007 році СНКВ було застосоване лише в кокосникових печах Леполя; технологія СНКВ була реалізована в одній печі випалу вапна (кокосниковій печі Леполя)  
(9) Фінансові оцінки на основі попередніх випробувань для потужності печі 1 000 т/добу та початкових викидів до 1500 мг NO<sub>x</sub>/м<sup>3</sup> н. у.  
(10) Залежно від каталізатора, що використовується, див. розділ 2.4.6.1.5  
(11) Подібно до цементної промисловості (див. Таблицю 1.34 у розділі 1.4.5.1, розділ 1.4.8.2 та розділ 2.4.6.1.5), проте, з огляду на більший питомий об'єм у печах випалу вапна, у вапняній промисловості очікуються більші інвестиційні витрати, ніж у цементній промисловості

Крім того, з Рисунка 2.36 (розділ 2.3.3.2) видно, що викиди NO<sub>x</sub> з вертикальних шахтних печей загалом нижчі, ніж з обертових печей, через температурну залежність, зумовлену тим, що в різних типах печей випалу вапна виготовляються різні типи вапна. Як видно також з Рисунка 2.36, близько 68 % викидів NO<sub>x</sub> з обертових печей нижчі, ніж 500 мг/м<sup>3</sup> н. у. (точкові вимірювання у перерахунку на середні значення за півгодини), і близько 60 % викидів NO<sub>x</sub> з шахтних печей нижчі, ніж 100 мг/м<sup>3</sup> н. у. Крім того, близько 80 % ПРП, ШПЗЖ та ШПП і приблизно 50 % КШП досягли значень викидів NO<sub>x</sub> <100 мг/м<sup>3</sup> н. у., виміряних як середні значення за півгодини (див. розділ 2.3.3.2).

#### 2.4.6.1.1 Оптимізація технологічного процесу

##### Опис

Для зниження викидів NO<sub>x</sub> можна застосовувати заходи з оптимізації технологічного процесу, як-от вирівнювання та оптимізація роботи установки та/або гомогенізація палива і сировини, що подаються в піч. Суттєвими параметрами для оптимізації керування технологічним процесом у печі випалу вапна, які можуть сприятливо впливати на викиди NO<sub>x</sub> у разі їх оптимізації, є:

- швидкість нагрівання;
- рівень температури випалу;
- надлишок повітря;

- температура вторинного повітря;
- тиск струменю повітря;
- тонина порошкоподібного вугілля;
- вміст летких сполук у паливі;
- розташування, довжина та температура факела.

**Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**  
Зниження рівня викидів та споживання енергії.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Про міжсередовищні наслідки не повідомлялося.

#### **Експлуатаційні параметри**

Як видно з Рисунка 2.36, близько 68 % викидів  $\text{NO}_x$  з обертових печей нижчі, ніж  $500 \text{ мг/м}^3$  н. у. (точкові вимірювання у перерахунку на значення за півгодини), і близько 60 % викидів  $\text{NO}_x$  з шахтних печей нижчі, ніж  $100 \text{ мг/м}^3$  н. у. Крім того, близько 80 % ПРП, ШПЗЖ та ШПП і приблизно 50 % КШП досягли значень викидів  $\text{NO}_x < 100 \text{ мг/м}^3$  н. у., виміряних як середні значення за півгодини (див. розділ 2.3.3.2).

#### **Застосування та економіка**

Оптимізацію технологічного процесу / керування технологічним процесом можна застосовувати у виробництві вапна, проте слід пам'ятати, що на практиці криві нагрівання процесу обпалювання у вапняній промисловості оптимізовані з огляду на якість продукції та споживання енергії. Тому криві нагрівання можна змінювати лише в тому разі, якщо це дозволяють технічні властивості готового виробу, а при зміні кривих нагрівання з міркувань зниження викидів слід враховувати додаткові витрати.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

#### **Приклади заводів та довідкова література**

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[54, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]

#### **2.4.6.1.2 Ступінчасте подавання повітря**

##### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Ступінчасте подавання повітря, в принципі, можна застосовувати в обертових печах випалу вапна. Шляхом зменшення подавання кисню у зонах первинної реакції створюється відновлювальна зона. Високі температури у цій зоні особливо сприятливі для протікання реакції, яка перетворює  $\text{NO}_x$  назад в елементарний азот. У наступних зонах згорання подавання повітря та кисню збільшується для окиснення утворених газів. Аби гарантувати, що рівні як  $\text{CO}$ , так і  $\text{NO}_x$  будуть підтримуватися низькими, необхідно забезпечити ефективне змішування повітря з газом у зоні обпалювання.

##### **Міжсередовищні наслідки**

Детальніша інформація відсутня.

##### **Експлуатаційні параметри**

Станом на 2007 рік ступінчасте подавання повітря ще не було випробування у вапняній промисловості ЄС.

##### **Застосування**

Станом на 2007 рік ступінчасте подавання повітря ще не застосовувалося в вапняному секторі у країнах ЄС-27; проте випробування показали, що його, в принципі, можна застосовувати в обертових печах, за винятком тих обертових печей, у яких виготовляється сильно випалене вапно. Ступінчасте подавання повітря не застосовне до шахтних печей.

##### **Економіка**

Дані відсутні.

##### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

#### **Приклади заводів та довідкова література**

У 2008 році в країнах ЄС-27 не було прикладів вапняних заводів, де б використовувалася ця технологія.

[54, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2008].

### 2.4.6.1.3 Пальники з низьким виділенням $\text{NO}_x$

#### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Викиди оксидів азоту залежать головним чином від якості вапна, що виготовляється, та від конструкції печі і утворюються у процесі обпалювання за температур понад 1 300 °С. Ці викиди  $\text{NO}_x$  можна звести до мінімуму шляхом використання спеціальних пальників з низьким виділенням  $\text{NO}_x$ . Ці пальники доцільно використовувати для зниження температури полум'я, а отже, для зниження виходу  $\text{NO}_x$ , що утворюється в результаті термічних процесів та (певною мірою) з палива. Вихід  $\text{NO}_x$  знижується шляхом подавання продувального повітря для зниження температури полум'я або шляхом забезпечення імпульсної роботи пальників.

Повітря для згорання – так зване «первинне повітря» – надходить через пальник у піч. Воно розділяється на два потоки: «завихрений потік повітря» та «осьовий потік повітря». Осьовий потік повітря проходить майже паралельно до осі пальника, у той час як завихрений потік повітря має осьову та дотичну складові. Як завихрений, так і осьовий потік повітря необхідні для забезпечення форми та стійкості факела.

Пальники з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  спроектовані таким чином, щоб зменшувати частку первинного повітря – завдяки цьому утворюється менша кількість  $\text{NO}_x$ , у той час як звичайні багатоканальні пальники працюють з часткою первинного повітря від 10 до 18 % загального об'єму повітря, що надходить у зону горіння. Більша частка первинного повітря призводить до короткочасного та інтенсивного горіння факела через раннє змішування гарячого вторинного повітря та палива. Це призводить до вищих температур полум'я, а також до утворення великої кількості  $\text{NO}_x$ , якому можна запобігти шляхом використання пальників з низьким виділенням  $\text{NO}_x$ .

У разі використання різних типів відходів важливо дуже точно адаптувати технологію, за якою працює пальник, до виду палива, що спалюється в печі, особливо у випадку переходу на інший вид палива або використання рідкого палива з відходів.

#### Міжсередовищні наслідки

Немає проблем.

#### Експлуатаційні параметри

У кільцевих шахтних печах було отримано позитивний досвід з пальниками (витрата палива 30 – 150 кг/год.), які розпилювали паливо шляхом вприскування повітря під високим тиском (6 бар). Крім того, було оптимізовано витрату повітря, що подається для згорання, та форму факела. У 2005 та 2006 роках було виміряно рівні викидів  $\text{NO}_x < 200 \text{ мг/м}^3 \text{ н. у.}$  (стандартний стан, 10 % кисню). Оскільки вміст азоту та води у паливі може впливати на викиди  $\text{NO}_x$ , слід зазначити, що у якості палива використовувався важкий мазут [46, Німеччина, 2006], [157, Німеччина, 2007].

#### Застосування

Пальники з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  були встановлені на обертових печах, а крім того, у деяких особливих умовах (за великої кількості первинного повітря) їх можна застосовувати у кільцевих шахтних печах. Технологію пальників з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  не можна напряму перенести у печі випалу вапна з цементних печей. У цементних печах температури полум'я вищі, і пальники з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  розраховані на зниження високих початкових рівнів «термічних оксидів азоту  $\text{NO}_x$ ». У більшості печей випалу вапна рівні  $\text{NO}_x$  нижчі, і «термічні оксидів азоту  $\text{NO}_x$ », вочевидь, мають менше значення.

Технологію, за якою працює пальник, потрібно адаптувати до видів палива, що використовуються, тобто до викопних видів палива чи палива з відходів. У ПРП використовується безполумене горіння, тому пальники з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  немає сенсу пристосовувати до цього типу печей.

**Економіка**

Інвестиційні витрати на пальники з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  знаходяться в діапазоні витрат на традиційні технології пальників.

**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

**Приклади заводів та довідкова література**

Німецький завод виробництва вапна (кільцева шахтна піч).

[38, Велика Британія, 1996], [46, Німеччина, 2006], [54, EuLA, 2006], [157, Німеччина, 2007].

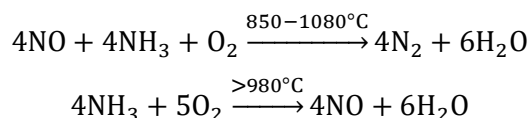
**2.4.6.1.4 Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)****Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

У процесі селективного некаталітичного відновлення (СНКВ) оксиди азоту ( $\text{NO}$  та  $\text{NO}_2$ ), присутні у димових газах, видаляються шляхом селективного некаталітичного відновлення та перетворення в азот і воду: для цього в піч вприскується відновлювальний реагент, який реагує з оксидами азоту. У якості відновлювального реагенту зазвичай використовується аміак або карбамід. Реакції протікають за температур від 850 до 1 020 °С, а оптимальний діапазон зазвичай припадає на температури від 900 до 920 °С.

Для цього необхідно забезпечити хороше змішування димових газів з відновлювальним реагентом, оптимізовану температуру вприскування та достатній час перебування у вікні оптимальних температур. Оскільки у технічних процесах виготовлення вапна цих умов не завжди легко досягти, відновлювальний реагент необхідно подавати у надлишковій кількості, щоб гарантувати достатню ефективність відновлення.

Проте надто високі відношення  $\text{NH}_3:\text{NO}$  можуть призвести до небажаних викидів аміаку – так званого «проскоку аміаку». Оскільки димові гази печей випалу вапна зазвичай ні для чого не використовуються (наприклад, для сушіння матеріалу), цей аміак неможливо буде захопити чи поглинути далі по ходу потоку. Проскок аміаку набагато легше отримати у печах випалу вапна, ніж в інших промислових процесах.

Основні реакції процесу СНКВ та температурний діапазон вприскування  $\text{NH}_3$  є такими:



Температура є важливим параметром. Наведені вище реакції – це основні реакції з багатьох паралельних реакцій. Перша реакція демонструє бажане відновлення оксидів азоту до азоту. Друга реакція описує небажану реакцію, у якій окиснюється аміак. Ця реакція зазвичай протікає за вищої температури та за більшого вмісту кисню в місці вприскування. Замість рідкого аміаку можна вприскувати розчин карбаміду. Перевага карбаміду полягає в тому, що він нешкідливий, і тому набагато простіший у використанні.

**Міжсередовищні наслідки**

Надто високі відношення  $\text{NH}_3:\text{NO}$  можуть призвести до викидів аміаку (проскоку аміаку).

Оскільки у печах випалу вапна обмежений вибір місць, через які можна вприскувати реагент, для досягнення потрібних рівнів зниження викидів необхідно витратити більше відновлювального реагенту. Це, знову ж таки, підвищує ризик проскоку аміаку.

**Експлуатаційні параметри**

3 липня 2006 року у німецькій вапняній промисловості на одному заводі, що працює на викопному паливі та паливі з відходів, вперше проводиться експлуатаційне випробування технології селективного некаталітичного відновлення (СНКВ). У якості відновлювального реагенту, якість якого контролюється для запобігання потраплянню небажаних речовин, можна використовувати розчин карбаміду (45 %), 24,5 %-ий гідрат амонію та стічні води, що містять аміак. Відновлювальний реагент вприскується у колосниковий підігрівач (колосникову піч Леполя). Вибір місця вприскування (форсунок) має велике значення для ефективності і є важливим критерієм оптимальної аерації відхідних газів – наприклад, між завантажувальним кінцем печі та колосником. Температура реакції знаходиться в діапазоні від 1 080 до 1 150 °С. Зв'язок між температурою, проскоком  $\text{NH}_3$  та відновленням  $\text{NO}_x$  показано на Рисунку 2.50.

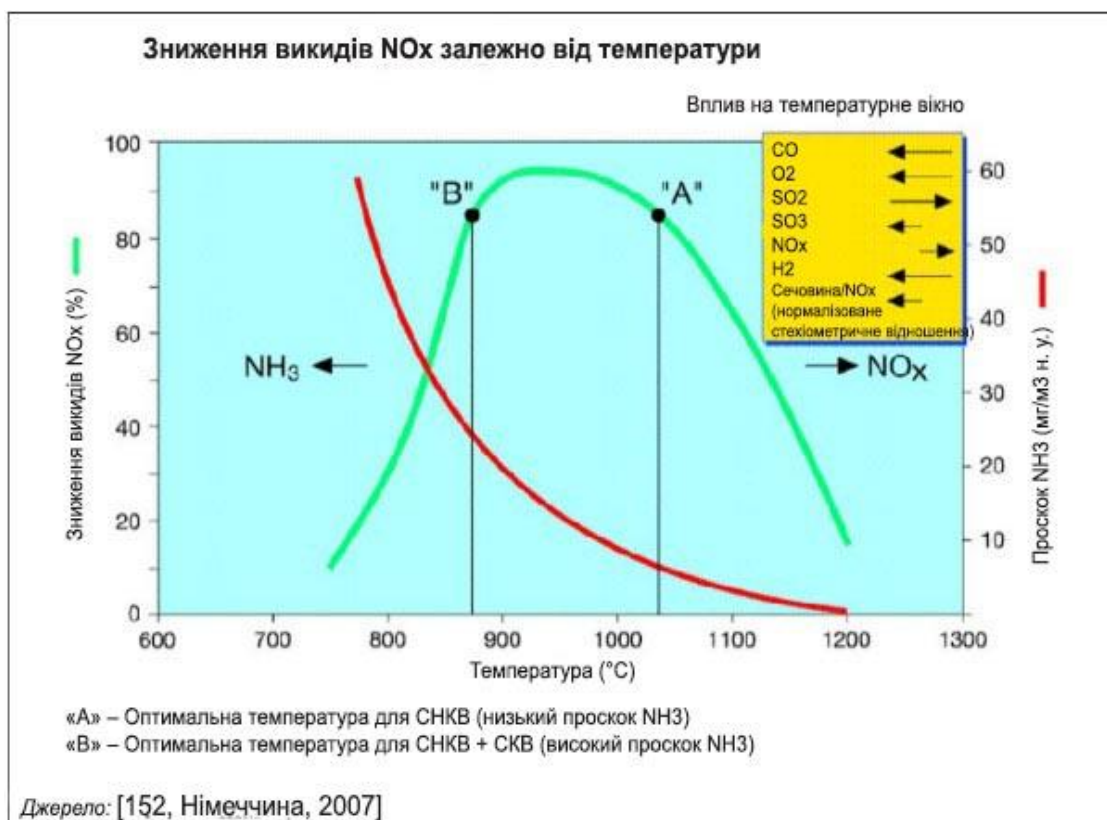


Рисунок 2.50. Зниження викидів NO<sub>x</sub> залежно від температури

У Таблиці 2.39 наведені теоретичні експлуатаційні параметри процесу СНКВ, що використовується у вапняній промисловості, такі як температурне вікно та ефективність відновлення.

Таблиця 2.39. Теоретичні експлуатаційні параметри процесу СНКВ

Технологічний процес	Каталізатор	Температурне вікно для реакції денітрифікації – DeNO <sub>x</sub> (°C)	Ефективність відновлення NO <sub>x</sub> (%)
СНКВ	Каталітичний перетворювач NH <sub>3</sub> або (NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO (карбамід) не вприскується безпосередньо в камеру згорання	850 – 1 150	30 – 80

Джерело: [93, EuLA, 2006], [152, Німеччина, 2007]

На взятому для прикладу заводі у поселенні Фландерсбах, Німеччина, можна досягти ефективності відновлення від 50 до 70 % – це дає змогу підтримувати викиди NO<sub>x</sub> на рівні нижче 500 мг NO<sub>x</sub>/м<sup>3</sup> н. у. в перерахунку на середньодобове значення (стандартний стан, 10 % O<sub>2</sub>). Можна, в принципі, досягти і вищих коефіцієнтів зниження викидів, проте вони відразу призводять до величезних проскоків аміаку. Вимірювання, проведені у ході різних технологічних процесів та за різних умов вприскування, показали, що викиди закису азоту (N<sub>2</sub>O) завжди залишаються меншими, ніж 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. [93, EuLA, 2006], [152, Німеччина, 2007].

### Застосування

У виробництві вапна СНКВ можна застосовувати в обертових печах з підігрівачами (колосникових печах Леполя).

У вертикальних печах (які становлять понад 90 % від загальної кількості печей у країнах ЄС-27) станом на 2007 рік очищення за допомогою СНКВ поки що неможливо реалізувати з технічної точки зору, оскільки температура димових газів набагато нижча, ніж 200 °C.

У довгих обертових печах технологію СНКВ неможливо застосувати на практиці, оскільки



зона оптимального температурного вікна знаходиться всередині обертової частини печі. Станом на 2007 рік доступ до цієї частини печі неможливий, тож можна застосовувати лише первинні технології зниження викидів.

У обертових печах з підігрівачами умови технологічного процесу дозволяють застосовувати технологію СНКВ, проте лише в деяких конкретних зонах, де температури знаходяться в ідеальному діапазоні від 950 до 1 050 °С (ці умови виконуються не у всіх ОПП, а лише у колосникових печах Леполя). Таким чином, можливості пристосування та оптимізації місця вприскування (таким чином, щоб вприскувати відновлювальний реагент за правильних температур та концентрацій кисню) досить обмежені. Крім того, необхідно забезпечити мінімальний час перебування димових газів у цьому температурному вікні, щоб забезпечити:

- випаровування відновлювального реагенту (карбаміду чи рідкого аміаку);
- якомога однорідніший його розподіл по всьому перерізу;
- можливість реагування відновлювального реагенту з оксидами азоту.

На практиці в обертових печах з підігрівачем не завжди виконуються обидві умови. Фактично, у тих обертових печах, які обладнані вертикальними підігрівачами, час перебування димових газів в ідеальному температурному вікні з великою ймовірністю буде надто малий, щоб реагент міг повністю прореагувати з оксидами азоту по всьому перерізу. У обертових печах, обладнаних колосниковими підігрівачами, ці умови простіше виконати. Проте практичний досвід також показує, що ефективність СНКВ може бути набагато нижчою, ніж очікувалося: це демонструє наведений нижче приклад з Німеччини, у якому експлуатаційні випробування денітрифікації ( $\text{DeNO}_x$ ) проводилися у печі з підігрівачем, яка у цілому ідентична згаданим вище німецьким печам (див. експлуатаційні параметри). Аби обмежити великі викиди аміаку та солей амонію з димовою труби, кількість карбаміду, що вприскувалася над колосниковою піччю Леполя, довелося обмежити так, щоб молярне відношення  $\text{NH}_2:\text{NO}_2$  дорівнювало 1:2. По суті, випробування було припинене, як тільки над димовою трубою з'явився білий шлейф. Безперервний моніторинг викидів  $\text{NO}_x$  продемонстрував незначне зниження викидів  $\text{NO}_x$  під час вприскування карбаміду – від 400 до приблизно 300  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. Викиди аміаку з печі без вприскування карбаміду знаходилися в діапазоні від 3 до 8  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. – у порівнянні з менш ніж 0,7  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у., які зазвичай отримують у результаті вимірювань на обертових печах. Проте для застосування СНКВ в обертових печах з підігрівачами, оснащеними колосником Леполя, потрібно заздалегідь провести комплексні етапи випробувань та здійснити пристосування.

### Економіка

Для взятого у якості прикладу заводу у поселенні Фландерсбах, Німеччина, інвестиційні витрати були подібні до повідомлених у цементній промисловості, тобто від 0,5 мільйона до 1,2 мільйона євро (див. розділ 1.4.8.2). На цьому заводі обладнання експлуатувалося лише протягом короткого періоду (кількох тижнів) у 2007 році, тому наразі важко визначити точні експлуатаційні витрати. Фінансові оцінки на основі попередніх випробувань показують, що експлуатаційні витрати можуть бути близькими до витрат, повідомлених у цементній промисловості, тобто від 0,1 до 1,7 євро на тону вапна для потужності печі 1 000 т/добу та початкових викидів  $\text{NO}_x$  до 1 500  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

### Приклади заводів та довідкова література

Вапняний завод у поселенні Фландерсбах, Німеччина.

[46, Німеччина, 2006] [54, EuLA, 2006], [57, Європейська комісія, 2005], [93, EuLA, 2006], [152, Німеччина, 2007], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

### 2.4.6.1.5 Селективне каталітичне відновлення (СКВ)

#### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Технологія селективного каталітичного відновлення (СКВ) працює в діапазоні температур 300 – 400 °С. NO та NO<sub>2</sub> відновлюються до N<sub>2</sub> за допомогою NH<sub>3</sub> та каталізатора.

Незалежно від типу відновлювального реагенту, що використовується, необхідно забезпечити хороше змішування димових газів з реагентом, оптимізовану температуру вприскування та достатній час перебування у вікні оптимальних температур. Використання відновлювального реагенту забезпечує достатню ефективність відновлення. СКВ може працювати майже за стехіометричних умов, і при цьому все рівно буде досягтися висока ефективність відновлення. Димові гази печей випалу вапна зазвичай ні для чого не використовуються (наприклад, для сушіння матеріалу). Тому аміак неможливо буде захопити чи поглинути далі по ходу потоку. Також див. розділ 1.4.5.1.8.

#### Міжсередовищні наслідки

Використання каталізаторів збільшує експлуатаційні витрати, а крім того, їх потрібно переробляти чи утилізувати.

У випадках високих концентрацій пилу споживання електроенергії може збільшитися через наявність внутрішньої системи знепилювання реактора СКВ та додаткові втрати тиску.

Системи для відхідних газів з низькою концентрацією пилу потребують повторного нагрівання відхідних газів після знепилення, а це може призвести до додаткових витрат на електроенергію та втрат тиску.

#### Експлуатаційні параметри

У Таблиці 2.40 наведені теоретичні експлуатаційні параметри, такі як температурне вікно та ступінь відновлення, необхідні для використання цієї технології відновлення NO<sub>x</sub> у вапняній промисловості.

**Таблиця 2.40.** Теоретичні температурні діапазони та ступені відновлення, необхідні для процесу СКВ

Технологічний процес	Каталізатор	Температурне вікно для реакції денітрифікації – DeNO <sub>x</sub> (°C)	Ефективність відновлення NO <sub>x</sub> (%)
СКВ	Метал, окиснений на керамічних матеріалах	280 – 450	70 – >90
	Молекулярні сита	380 – 480	70 – 90

*Джерело:* [93, EuLA, 2006]

#### Застосування

Вибіркове каталітичне відновлення, в принципі, можна застосовувати в обертових печах випалу вапна для зниження викидів NO<sub>x</sub>. Проте станом на 2007 рік у європейській вапняній промисловості не було жодного досвіду роботи з цією технологією відновлення NO<sub>x</sub>, оскільки СКВ ще не використовується.

Стосовно використання СКВ у вапняній промисловості, потрібно дослідити кілька параметрів, наприклад:

- високе пилове навантаження;
- великий питомий об'єм газу;
- питання щодо лугів металів;
- інвестиційні, експлуатаційні витрати та витрати на технічне обслуговування.

#### Економіка

Дані про витрати на технологію СКВ, що використовується у цементній промисловості, наведені у розділі 1.4.5.1.8 та у розділі 1.4.8.2.

#### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

#### Приклади заводів та довідкова література

Станом на 2008 рік у країнах ЄС-27 не було прикладів вапняних заводів, де б застосовувалася ця технологія.

[54, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]

### 2.4.6.2 Зниження викидів SO<sub>2</sub>

#### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Викиди SO<sub>2</sub>, головним чином з обертових печей, залежать від вмісту сірки в паливі, конструкції печі та необхідного вмісту сірки у виготовленому вапні. Тому викиди SO<sub>2</sub> можна зменшити як шляхом вибору палива з низьким вмістом сірки, так і у випадку виробництва вапна на паливі з високим вмістом сірки.

Для зниження викидів SO<sub>2</sub> доступні технології, що базуються на додаванні абсорбентів, як-от каскадні адсорбери з ущільненим шаром, модульні системи адсорберів та очищення димових газів за допомогою фільтра (рукавного чи електрофільтра). Використання абсорбентів для зниження викидів SO<sub>2</sub> добре налагоджене в інших галузях промисловості, проте ще не застосовувалося в обертових печах випалу вапна. Для обертових печей можна розглянути можливість використання таких технологій:

- використання дрібного вапняку: Для прямої обертової печі з доломітом у якості вхідної сировини спостерігалось, що викиди SO<sub>2</sub> можна суттєво знизити у випадках, коли кам'яна сировина містить велику кількість дрібно розділеного вапняку або схильна розпадатися при нагріванні. Дрібно розділений вапняк кальцинується, захоплюється димовими газами і уловлює SO<sub>2</sub> на шляху до пиловловлювача та в самому пиловловлювачі;
- вприскування вапна у повітря, що подається для згорання: Запатентована технологія (Європейський патент EP 0 734 755 A1) описує зниження викидів SO<sub>2</sub> з обертових печей шляхом вприскування дрібно розділеного негашеного чи гідратованого вапна у повітря, що подається у топкову камеру печі;
- вприскування абсорбента у димові гази: Загальновизнана технологія зниження концентрацій SO<sub>2</sub> у газоподібних викидах полягає у тому, щоб:
  - вбризнути абсорбент (наприклад, гідратоване вапно чи гідрокарбонат натрію) у газовий потік, та
  - забезпечити достатній час перебування газу між точкою вприскування та пиловловлювачем (бажано рукавним фільтром) для досягнення ефективної абсорбції.

Станом на 2007 рік системи зниження викидів SO<sub>2</sub> не були встановлені на жодному європейському заводі. Проте у деяких випадках для зниження викидів SO<sub>2</sub> використовується вприскування гідратованого вапна [54, EuLA, 2006].

Корисна інформація про сорбційні установки у цьому контексті міститься у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для загальних систем переробки/керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі [58, Європейська комісія, 2003].

#### Міжсередовищні наслідки

Дані відсутні.

#### Експлуатаційні параметри

Результати вимірювань у ході випробувань показали, що, за винятком кількох довгих обертових печей, яких у країнах ЄС-27 менше 26, у більшості печей випалу вапна (ПРП, КШП, ШПЗЖ, ШП, ОПП) вдається досягти рівнів викидів менше 50 мг/м<sup>3</sup> н. у. завдяки природній схильності вапна захоплювати сірку (див. розділ 2.3.3.3). Крім того, у більшості печей випалу вапна можна досягти рівня викидів менше 50 мг/м<sup>3</sup> н. у., використовуючи відходи у якості палива.

#### Застосування

Технології зниження викидів SO<sub>2</sub>, що базуються на додаванні абсорбентів, в принципі, можна застосовувати у вапняній промисловості. Проте станом на 2007 рік вони не застосовувалися.

Описані вище технології можуть заслуговувати на додаткові дослідження, щоб їх можна було адаптувати до використання в обертових печах випалу вапна.

#### Економіка

Дані відсутні.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

### Приклади заводів та довідкова література

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[54, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### 2.4.6.3 Зменшення викидів CO

##### Опис

Викиди CO також можна зменшити шляхом вибору, якщо це можливо, сировини з низьким вмістом органічних речовин. Проте вибір сировини залежить від типу печі, що використовується, та/або від типу вапна, що виготовляється, – наприклад, гідравлічного вапна.

##### *Керування відключеннями за рівнем CO*

За підвищених рівнів CO у димових газах електрофільтри повинні вимикатися з міркувань безпеки.

За деяких обставин для обертових печей випалу вапна, обладнаних електрофільтрами (ЕСП), може застосовуватися технологія керування відключеннями за рівнем CO, що розробляється для цементних печей, оснащених електрофільтрами. Проте рівень викидів пилу (кг/тону продукту) після вимкнення електрофільтра для печей випалу вапна загалом набагато нижчий, ніж для цементних печей, оскільки фракції вапняку порівняно грубі, а переробка пилу відсутня.

Інформація та вказівки щодо контролю відключень за рівнем CO наведені в розділі 1.4.5.3 та в розділі 6.2.6.

##### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Зменшення частоти відключень за рівнем CO, зниження викидів CO та пилу.

##### **Міжсередовищні наслідки**

Відключення за рівнем CO можуть призводити до вибухів у електрофільтрах.

##### **Експлуатаційні параметри**

Для ПРП, ДОП, ОПП та ІПП повідомлялися викиди CO у діапазоні <100 – <500 мг/м<sup>3</sup> н. у. (результати точкових випробувань) – див. Таблицю 2.38 у розділі 2.3.3.4.2). У випадку КШП та ШПЗЖ рівні викидів CO необхідно залишити вищими з технічних міркувань.

У особливому випадку виробництва гідравлічного вапна вміст органічного вуглецю в сировині зазвичай знаходиться у діапазоні 0,8 – 5 %.

##### **Застосування**

Керування відключеннями за рівнем CO, в принципі, можна застосовувати для обертових печей.

##### **Економіка**

Дані відсутні.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

### Приклади заводів та довідкова література

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[54, EuLA, 2006], [83, SEMBUREAU, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### 2.4.6.4 Зниження викидів загального органічного вуглецю (ЗОВ)

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Викиди ЛОС зазвичай вимірюються як вміст загального органічного вуглецю (ЗОВ) і часто пов'язані з викидами CO, зумовленими неповним згоранням палива. Оскільки оператори часто обмежують викиди CO з печей, викиди ЛОС загалом залишаються низькими. Для підтримання викидів ЗОВ на низькому рівні можна застосовувати заходи з оптимізації технологічного процесу, як-от вирівнювання та оптимізація роботи установки і процесу обпалювання та/або гомогенізація палива і сировини, що подаються в піч.

##### Міжсередовищні наслідки

Немає проблем.

##### Експлуатаційні параметри

У дуже обмеженій кількості випадків, коли вапнякова сировина містить до 0,1 % органічної речовини, леткі органічні сполуки можуть викидатися безперервно.

У КШП, ДОП та ОПП викиди ЛОС можуть траплятися лише у короткі періоди під час пуску чи порушень у роботі – таким чином, рівень цих викидів нижчий, ніж 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. (Секв). У ПРП цей процес спричиняє циклічні зміни умов згорання кожні 10 – 12 хвилин. Тому рівні викидів ЛОС дещо вищі, ніж ті, що спостерігаються для інших типів печей.

Сировина, що використовується для виробництва гідралічного вапна, містить більше органічних речовин (як правило, у діапазоні 0,8 – 5 % у перерахунку на ЗОВ), а це призводить до вищих викидів ЗОВ, ніж у випадку виробництва звичайного вапна.

##### Застосування

Ці технології, в принципі, можна застосовувати для печей випалу вапна.

##### Економіка

Дані відсутні.

##### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

##### Приклади заводів та довідкова література

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[129, EuLA, 2006], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008]

#### 2.4.6.5 Зниження викидів хлороводню (HCl) та фтороводню (HF)

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Викиди хлору та фтору можна зменшити шляхом використання палива з низьким вмістом хлору та фтору. Більша частина хлору, присутнього у сировині та паливі, захоплюється негашеним вапном.

У вертикальних печах ефективний контакт між пічними газами та вапном / доломітовим вапном гарантує ефективне поглинання HCl. Проте викиди HCl з шахтних печей залежать головним чином від вмісту сполук хлору у вапняку. При обпалюванні сухого вапняку викиди HCl, як правило, більші. У деяких випадках викиди HCl можна знизити шляхом вприскування води у димові гази.

##### Міжсередовищні наслідки

Немає проблем.

##### Експлуатаційні параметри

Доломіт містить більше хлору (від 100 до приблизно 1000 млн<sup>-1</sup>), ніж вапняк (від 10 до 150 млн<sup>-1</sup>).

Для випадків використання відходів у якості палива повідомлялося про викиди HCl на рівні 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. та викиди HF на рівні 1 мг/м<sup>3</sup> н. у. (див. Таблицю 2.27 у розділі 2.3.3.7).

### **Застосування**

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у вапняній промисловості.

### **Економіка**

Дані відсутні.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Місцеві умови.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[46, Німеччина, 2006], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2008].

## **2.4.7 Зниження викидів поліхлорованих дибензопарадіоксинів (ПХДД) та поліхлорованих дибензофуранів (ПХДФ)**

### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Сировина або паливо, що містить хлориди, потенційно може призводити до утворення ПХДД/Ф в будь-якій зоні технологічного процесу з температурою від 300 до 450 °С.

Якщо у якості палива використовуються відходи, вміст хлору в паливі може збільшитися, як і його викиди.

З відповідної літератури про виробництво вапна відомі такі головні правила запобігання утворенню ПХДД/Ф:

- обмежити час перебування димових газів у зонах з діапазоном температур від 300 до 450 °С;
- обмежити вміст кисню в тих же зонах;
- обмежити кількість міді, що вноситься у піч з паливом, оскільки вона має властивості каталізатора у синтезі ПХДД/Ф.

З огляду на ці правила можна скласти план дій за схемою, зображеною на Рисунку 2.51 та Рисунку 2.52.

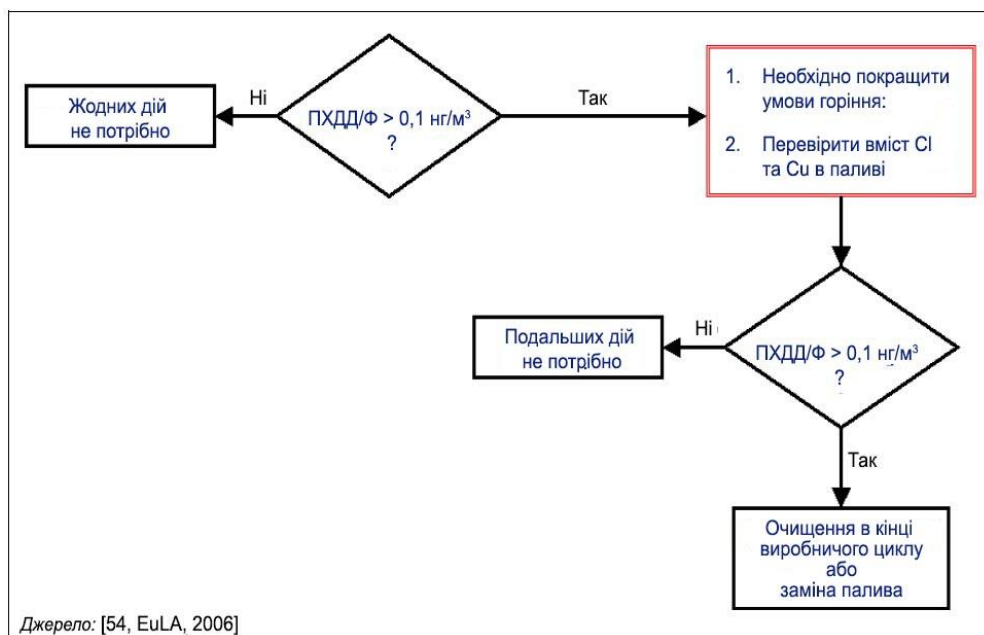


Рисунок 2.51. Схема контролю викидів ПХДД/Ф у вертикальних печах випалу вапна

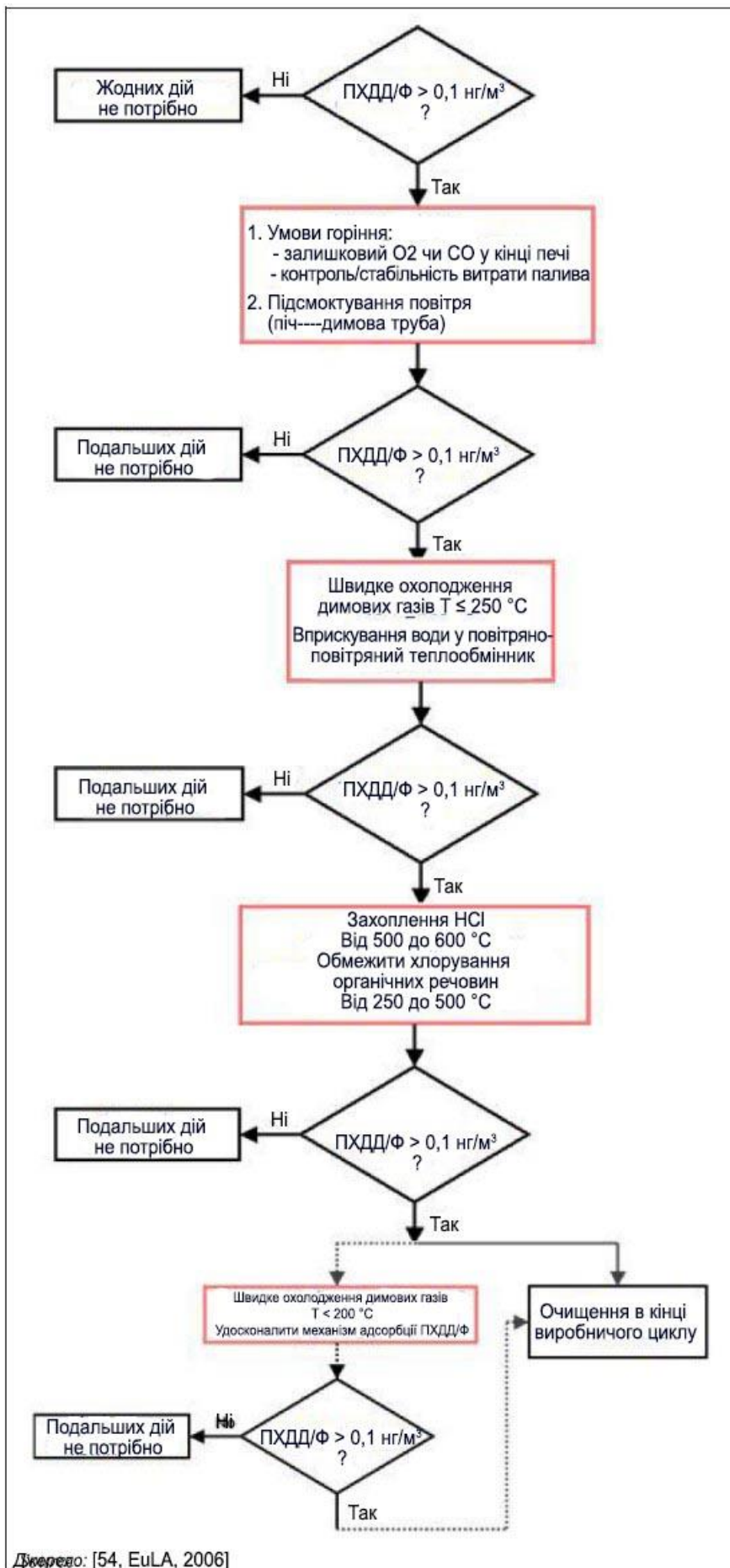


Рисунок 2.52. Схема контролю викидів ПХДД/Ф в обертових печах (ДОП, ОПП)



**Міжсередовищні наслідки**

Використання відходів може призвести до збільшення вмісту хлору в паливі та до підвищення викидів.

**Експлуатаційні параметри**

Для різних типів печей випалу вапна повідомлялися дані про викиди ПХДД/Ф у діапазоні від 0,005 до 0,07 нг I-TEQ/м<sup>3</sup> н. у. (див. розділ 2.3.3.6). Як впливає з наданих даних, виміряні середні рівні викидів ПХДД для всіх типів печей випалу вапна у країнах ЄС-27 менші, ніж 0,1 нг I-TEQ/м<sup>3</sup> н. у. Це значення викидів справджується і у випадку, коли у технологічному процесі в якості палива використовуються відходи. При сумісному спалювання відходів потрібно дотримуватися вимог Частини IV та Додатку VI до Директиви 2010/75/EU.

Проте наразі тривають дослідження, метою яких є поглибити розуміння утворення ПХДД у печах випалу вапна, аби гарантувати, що в майбутньому рівні викидів будуть завжди залишатися меншими, ніж 0,1 нг I-TEQ/м<sup>3</sup> н. у., при використанні видів палива з вищим вмістом хлору.

**Застосування**

Ці технології, в принципі, можна застосовувати для печей випалу вапна.

Паливо з відходів аналізується перед використанням.

**Економіка**

Дані відсутні.

**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

**Приклади заводів та довідкова література**

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[54, EuLA, 2006], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008]

**2.4.8 Зниження викидів металів****Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Слід уникати завантаження в пічну систему палива з високим вмістом металів. Крім того, слід особливо уважно контролювати використання матеріалів з високим вмістом легких металів, таких як Hg та Tl.

Викиди можна зменшити шляхом ретельного вибору і забезпечення гарантованих характеристик речовин, що потрапляють у піч – наприклад, застосування системи контролю якості, щоб гарантувати потрібні характеристики палива з відходів, яке використовується (див. розділ 2.4.4). Крім того, особливу увагу слід звертати на ртуть. Оскільки ртуть летка, можуть виникати відповідні підвищені рівні викидів ртуті. Тому кількість ртуті, що вноситься в систему у складі палива з відходів, потрібно контролювати та за необхідності обмежувати (див. розділ 2.3.3.10).

Ефективне видалення пилу зменшує викиди металів, оскільки метали (окрім частини ртуті), що викидаються з печі, великою мірою зв'язані з пилом. Крім того, ще одним варіантом є абсорбція на активованому вугіллі.

**Міжсередовищні наслідки**

Пристрої видалення пилу збільшують споживання електроенергії через великі втрати тиску.

**Експлуатаційні параметри**

Як видно з Таблиці 2.28 (див. розділ 2.3.3.9), значення викидів металів знаходяться в діапазоні 0,01 – 0,1 мг/м<sup>3</sup> н. у. У деяких особливих випадках з підвищеними викидами пилу для свинцю та цинку можуть спостерігатися значення до 0,40 мг/м<sup>3</sup> н. у.

У випадку використання відходів спостерігалися виміряні викиди ртуті нижче  $0,03 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середньодобове значення або  $0,05 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середнє значення за півгодини. Для сумарного вмісту кадмію і талію спостерігалися виміряні викиди нижче  $0,05 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середнє значення за півгодини, а для суми арсену, кобальту, хрому, міді, мангану, свинцю, стибію, олова та ванадію спостерігалися виміряні викиди нижче  $0,5 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середнє значення за півгодини (вміст кисню 10 %) (див. розділ 2.3.3.10.1) [46, Німеччина, 2006].

### Застосування

Цей захід/технологія, в принципі, може застосовуватися у вапняній промисловості.

### Економіка

Ефективне видалення пилу дає змогу уникнути великих витрат на фільтри з активованим вугіллям.

Система контролю якості, необхідна для забезпечення гарантованих характеристик матеріалів, що подаються в піч, може потребувати додаткових витрат.

### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

### Приклади заводів та довідкова література

Вапняні заводи у країнах ЄС-27.

[46, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006], [54, EuLA, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2008].

## 2.4.9 Технологічні втрати / відходи

### 2.4.9.1 Загальні міркування щодо повторного використання технологічних втрат твердих речовин / відходів у якості сировини

У цьому розділі розглядаються можливості зменшення кількості твердих відходів, що утворюються на кількох етапах технологічних процесів виробництва вапна.

Пил, зібраний під час навантаження, розвантаження, транспортування, механічних маніпуляцій та обробки сировини, зазвичай можна повторно використати у якості сировини. Наприклад, весь пил від фільтрів, зібраний під час зберігання сировини, можна повернути безпосередньо у процес виробництва або в силос, якщо застосовується місцеве очищення повітря за допомогою верхнього фільтра у даху силосу.

Відділений пил, зібраний з рукавних фільтрів подрібнювальних установок, просіювальних/ситових установок, млинів, гідратаційних установок чи вантажного обладнання, – це випалене вапно, яке можна змішати з продуктом або повторно використати на цементних заводах, особливо у випадках, коли цементний та вапняний заводи розташовані на одному майданчику [66, Австрія, 2006].

Пил, що утворюється в системі очищення димових газів, можна повторно використати лише за певних умов, оскільки цей пил може містити забруднюючі речовини – наприклад, високі концентрації сірки, фтору та металів, особливо у випадку сумісного спалювання відходів. У більшості випадків зібраний пил – це головним чином карбонат кальцію з додаванням оксиду кальцію, золи-виносу та глини, кількість яких може варіюватися. Способи утилізації зібраного пилу варіюються від додавання у комерційну продукцію (наприклад, будівельне вапно, вапно для стабілізації ґрунтів, гідратоване вапно та гранульована продукція) до викидання на звалища.

Зібраний завис, що утворився під час очищення димових газів за допомогою мокрих скрубєрів, осаджується, отримана стічна вода зазвичай переробляється, а вологі тверді речовини у більшості випадків викидаються на звалище. Тому окреме відведення різних потоків відпрацьованих газів дає змогу оптимально використати технологічні втрати, які містять багато пилу. Гіпс, що утворюється під час очищення димових газів, неможливо повторно використати у технологічному процесі виробництва вапна, проте він використовується у цементній промисловості у якості регулятора твердіння.

Матеріали, які неможливо переробити тут же на заводі, вивозяться з заводу для використання в інших галузях промисловості або на установці з оброблення відходів.

### 2.4.10 Шум

#### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

У цьому розділі розглядаються можливості зниження рівня шуму, що створюється на кількох етапах технологічних процесів виробництва вапна. Зниження рівня шуму має особливе значення, оскільки вапняні заводи часто розташовані поблизу житлових територій.

Шумове випромінювання часто можна знизити шляхом застосування технологій безпосередньо у джерелі шуму. Джерелами шуму є, наприклад, процеси видобування та обробки вапняку, а також невід'ємні у виробництві вапна дробарки, помельні агрегати та агрегати підготовки, самі цементні печі, живильні системи печей, стрічкові конвеєри, фільтрувальні агрегати, охолоджувальні системи печей.

Для зниження рівнів шуму з метою захисту сусідніх районів на вапняних заводах можна застосовувати різні технології боротьби з шумом. Найефективніше поєднання технологій слід визначати окремо для кожного заводу або виробничого майданчика.

У вапняній промисловості застосовуються такі технічні методи:

- належний вибір місця для шумних операцій;
- огороження шумних операцій – наприклад, завантаження матеріалів у піч, вивантаження вапна, транспортування продукції;
- встановлення шумових бар'єрів та будівництво шумозахисних стін – наприклад, навколо станції вантаження на самоскиди;
- обшивання жолобів внутрішньою та зовнішньою футеровкою зі стійкого матеріалу;
- звукоізоляція будівлі для укриття будь-яких операцій з участю обладнання, яке перетворює матеріали;
- звукоізоляція будівель, у яких встановлені машини;
- звукоізоляція отворів у стінах – наприклад, шляхом встановлення шлюзу в місці входу стрічкового конвеєра;
- встановлення звукопоглиначів на повітровипускних отворах – наприклад, на отворі для випускання очищених газів з пиловловлювальних установок;
- зниження витрати у каналах;
- звукоізоляція каналів;
- вихідні шумоглушники на відхідних димових трубах;
- обшивання ізоляцією каналів та, зрештою, повітродувів, розташованих у звукоізольованих будівлях;
- розосереджене розташування джерел шуму та компонентів, які потенційно можуть резонувати, як-от компресори та канали.

Існуючі або старі заводи модернізуються таким чином, щоб вони відповідали вимогам національного законодавства, хоча старі проекти можуть створювати труднощі: на них може бути недостатньо місця для розміщення обшивки, потрібно продумати доступ для технічного обслуговування, тощо.

Якщо перелічені вище технології зниження рівня шуму неможливо застосувати, і якщо шумні агрегати неможливо перенести всередину будівлі (наприклад, через розмір печей та їх оснащення), потрібно застосовувати вторинні технології захисту від шуму – наприклад, спорудження будівель чи вирощування дерев та кущів між зоною, яку потрібно захистити, та місцем шумної діяльності (наприклад, пічню або складським майданчиком). Під час шумних операцій двері та вікна критих ділянок слід тримати закритими.

#### *Схеми зниження рівнів шуму*

Методика зниження шумового випромінювання від вапняних заводів полягає в тому, щоб розробити схему зниження рівнів шуму для всього майданчика з урахуванням усіх джерел шуму на виробничому майданчику, витрат на зниження рівнів шуму, вимог законодавства, а також міркувань щодо впливу на околиці.

Найефективніша схема зниження рівнів шуму не обов'язково передбачає технології для зниження рівня шуму на найгучнішому агрегаті, оскільки рівні шуму суттєво знижуються зі збільшенням відстані до джерела. Відповідно, більш ефективним може виявитися поєднання технологій для джерел шуму, розташованих поблизу територій, що зазнають шумового впливу. У деяких випадках для зменшення несприятливого впливу на сусідні райони та дотримання вимог законодавства може бути достатньо застосувати організаційні методи – наприклад, скоротити діяльність у нічний час.

Розробка схеми зниження рівнів шуму зазвичай складається з таких кроків:

- складання переліку всіх головних джерел шуму та визначення їх рівнів звукового тиску;
- визначення територій, що зазнають шумового впливу, – наприклад, житлових районів;
- комп'ютерний розрахунок поширення шуму (на основі тривимірного моделювання майданчика та його околиць);
- ранжування джерел шуму за їх значимістю для окремих територій, що зазнають шумового впливу (окремо для дня та ночі);
- оцінка технологій зниження рівнів шуму з урахуванням їх значимості для рівня шуму на територіях, що зазнають шумового впливу, та розрахункових витрат;
- визначення найбільш економічно вигідного поєднання технологій, яке забезпечить дотримання вимог законодавства, а також буде схвалене у сусідніх районах [46, Німеччина, 2006].

### **Міжсередовищні наслідки**

Технології захисту від шуму можуть потребувати додаткових інвестиційних витрат та витрат на технічне обслуговування.

### **Експлуатаційні параметри**

Дані відсутні.

### **Застосування**

Технології для зниження рівня шуму, в принципі, можна застосовувати у вапняній промисловості (див. розділ 2.3.6).

### **Економіка**

Технології захисту від шуму можуть потребувати додаткових інвестиційних витрат.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Вапняні заводи в Німеччині, вапняні заводи у країнах ЄС-27. [46, Німеччина, 2006]

### 2.4.11 Загальні міркування щодо неприємних запахів

Неприємні запахи можуть з'являтися на вапняних заводах, де використовуються шахтні печі зі змішаним живленням, оскільки там утворюються викиди сірководню ( $H_2S$ ). Це залежить від наявної частки сірки у відновленій чи елементарній формі, яка може призводити до викидів  $H_2S$ . Хороших результатів можна досягти у разі використання регенеративної камери допалювання для зниження вмісту  $H_2S$  у потоці димових газів. У 2008 році в Європі лише один вапняний завод був обладнаний термічною камерою допалювання для зниження викидів  $H_2S$ , проте вона працювала лише протягом 6 місяців. Наразі у європейській вапняній промисловості немає діючих регенеративних камер допалювання.

Для зменшення неприємних запахів потенційно можна зменшити вміст сірки у паливі.

Неприємні запахи також можуть бути породжені відходами, що використовуються у якості палива. Місця зберігання відходів можна зробити критими, або можна використовувати системи сховищ для відходів.

### 2.4.12 Інструменти управління навколишнім середовищем

Інструменти управління навколишнім середовищем описані у частині, присвяченій цементній промисловості, у розділі 1.4.12 цього документа.

## 2.5 Перспективні технології у вапняній промисловості

### 2.5.1 Кальцинування у псевдозрідженому шарі

Кальцинування дрібно розділеного вапняку у псевдозрідженому шарі практикується у порівняно невеликому масштабі протягом багатьох років. Воно має кілька потенційних переваг, зокрема:

- використання додаткових сортів вапняку;
- низькі викиди  $\text{NO}_x$ , та
- низькі викиди  $\text{SO}_2$  при використанні палива з високим вмістом сірки.

Проте питоме споживання тепла у цій технології не надто низьке, дрібно розділені продукти не підходять для багатьох випадків застосування, а залишковий рівень карбонату кальцію порівняно високий. Початкові проблеми, що виникли при використанні цієї технології в печах з виробничими потужностями понад 150 тонн на добу, схоже, вже вирішені.

На Рисунку 2.53 зображена схема печі з псевдозрідженим шаром. Дрібний вапняк подається у резервуар підігрівача, що нагрівається повітрям, що відбирає тепло від відхідних газів печі у теплообміннику. Після цього підігрітий вапняк надходить у резервуар з першим псевдозрідженим шаром, у якому його температура збільшується, і вапняк починає кальцинуватися. По мірі того, як вапняк кальцинується, легше негашене вапно перетікає через поріг у наступний резервуар з псевдозрідженим шаром, у якому кальцинування завершується. Після цього негашене вапно проходить через холодильник, у якому воно охолоджується навколишнім повітрям.

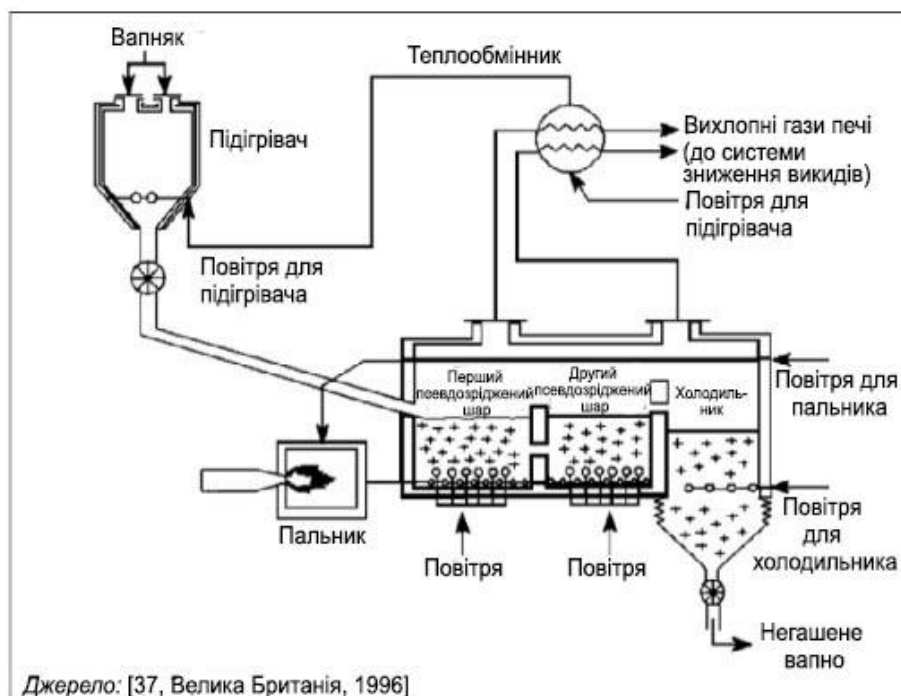


Рисунок 2.53. Піч із псевдозрідженим шаром

Хоча викиди забруднюючих речовин з печі, що працює за технологією псевдозрідженого шару, можуть бути меншими, ніж з інших печей випалу вапна, вона поки що не зарекомендувала себе і здатна виготовляти лише дрібнозернисте вапно з високою реактивністю.

### 2.5.2 Піч зваженого кальцинування / установка підігрівання у зваженому стані

Технологія завантаження дрібно розділеного вапняку через установку підігрівання у зваженому стані у піч зваженого кальцинування була розроблена у цементній промисловості. Проте вона підходить лише для обмеженого асортименту сортів якості вапняку і використовується у край невеликій кількості установок.

У Австралії працюють дві печі, у яких використовується ця технологія. У одній з них продукт із печі зваженого кальцинування пропускається через коротку обертову піч. Обертова секція сконструйована таким чином, щоб регулювати відсоток  $\text{CaCO}_3$  та реактивність вапна відповідно до технічних вимог споживача.

Ця технологія особливо добре підходить для «піскуватого» вапняку, оскільки у піч зваженого кальцинування можна завантажувати кам'яну сировину розміром 0 – 2 мм. За наявними відомостями, вона потребує високих капітальних витрат, які з великою ймовірністю обмежать її використання для виробництва порівняно великих об'ємів продукції (наприклад, близько 500 тонн/добу).

### 2.5.3 Керамічні фільтри

Станом на 2008 рік керамічні фільтри не використовуються у печах випалу вапна. Проте вони здатні ефективно видаляти пил з газів за дуже високих температур, і є ймовірність, що у ряді печей, таких як обертові печі для виробництва повністю випаленого доломіту, знепилення газів з високою температурою дасть змогу реалізувати певні системи регенерації тепла.

### 2.5.4 Допалювання димових газів від шахтних печей зі змішаним живленням

Для очищення димових газів, що надходять від шахтних печей зі змішаним живленням, можна розглянути можливість застосування двох головних технологій зниження викидів:

- рекуперативний термічний окислювач:

Основною технічною перевагою цієї технології є порівняно низька чутливість до концентрацій пилу у  $30 \text{ мг/м}^3$  н. у. і менше. Крім того, високі температури в окислювачі не допускають утворення солей амонію, які призводять до проблем із засміченням та корозією. Проте навіть за найкращих умов експлуатації ця технологія потребує підведення значної кількості додаткової енергії (до  $0,85 \text{ ГДж/т}$  виходу). Станом на 2008 рік у вапняній промисловості немає практичного досвіду з питань ефективності зниження викидів забруднюючих речовин та експлуатаційних витрат на таке обладнання.

- регенеративний термічний окислювач:

Дослідно-промислові випробування невеликого регенеративного окислювача були проведені на кількох заводах, обладнаних шахтними печами зі змішаним живленням, що працюють на різних видах твердого палива. Окислювач був встановлений між рукавним фільтром та димовою трубою у частковому потоці димових газів (витрата димових газів:  $Q < 1\,500 \text{ м}^3$  н. у./год.), відділеному від основного потоку димових газів, як показано на Рисунку 2.54.

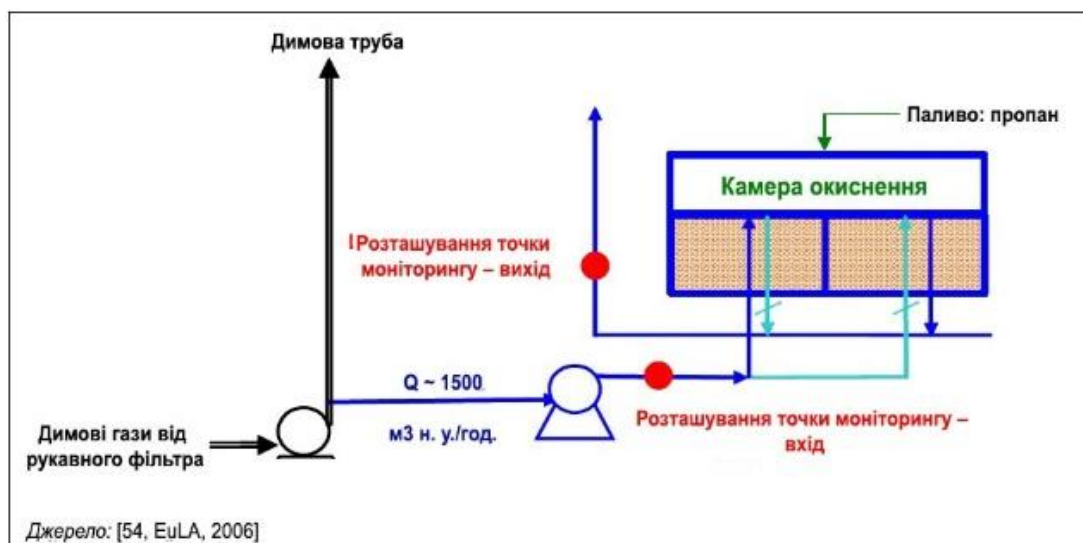


Рисунок 2.54. Приклад схеми технології допалювання

Протягом кількох годин здійснювався уважний моніторинг складу димових газів на вході та на виході окиснювача. Основні результати цих випробувань підсумовані і представлені у Таблиці 2.41.

Таблиця 2.41. Склад димових газів за результатами моніторингу протягом кількох годин

	Речовина	Середня концентрація на вході (суха речовина) (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	Середня концентрація на виході (суха речовина) (мг/м <sup>3</sup> н. у.)
Випадок 1	CO	4 900	35
	ЗОВ	32	0,1
	H <sub>2</sub> S	<0,8	<0,7
Випадок 2	CO	14 650	95
	ЗОВ	120	0,4
	H <sub>2</sub> S	2	<0,8
Випадок 3	CO	6 270	51
	ЗОВ	338	1,3
	H <sub>2</sub> S	1,4	<1,2
Випадок 4	CO	10 810	95
	ЗОВ	37	0,2
	H <sub>2</sub> S	/	/
Випадок 5	CO	14 230	128
	ЗОВ	34	0,3
	H <sub>2</sub> S	20	<0,9
Випадок 6	CO	14 450	115
	ЗОВ	53	0,5
	H <sub>2</sub> S	33	<0,5

Джерело: [54, EuLA, 2006]

За результатами цих випробувань можна зробити висновок, що, якщо окислювач добре спроектований, він може запускатися і працювати в автотермічних умовах (тобто без потреби у додатковій енергії), коли концентрація CO у димових газах перед очищенням перевищує діапазон у 1,5 – 2 %. У цьому випадку загалом можна досягти ефективності зниження викидів у 98 % для монооксиду вуглецю, ЗОВ та сірководню. Концентрація викидів CO в очищених газах завжди < 100 мг/м<sup>3</sup> н. у. [142, EnvNGO (Програма громадської діяльності для сприяння неурядовим організаціям, що займаються головним чином захистом навколишнього середовища)/Теберт, 2007]. Проте – на відміну від рекуперативної системи – це обладнання потребує дуже низьких концентрацій пилу в димових газах (загалом нижче 5 мг/м<sup>3</sup> н. у.). Якщо температури на виході надто низькі (наприклад, нижче 200 °C), можуть утворюватися солі амонію. У цьому випадку можна очікувати корозії труб та/або неконтрольованих викидів пилу. Випробування також показали, що у випадку, якщо рівні CO перевищують діапазон у 2 – 3 %, в окислювачі утворюється надто багато енергії за рахунок окиснення забруднюючих речовин. Це може призвести до серйозних проблем у ході повсякденної роботи обладнання.

Рішення про те, котру з технологій варто використовувати, слід приймати за такими критеріями (цей перелік не вичерпний):

- характеристики димових газів (наприклад, витрата, вміст кисню, монооксиду вуглецю та ЗОВ, температура);
- мінливість цих параметрів з часом;
- характеристики системи знепилення.

Таким чином, вибір найкращого рішення залежить від місцевих умов [54, EuLA, 2006].



## 3 ГАЛУЗЬ ВИРОБНИЦТВА ОКСИДУ МАГНІЮ (СУХИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МЕТОД НА ОСНОВІ ВИДОБУТОГО ПРИРОДНОГО МАГНЕЗИТУ)

### 3.1 Загальні характеристики

#### 3.1.1 Вступ

Оксид магнію – це найважливіша сполука магнію промислового значення, яка застосовується головним чином у сталеливарній промисловості та у виробництві вогнетривких матеріалів. Вона також широко використовується в інших секторах промисловості, у тому числі в харчовій промисловості та у галузі виробництва кормів для тварин. У якості сировини для виробництва оксиду магнію використовується як природний карбонат магнію, так і брусит або хлорид магнію, отриманий з морської води та ропи.

Для виробництва оксиду магнію (MgO/магнезії) використовуються два загальні технологічні методи:

- починаючи з карбонату магнію, за допомогою реакції високотемпературної декарбонізації; сам карбонат магнію для цього можна видобути з магнезитових шахт (природний, або сухий технологічний метод);
- починаючи з хлориду магнію, за допомогою різних процесів, таких як реакція високотемпературного гідролізу та осадження гідроксиду магнію (Mg(OH)<sub>2</sub>). Хлорид магнію можна отримати з ропи, розчину багатих на магній мінералів у соляній кислоті (HCl) та морської води (синтетичний, або мокрий технологічний метод) [108, Європейська комісія, 2006].

Згаданий вище технологічний метод, що починається з хлориду магнію (мокрий технологічний метод), використовується все рідше, оскільки він потребує втричі більше енергії, ніж процес виробництва оксиду магнію, що починається з карбонату магнію (сухий технологічний метод). Детальніша інформація про мокрий технологічний метод міститься у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S), у якому описаний цей мокрий технологічний процес виробництва оксиду магнію [108, Європейська комісія, 2006].

У цій частині розглядається виробництво оксиду магнію (MgO/магнезії), який поділяється на різні типи – намертво обпалена магнезія (НОМ), каустична кальцинована магнезія (ККМ) та плавлена магнезія (ПМ) (див. розділ 3.1.2.1.1), – за допомогою сухого технологічного методу, що базується на використанні видобутого природного магнезиту (карбонату магнію MgCO<sub>3</sub>). Брусит не використовується для виробництва оксиду магнію у Європі, проте етапи виробництва та необхідні умови обпалювання для нього абсолютно такі самі. Мокрий технологічний метод, у якому в якості вихідного матеріалу використовується хлорид магнію, не розглядається в цьому документі через відмінності у структурі технологічного процесу, технологіях та сировини, що використовуються в ньому.

Проте в деяких випадках – наприклад, з ринкових міркувань – ці два магнезіальні продукти неможливо розділити. У таких випадках в цьому документі буде наведена відповідна примітка.

#### 3.1.2 Магнезитова промисловість в Європі та у всьому світі

Спечена, або намертво обпалена магнезія (НОМ), як і каустична кальцинована магнезія (ККМ) та плавлена магнезія (ПМ), виробляється і є предметом торгівлі у всьому світі. На Рисунок 3.1 наведено огляд світових джерел та виробників оксиду магнію.

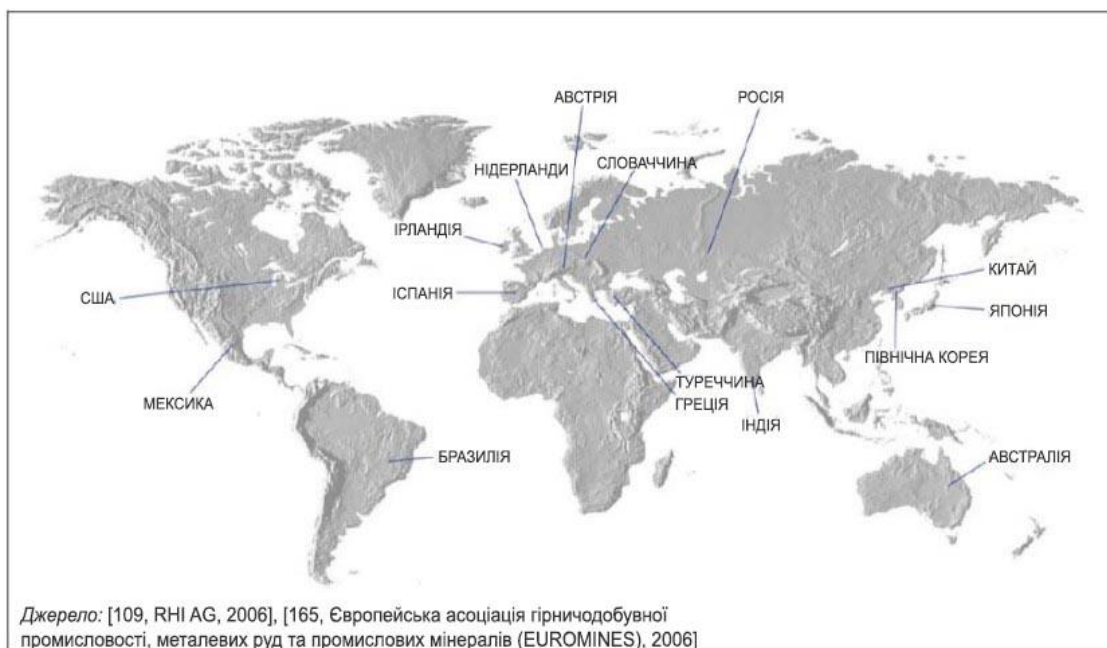


Рисунок 3.1. Світові джерела оксиду магнію та країни, у яких він виробляється

На Рисунку 3.2 наведені об'єми виробництва необпаленого магнезиту у світі та об'єми його виробництва у країнах ЄС-25 за допомогою сухого технологічного методу за період з 1981 по 2003 рік.



Рисунок 3.2. Виробництво необпаленого магнезиту у країнах ЄС-25 та у всьому світі

У Таблиці 3.1 наведені ці дані про світове виробництво магнезиту з 2000 по 2005 рік за країнами-виробниками.

**Таблиця 3.1. Світове виробництво необпаленого магнезиту (карбонату магнію) з 2000 по 2005 рік**

Країна	Виробництво необпаленого магнезиту (т)					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Албанія <sup>(1)</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Австралія	349 933	540 000	540 000	553 847	586 393	590 000
Австрія	725 832	680 534	728 235	766 525	715 459	693 754
Бразилія	300 000	265 749	310 000	330 000	350 000	386 759
Канада	270 000	300 000	200 000	150 000	140 000	120 000
Китай	4 230 000	4 300 000	4 400 000	4 500 000	4 650 000	4 800 000
СНД – Азія	250 000	260 000	150 000	120 000	Н/Д	Н/Д
СНД – Європа	2 250 000	2 340 000	1 350 000	1 080 000	Н/Д	Н/Д
Колумбія	7 100	7 000	6 900	6 700	6 500	6 300
Чехія <sup>(2)</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Корейська Народно-Демократи чна Республіка	650 000	650 000	450 000	580 000	Н/Д	Н/Д
Греція	492 780	483 296	558 057	549 049	499 474	500 000
Гватемала <sup>(3)</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Індія	340 000	330 000	280 000	300 000	320 000	380 000
Іран	140 000	133 778	128 565	91 700	91 700	120 000
Кенія <sup>(4)</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Корея	650 000	650 000	450 000	580 000	600 000	800 000
Мексика <sup>(5)</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Непал <sup>(6)</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Пакистан	3 610	3 000	4 430	4 700	4 900	3 029
Філіппіни <sup>(7)</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Польща	54 830	23 000	24 000	33 000	35 000	37 000
Росія (Європа)	1 400 000	1 380 000	1 350 000	1 080 000	900 000	885 000
Росія (Азія)	140 000	138 000	150 000	120 000	100 000	95 000
Сербія та Чорногорія	0	0	0	73 000	70 000	60 000
Словаччина	1 535 200	1 537 000	1 464 500	1 640 900	965 900	1 555 000
Південно-Африканс ька Республіка	97 446	98 000	99 000	100 000	120 000	130 000
Іспанія	423 605	438 194	462 200	468 900	Н/Д	Н/Д
Таїланд <sup>(8)</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Туреччина	2 672 089	2 738 086	2 800 000	3 224 278	Н/Д	Н/Д
СРСР <sup>(9)</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
США <sup>(10)</sup>	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Югославія	80 000	78 000	75 000	73 000	0	0
Зімбабве	5 800	6 000	6 200	6 400	6 500	6 800
Для різних країн доступні дані лише за такі періоди:			<sup>(7)</sup> Дані доступні за 1984 – 1994 роки <sup>(8)</sup> Дані доступні за 1988 – 1992 роки <sup>(9)</sup> Дані доступні за 1981 – 1994 роки <sup>(10)</sup> Дані доступні за 1981 – 1983 роки Н/Д: немає даних <i>Джерело:</i> [109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TRG «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]			

У 2003 році світовий об'єм виробництва магнезиту склав близько 12,5 мільйона тонн. У країнах ЄС-27 в 2003 році було вироблено близько 2,3 мільйона тонн, тобто 18,4 % від світового об'єму виробництва. У 2003 році світовий об'єм виробництва оксиду магнію (магнезії) за сухим технологічним методом склав близько 5,8 мільйона тонн. У порівнянні з 1981 роком, коли на країни Європи все ще припадало 32 % світового виробництва, ця частка виробництва ЄС у світовому виробництві значно зменшилася.

Тому у 1995 та 2005 роках Європейська комісія опублікувала Регламенти Ради Європи щодо захисту від демпінгового імпорту з країн, які не є членами Європейської спільноти і встановила остаточне антидемпінгове мито на імпорт оксиду магнію [166, Європейський Союз, 1995], [167, Європейський Союз, 2005].

Розрахункові об'єми виробництва спеченого оксиду магнію / магnezії у 2003 році наведені в Таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Світове виробництво спеченого оксиду магнію / магnezії у 2003 році

Тип виробленого оксиду магнію	Розрахунковий об'єм виробництва оксиду магнію (мільйони т)
Природний оксид магнію	5,8 <sup>(1)</sup>
Синтетичний оксид магнію	0,6 <sup>(2)</sup>
Загальний об'єм виробництва оксиду магнію	6,4 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Виробництво оксиду магнію за сухим технологічним методом  
<sup>(2)</sup> Мокрий технологічний метод  
<sup>(3)</sup> Σ загального виробництва за сухим та мокрим технологічними методами  
*Джерело:* [109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]

Світовий об'єм виробництва різних модифікацій оксиду магнію (магnezії), таких як спечена, або намертво обпалена магnezія (НОМ), каустична кальцинована магnezія (ККМ) та плавлена магnezія (ПМ), у 2003 році варіювався від 6,4 до 6,7 мільйона тонн з урахуванням статистичних неточностей. На Рисунку 3.3 узагальнено розподіл виробництва різних модифікацій/типів оксиду магнію (магnezії), вироблених у всьому світі в 2003 році. Загальний об'єм виробництва склав 6,7 мільйона тонн.



Рисунок 3.3. Світове виробництво модифікацій оксиду магнію у 2003 році

У ЄС-27 мало виробників оксиду магнію і відповідно, мало заводів, що виготовляють спечену магnezію: вони наведені у Таблиці 3.3. У країнах ЄС-27 відомо лише 9 виробників з 14 заводами. На кожному заводі у середньому від однієї до трьох печей, окрім одного виробника, у якого на одному заводі працює вісім печей. Господарська діяльність у галузі виробництва оксиду магнію обмежена невеликою територією.

Таблиця 3.3. Виробники спеченої магнезії у країнах ЄС-27

Країна	Кількість виробників	Кількість заводів
Греція	1	1
Іспанія	2	2
Австрія	2	5
Польща	1	1 <sup>(1)</sup>
Словаччина	3	5
Усього	9	14

<sup>(1)</sup> Припущення  
*Джерело:* [109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TRF «Цемент, вапно та оксид магнезії», 2007]

У Таблиці 3.4 наведено об'єми видобування необпаленого магнезиту з шахт та виробництва магнезії за сухим технологічним методом у країнах ЄС-25 у 2003 році. Понад 98 % видобутого магнезиту використовується для виробництва різної магнезійної продукції – НОМ, ККМ та ПМ.

Таблиця 3.4. Виробництво магнезиту та магнезії за сухим технологічним методом у ЄС-25 в 2003 році

Країна	Виробництво магнезиту <sup>(1)</sup> у 2003 році (т)	Потужність виробництва магнезії у 2003 році (т)		
		Намертво обпалена магнезія (НОМ)	Каустична кальцинована магнезія (ККМ)	Плавлена магнезія (ПМ)
ЄС-25	2 398 574			
Греція	549 049	84 635	92 350	
Іспанія	468 900	60 000	150 000	
Австрія	766 525			6 000
Польща	33 000			
Словаччина	900 000			

<sup>(1)</sup> Видобута необпалена руда – сировина для виробництва оксиду магнезії  
*Джерело:* [109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, TRF «Цемент, вапно та оксид магнезії», 2007]

Необпаленим магнезитом торгують лише незначною мірою. Його спеціальні сорти використовуються у кераміці та сталеливарній промисловості, а також у якості джерела магнезії для виробництва інших сполук магнезії. У 2003 році на ці ринки припадало близько 2 % відповідного об'єму виробництва магнезиту [109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].

### 3.1.2.1 Типи продукції з оксиду магнезії (магнезії)

#### 3.1.2.1.1 Магнезія

Магнезія – це хімічно чистий оксид магнезії (MgO), також відомий як «периклаз». Температура плавлення магнезії – близько 2 800 °С. Саме через таку високу температуру плавлення магнезія є найпопулярнішою сировиною для виробництва вогнетривкої продукції, що використовується в високотемпературних процесах у сталеливарній, цементній, вапняній, скляній галузях та у кольоровій металургії.

Магнезія може виготовлятися і модифікуватися в таких формах:

- спечена, або намертво обпалена магнезія (НОМ);
- каустична кальцинована магнезія (каустик, ККМ);
- плавлена магнезія (ПМ).

Відмінності між цими типами магнезійної продукції полягають у їх фізико-хімічних характеристиках. Різні сорти виготовленої магнезії характеризуються хімічною чистотою. Залежно від походження, магнезія загалом містить оксид магнезії ( $MgO$ ) у кількості 55 – 98 %. Найважливішими домішками, які в ній зустрічаються, є  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$  та  $Al_2O_3$ . Ці домішки впливають на якість магнезійного продукту. У готовій каустичній кальцинованій магнезії залишається значна кількість  $CO_2$  [67, Австрія, 2006],[109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники  $MgO$ , 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].

### 3.1.2.1.1.1 Спечена, або намертво обпалена магнезія (НОМ)

Спечена магнезія ( $MgO$  = намертво обпалена магнезія: НОМ) виготовляється у процесі обпалювання до спеченого стану в діапазонах температур 1 600 – 2 200 °С. Різні її типи характеризуються вмістом вапна у сировині, який варіюється в діапазоні < 2 – 35 %, та вмісту  $SiO_2$ , який загалом повинен бути низьким. Продукт спеціального призначення також повинен містити мало заліза. Для цього продукту властива кубічна кристалічна структура з уявною густиною, як правило, у діапазоні 3,05 – 3,45 г/см<sup>3</sup> та розмірами кристалів у діапазоні 30 – 200 мкм. Спечена, або намертво обпалена магнезія, виготовляється у вигляді зерен або брикетів.

### 3.1.2.1.1.2 Каустична кальцинована магнезія (ККМ)

Каустична кальцинована магнезія ( $MgO$  = каустична кальцинована магнезія: ККМ) – це частково розкислена магнезія або кальцинований  $Mg(OH)_2$ , у якому зберігається початкова кристалічна модифікація: наприклад, кристалічна структура початкової речовини зберігається у ході кальцинування за температур розкладання від 600 до 800 °С, а точки утримання  $CO_2$  вільні (проміжки у системі кристалічної структури). Внаслідок цього ККМ має велику питому площу поверхні, а тому демонструє високу реакційну здатність у порівнянні з НОМ чи ПМ. ККМ зазвичай має вигляд сипкого матеріалу – це може бути порошок (дрібнодисперсний, пористий) або грудковий матеріал у вигляді дуже пухких грудок. Для виробництва різних сортів ККМ застосовується кальцинування за температур аж до 1 300 °С.

### 3.1.2.1.1.3 Плавлена магнезія (ПМ)

Плавлена магнезія виготовляється за допомогою процесу плавлення в дуговій електропечі за температури 2 800 °С. Відмінність між спеченою та павленою магнезією полягає, з одного боку, в уявній густині (плавлена магнезія має більшу густину, ніж спечена магнезія – в межах 3,43 – 3,54 г/см<sup>3</sup>), а з іншого боку, у розмірі кристалів, який варіюється від 200 до 2 000 мкм. Плавлена магнезія використовується як вогнетривкий матеріал, а також у деяких особливих випадках, як-от у ядерних реакторах. У Європі плавлена магнезія виготовляється в дуже невеликих кількостях. Тому виробництво павленої магнезії не описується детально в цьому документі.

## 3.1.3 Використання магнезії

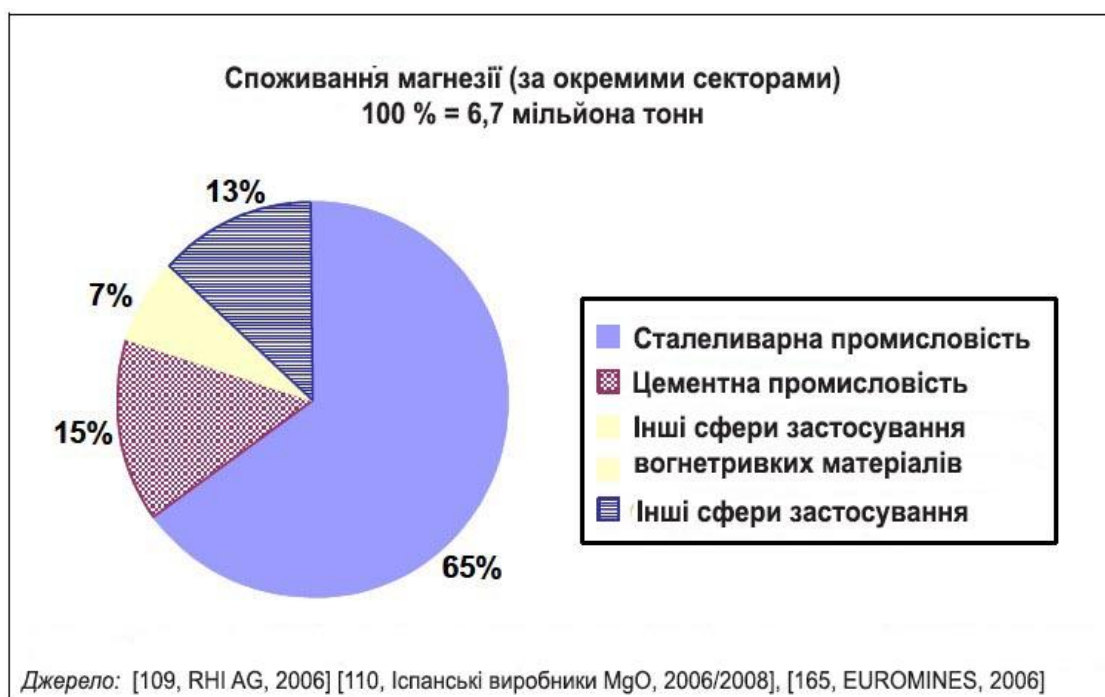
Спечена, або намертво обпалена, магнезія використовується головним чином у вогнетривкій промисловості. Вогнетривка продукція на основі магнезії застосовується, наприклад, у таких сферах:

- у сталеливарній промисловості – наприклад, у дугових електропечах, основних кисневих конвертерах чи інших печах, у сталеплавильних конвертерах, для транспортування гарячого металу та в механічному обладнанні;
- у цементній промисловості – наприклад, на завантажувальних отворах підігрівачів, цементних печей та холодильників;
- у різних галузях кольорової металургії – наприклад, у печах;
- у вапняній промисловості – наприклад, на завантажувальних отворах печей випалу вапна;
- у скляній промисловості – наприклад, у плавильних печах та камерах регенераторів.

Каустична кальцинована магнезія може застосовуватися головним чином:

- у сільському господарстві, як корм або добриво;
- у сталеливарній промисловості, як засіб для кондиціонування шлаку;
- у будівництві, як настил підлоги та ізоляція;
- у виробництві целюлози, паперу, хімічних речовин, лікарських засобів, вогнезахисних матеріалів та матеріалів для прибирання;
- у галузі захисту навколишнього середовища.

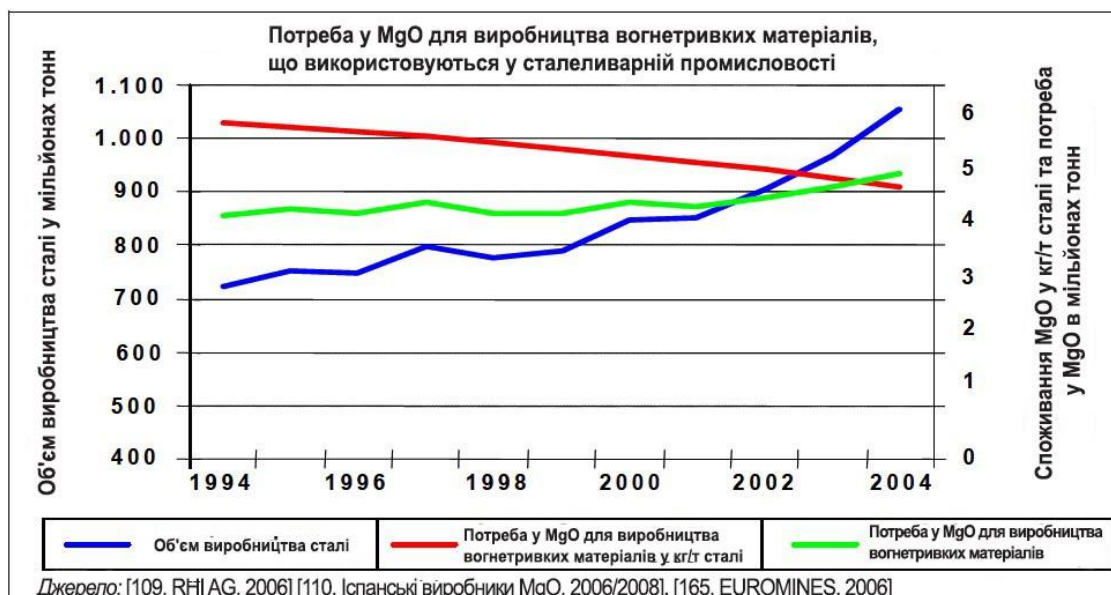
На Рисунку 3.4 показано споживання магнезії за окремими секторами у різних галузях промисловості, у тому числі в галузі виробництва синтетичної магнезії, на основі світового об'єму виробництва у 2003 році, що становив 6,7 мільйона тонн. Магнезія використовується головним чином для виробництва вогнетривкої продукції. 65 % магнезії, що використовується у вогнетривких матеріалах, виготовляється для використання у сталеливарній промисловості, 15 % – для цементної промисловості, 7 % виготовленої магнезії використовується в інших сферах застосування вогнетривких матеріалів, як-от у галузях кольорової металургії або у скляній промисловості, і, нарешті, 13 % загального об'єму виробництва використовується в інших сферах застосування. Ці інші сфери застосування дуже різноманітні (всього відомо 80 сфер застосування), і в більшості з них використовується ККМ. Основні сфери застосування – у сільському господарстві в якості корму чи добрива, у будівництві в якості настилу підлоги чи ізоляції, у виробництві целюлози, паперу, хімічних речовин, лікарських засобів, вогнезахисних матеріалів та матеріалів для прибирання, а також у сфері захисту навколишнього середовища.



**Рисунок 3.4.** Споживання магнезії за секторами у 2003 році по всьому світу

Статистика/оцінки, які б показували розподіл та використання природної магнезії, відсутні. Проте можна припустити, що вони не надто відрізняються від тих же даних для синтетичної магнезії.

Питоме використання вогнетривкої продукції, що містить магнезію, по всьому світу зменшується, проте світове виробництво сталі зростає, а отже, у глобальній перспективі попит на вогнетривку продукцію, що містить магнезію, і далі невпинно збільшується, як видно з Рисунка 3.5. На цьому рисунку також врахована магнезія (MgO), що використовується для шлакування (10 % загального споживання MgO).



**Рисунок 3.5. Світова потреба у магnezії для виробництва вогнетривких матеріалів, що використовуються у сталеливарній промисловості**

У 1994 році світовий об'єм виробництва необробленої сталі складав близько 700 мільйонів тонн, а у 2005 році потужність виробництва сталі перевищувала 1 000 мільйонів тонн. У той же період питома потреба у магnezії постійно знижувалася (-24 % з 1994 по 2004 рік) від приблизно 5 до 4,2 кг/т сталі. Проте з глобальної точки зору, з урахуванням зростання виробництва сталі по всьому світу видно, що потреба у магnezії, а також у магnezиті, неспинно зростає. Одночасно зі збільшенням споживання магnezії у сталевій промисловості виробництво магnezиту також зросло з 9,4 (1994) до 12,5 (2003) мільйонів тонн на рік, як також видно з Рисунка 3.2 [67, Австрія, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].



## 3.2 Технологічні процеси та технології, що застосовуються

### 3.2.1 Сировина та її підготовка

Найважливішою сировиною для виробництва магнезійної продукції (НОМ, ККМ, ПМ) є:

- магнезит (карбонат магнію) =  $MgCO_3$  (сухий технологічний процес);
- брусит (гідроксид магнію) =  $Mg(OH)_2$  (сухий технологічний процес);
- бішофіт (хлорид магнію) =  $MgCl_2 \cdot 6 H_2O$  (мокрый технологічний процес);
- морська вода та доломіт (мокрый технологічний процес).

У цьому документі розглядається лише сухий технологічний метод виробництва намертво обпаленої магнезії з магнезиту, оскільки гідроксид магнію (брусит) відіграє лише незначну роль. Процес виробництва, що базується на мокрому технологічному методі з використанням хлориду магнію, не розглядається в цьому документі. Детальніша інформація про мокрий технологічний метод міститься у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S), у якому описаний цей технологічний процес виробництва оксиду магнію [108, Європейська комісія, 2006].

Сировина видобувається з відкритих кар'єрів та підземних шахт і зазнає первинного подрібнення та попередньої переробки під час видобування. Для підготовки сировини використовуються стандартні обробні агрегати, такі як дробильні, роздільноувальні або помельні та просіювальні установки. Залежно від характеру породи – наприклад, твердості – використовуються різні типи первинних та вторинних дробарок. Проте камені не повинні бути надто дрібними, і в результаті має утворюватися лише невелика кількість дрібних фракцій.

Для підготовки магнезиту іноді використовується підготовка важкого шламу. Сировина іноді промивається для видалення домішок. Крім того, для операцій магнітної підготовки використовуються сепаратори з постійними магнітами.

Спечена, або намертво обпалена, магнезія зазвичай розмелюється, роздільнюється і певною мірою обробляється магнітним способом після процесу обпалювання. Каустична кальцинована магнезія часто роздільнюється після процесу обпалювання – після цього вона стає готовим продуктом. У процесі роздільнення можна використовувати різні типи механічного обладнання – наприклад, кульові млини, валкові млини, вібраційні млини та подрібнювальні валки високого тиску. Для виробництва брикетів каустичної магнезії зазвичай використовуються брикетувальні преси.

Процес видобування також не розглядається в цьому документі. Корисна інформація про видобуток у шахтах/кар'єрах наведена у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для утилізації хвостів та відвалів у гірничодобувній діяльності [47, Європейська комісія, 2004].

#### 3.2.1.1 Магнезит

Термін «магнезит» означає природний карбонат магнію ( $MgCO_3$ ). Магнезит частково отримують з гірських порід: він найчастіше зустрічається разом з доломітом і утворює поклади, які зазвичай дуже старі (> 400 мільйонів років). У Європі магнезит зустрічається в багатьох місцях; проте покладів, які мають промислову цінність, та самих виробників дуже мало. Один із найбільших відомих покладів знаходиться у зоні грауваки (у «грауваковій формації») в Альпах. Загалом розрізняють два типи магнезиту, які відрізняються один від одного головним чином за вмістом заліза, а саме:

- шпатовий магнезит (типу «Файч» (Veitsch), багатий на залізо – з вмістом заліза 4 – 6 %);
- гелевий магнезит (типу «Краубат» (Kraubath), з низьким вмістом заліза < 0,5 %).

Для шпатового магнезиту характерні кристалічні або поверхнево-кристалічні формації (макрористалічного типу), а вміст заліза в ньому зазвичай високий. Вміст  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  зазвичай варіюється від 5 до 8 %. Формація зазвичай метасоматична – це означає, що один мінерал був замінений іншим без плавлення, а хімічний склад змінювався за рахунок взаємодії між рідинами. Значні поклади зустрічаються в Австрії, Словаччина, Північній Кореї, Бразилії, в азійських частинах країн СНД та в Китаї, де частина сировини також бідна на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Гелевий магнезит не має макроскопічної структури (матеріал мікрористалічного чи прихованокристалічного типу). Його формація утворена в результаті змін у багатих на магній породах (переважно у серпентині). Вміст заліза у ньому дуже низький – менше 1 %. Значні поклади зустрічаються в Туреччині, Греції та Австралії.

### 3.2.2 Види палива

У 2007 році в процесі обпалювання використовувалися різні типи палива, головним чином:

- природний газ;
- нафтовий кокс (нафтококс);
- важкий мазут.

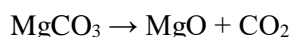
Проте, залежно від доступності та економічних питань, також використовуються й інші види палива, такі як антрацит або вугілля. Існує тісна залежність між ККД процесу та ціною нафтового коксу (також див. розділ 3.4.5 та Рисунок 3.13). Проте через високу потребу в енергії та високі температури, необхідні для процесу виробництва, у деяких випадках необхідно додавати інші горючі матеріали.

У процес згорання зазвичай додається повітря. У випадках, коли у процесі спікання чи обпалювання намертво потрібні високі температури, повітря, що подається для забезпечення горіння, можна збагачувати технічно чистим киснем.

У 2007 році відходи не використовувалися у якості палива, оскільки вони вносять домішки, які потім потрапляють у продукт або у відхідні гази. Більшість продуктів повинні бути чистими та однорідними, без жодних домішок. Використання відходів може несприятливо позначитися на якості продукту: такого впливу слід уникати, оскільки при цьому погіршуються вогнетривкі властивості спеченої чи намертво обпаленої магнезії, яка буде використовуватися для виробництва вогнетривкої цегли. Проте на майбутнє, завдяки появі нових технологій сумісного спалювання відходів та з огляду на деяку магнезіальну продукцію, у галузі виробництва оксиду магнію розглядається можливість використання різних типів відходів, наприклад, пластмас чи деревини. Загальні міркування та міркування щодо контролю якості при використанні відходів у цьому контексті як у цементному, так і у вапняному секторах промисловості наведені відповідно у розділах 1.2.4 та 2.2.5 цього документа.

### 3.2.3 Загальний опис процесу виробництва магнезії з магнезиту (природної спеченої / намертво обпаленої магнезії)

Магнезія виготовляється шляхом обпалювання обробленої і підготовленої природної кам'яної сировини у багатоподових печах (БПП), шахтних печах чи обертових печах спікання. Відповідну хімічну реакцію можна записати так:



Ця хімічна реакція ендотермічна, потребує високої температури обпалювання і дуже енергоємна. Вона потребує підведення великої кількості енергії ( $\Delta H = + 113$  кДж/моль  $\text{MgO}$ ). Процес розпочинається за температури близько  $550 - 800$  °С, за якої магнезит розкислюється, і вивільняється вуглекислий газ. Продуктом цієї реакції є каустична кальцинована магнезія (ККМ) – так званий «каустик». На наступному етапі технологічного процесу ККМ зазнає додаткової теплової обробки (обпалювання – одноступеневого чи двоступеневого) за температур від  $1\ 600$  до  $2\ 200$  °С, перетворюючись у спечену чи намертво обпалену магнезію.

Температури, а також тривалість обробки, є вирішальними керівними чинниками для отримання добре кристалізованого продукту, здатного ущільнюватися до високої густини. У цьому процесі кристалічна система магнезиту (тригональна) перетворюється на кубічну структуру, і досягається значне збільшення густини.

Схема технологічного процесу для природного шляху виробництва різних типів магнезії зображена на Рисунку 3.6.

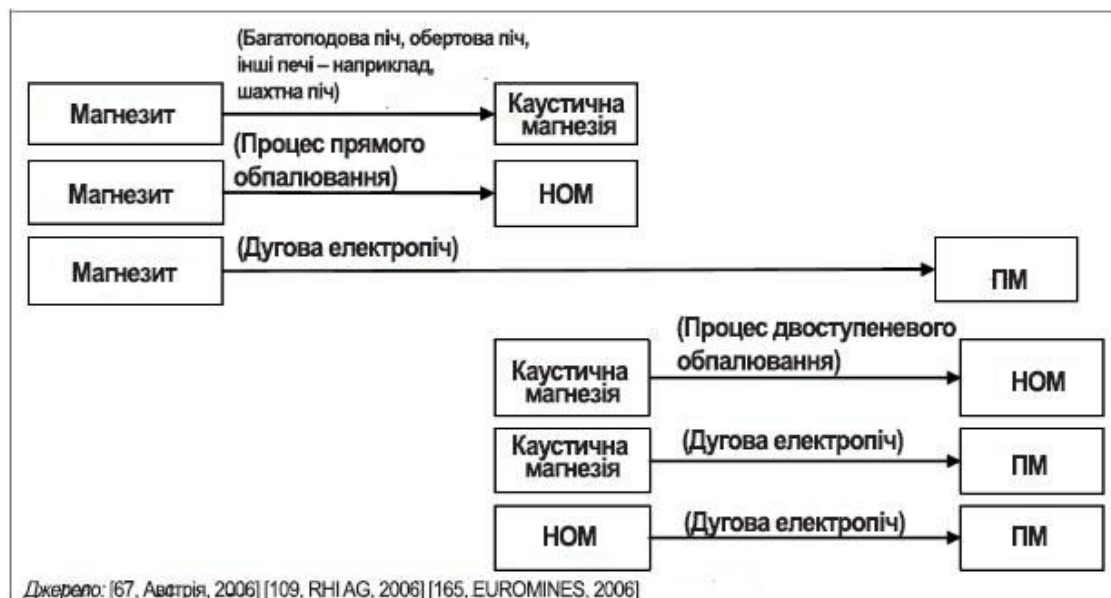


Рисунок 3.6. Схема технологічного процесу для природного шляху виробництва магнезії

### 3.2.3.1 Процеси обпалювання

#### 3.2.3.1.1 Процес прямого обпалювання (одноступеневе обпалювання)

Необпалений магнезит обпалюється до перетворення у спечений чи намертво обпалений магнезит за один цикл у шахтних печах чи обертових печах спікання. Перевагою цього процесу є низька потреба в енергії у порівнянні з двоступеневим процесом нагрівання. Проте якість спеченого продукту залежить від сировини, і її не можна змінити шляхом додавання різних матеріалів, таких як, наприклад, діоксид цирконію чи оксид хрому.

Сировина для першого процесу зазвичай аналізується партіями, а потім сортується і зберігається окремо за категоріями якості. Циклічне завантаження матеріалу в піч здійснюється шляхом змішування сировини різних категорій якості. Далі ця сировинна суміш обпалюється в шахтній печі чи обертовій печі спікання за температур від 1 450 та 2 200 °С. Продуктом цього обпалювання є так званий «необроблений спечений матеріал». Після такого процесу обпалювання цю необроблену спечену магнезію можна додатково обробити і очистити.

##### 3.2.3.1.1.1 Підготовка «необробленого спеченого матеріалу»

У більшості випадків «необроблений спечений матеріал» необхідно підготувати та очистити. Підготовка та очищення магнезії з високим вмістом заліза здійснюється у два етапи:

- дроблення та роздрібнення (сортування за густиною, за кольором, флотація; очищення перед процесом обпалювання в печі);
- магнітна підготовка (очищення після процесу обпалювання в печі).

Нарешті, охолоджений необроблений спечений матеріал можна обробляти магнітним способом за температури навколишнього середовища. Характеристикою, за якою здійснюється сортування, є вміст вапна у спеченому матеріалі.

Якщо зі спеченого матеріалу будуть виготовлятися формовані вогнетривкі вироби (цегла), він повинен містити мало вапна. Магнітне розділення здійснюється за допомогою сепаратора з постійним магнітом або електромагнітного сепаратора. Мінеральною фазою, що слугує носієм намагнічування, є ферит магnezії ( $MgFe_2O_4$ ), що утворюється при охолодження магnezії з 1 200 до 900 °С.

Визначальний принцип цього процесу такий: чим швидше протікає процес охолодження, тим більше фериту магнію утворюється. Таким чином, процес магнітної підготовки стає ефективнішим, тобто чим більше фериту магnezії є в матеріалі, тим краще, і тим ефективніший процес магнітної підготовки.

Фізичний критерій полягає в тому, що у матеріалі з низьким вмістом СаО утворюється більше фериту магnezії, ніж у матеріалі з високим вмістом СаО. Розділення здійснюється за відносною часткою фериту магnezії. Таким чином, частки з низьким вмістом СаО сильніше намагнічуються і краще прилипають до магнітного барабана, ніж частки з високим вмістом СаО.

У результаті цієї магнітної підготовки спеченого матеріалу отримують такі продукти:

- спечена магnezія з низьким вмістом СаО (магnezія з високим вмістом фериту і хорошими магнітними властивостями) та
- спечена магnezія з високим вмістом СаО (магnezія з низьким вмістом фериту і поганими магнітними властивостями).

Вихід продукту дуже різниться залежно від необробленого спеченого матеріалу, завантаженого в систему, та положення сепаратора на вивантажувальному кінці барабана.

На Рисунку 3.7 зображено приклад схеми технологічного процесу виробництва магnezії сухим технологічним методом.

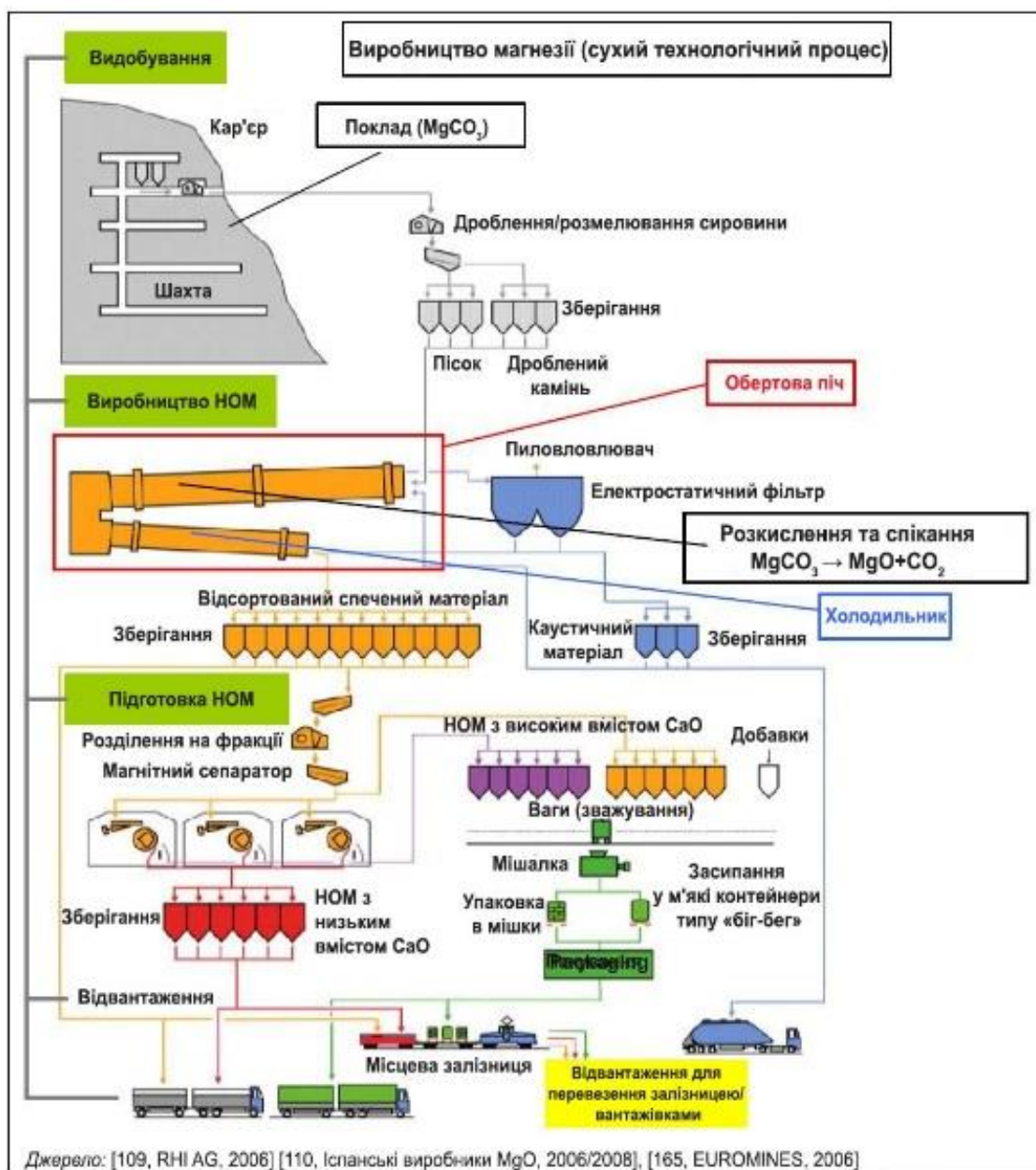


Рисунок 3.7. Приклад схеми технологічного процесу виробництва магnezії сухим технологічним методом на заводі з виробництва НОМ

### 3.2.3.1.2 Процес двоступеневого обпалювання

На першому етапі цього процесу можна використовувати різні агрегати та типи печей, як-от печі з перекривним шаром, шахтні печі чи обертові печі спікання, багатоподові печі (БПП) та спеціально сконструйовані типи печей для виробництва каустичної кальцинованої магnezії (ККМ).

Необпалений магnezит спочатку розкислюється у печі за температур до  $1\ 000\ ^\circ C$ . Після цього каустичний кальцинований матеріал (ККМ) можна розмолоти. Помел дуже важливе для отримання НОМ з великою густиною. Цей помелений матеріал формується у брикети, які далі обпалюються в обертовій чи шахтній печі, перетворюючись у спечену / намертво обпалену магnezію (НОМ).

На відміну від процесу одноступеневого обпалювання, на характеристики спеченого матеріалу, тобто розмір кристалів та густину необробленого продукту, можна суттєво вплинути шляхом додавання різних матеріалів – так званих «присадок» – таких як, наприклад, оксид хрому чи оксид цирконію.

### 3.2.3.2 Типи печей – технології та конструкція

Різні типи мінеральних покладів тією чи іншою мірою диктують потребу в різноманітних методах виробництва. Слід зазначити, що не існує стандартної пічної установки для виробництва магнезії з магнезиту (за допомогою природного процесу). Крім того, не існує також стандартизації технологічних процесів та технологій. Проте для виробництва магнезії використовується широкий спектр технологічних процесів, технологій та печей.

Тип печі, який потрібно використовувати, визначається різними параметрами, такими як:

- характеристики магнезиту, доступного на майданчику;
- тип продукту, який виготовляється (спечена магнезія, плавлена магнезія, каустична магнезія);
- якість та характеристики продукту, наприклад, густина, чистота, розмір кристалів);
- ціна та/або доступність видів палива, що використовуються.

Тип печі дуже часто розрахований спеціально на конкретний різновид сировини та виробничі потужності, а якість продукту дуже залежить від типу печі та типу технологічного процесу. Можуть використовуватися різні типи печей, проте найбільш поширеними є обертові або шахтні печі. Для одноступеневої теплової обробки спеченої магнезії використовуються шахтні печі чи обертові печі спікання (довгі обертові печі, печі Леполя). Якщо для виробництва спеченої магнезії застосовується двоступеневий процес, для першого ступеня використовуються ті ж типи печей, що й для виробництва чистого каустичного продукту, як-от шахтні печі чи обертові печі спікання. Для наступного процесу спікання використовуються шахтні або обертові печі. Для виробництва каустичної магнезії використовуються обертові печі з перекривним шаром та спеціально сконструйовані типи печей. Для виробництва пвленої магнезії використовуються дугові електropечі. Ці пічні установки (крім дугових електричних печей та спеціально сконструйованих типів печей) працюють за принципом зустрічного потоку для забезпечення високих рівнів енергоефективності.

У шахтних печах зазвичай можна використовувати грубо дроблений камінь з розмірами зерен понад 50 мм або брикети ККМ. Дрібнозернистий магнезит обпалюється в обертових печах або каустизується, формується у брикети і обпалюється в шахтних чи обертових печах або викидається, як показано на Рисунку 3.8.

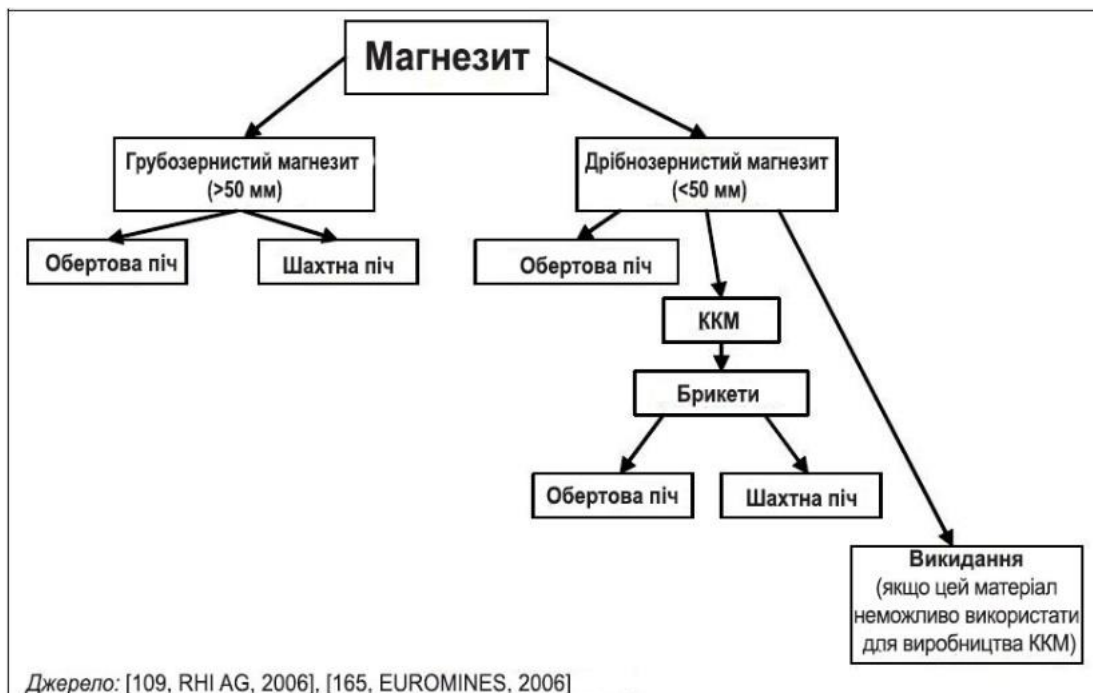


Рисунок 3.8. Шлях грубозернистого та дрібнозернистого магнезиту у виробництві магнезії

### 3.2.3.2.1 Обертові печі

#### 3.2.3.2.1.1 Обертові печі з підігрівачем

У обертових печах з підігрівачем (печах Леполя) сировина подається у зону завантаження та підігрівання печі через підігрівальну решітку. Сировина спочатку підігривається і частково розкислюється гарячими відхідними газами за принципом зустрічного потоку. Частково розкислений магнезит надходить у піч, де розкислення завершується перед зоною обпалювання печі. На етапі підігрівання частки сировини у вигляді дрібнозернистого каустичного MgO падають крізь решітку Леполя, а потім подаються безпосередньо в зону обпалювання печі. У зоні обпалювання матеріали спікаються за температур від 1 600 до 2 200 °С. Час циклу печі складає від 8 до 16 годин. Для подальшої обробки спечений матеріал охолоджується до 200 °С в охолоджувальній зоні печі. Принцип роботи обертової печі з підігрівачем, що використовується для виробництва магнезії за сухим методом, зображений на Рисунку 3.9. Обертові печі з підігрівачем, що використовуються у виробництві спеченої / намертво обпаленої магнезії (НОМ) мають довжину від 60 до 80 м та діаметр від 2 до 4 м [67, Австрія, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [109, RHI AG, 2006], [165, EUROMINES, 2006].

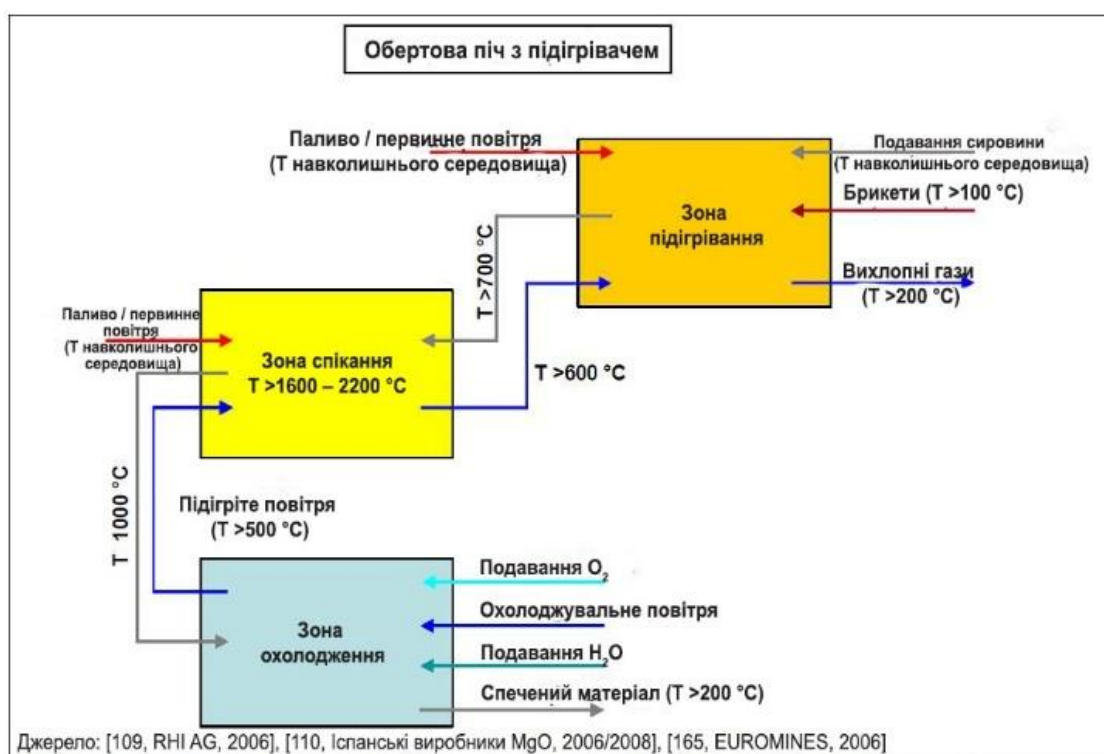


Рисунок 3.9. Принцип роботи обертових печей з підігрівачем, що використовуються у виробництві магнезії

#### 3.2.3.2.1.2 Довгі обертові печі

У довгих обертових печах підігрівання, розкислення та спікання здійснюються повністю всередині печі. Великою мірою саме тому печі цього типу значно довші, ніж обертові печі з підігрівачем. Довгі обертові печі, що використовуються для виробництва НОМ, мають довжину від 80 до 120 м та діаметр від 2 до 4 м.

За рахунок того, що піч обертається і нахилена у горизонтальному напрямку, матеріал у печі переміщається в зону спікання; при цьому він підігривається та розкислюється завдяки температурному профілю відхідних газів, перш ніж досягає зони спікання.

Процес спікання протікає у зоні спікання довгої обертової печі за температур від 1 600 до 2 200 °С: у ході цього процесу магнезійний матеріал, що спікається, набуває необхідної густини. На виході з печі продукт передається в охолоджувальну трубу. Охолодження здійснюється за рахунок потоку вторинного повітря, яке всмоктується за принципом зустрічного потоку. Після цього підігріте повітря з холодильника повторно використовується у якості повітря для забезпечення горіння. На Рисунок 3.10 показаний принцип роботи довгої обертової печі спікання, що використовується для виробництва магнезії за сухим методом.

Охолоджений спечений продукт транспортується на транспортному конвеєрі для подальшої обробки.

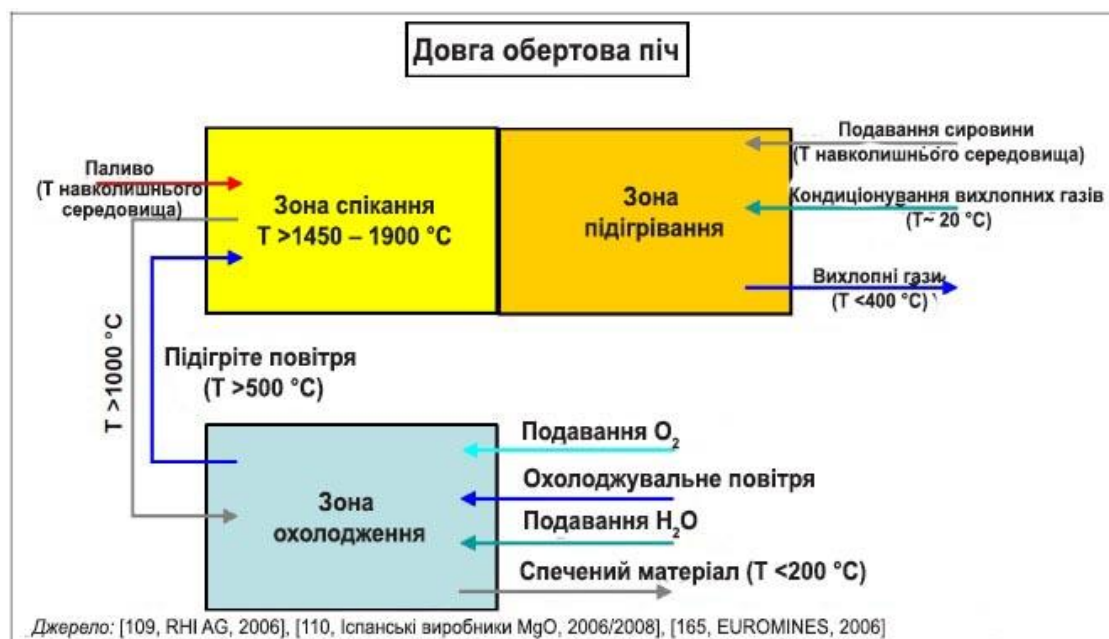


Рисунок 3.10. Принцип роботи довгих обертових печей, що використовуються у виробництві магнезії

### 3.2.3.2.2 Шахтні печі

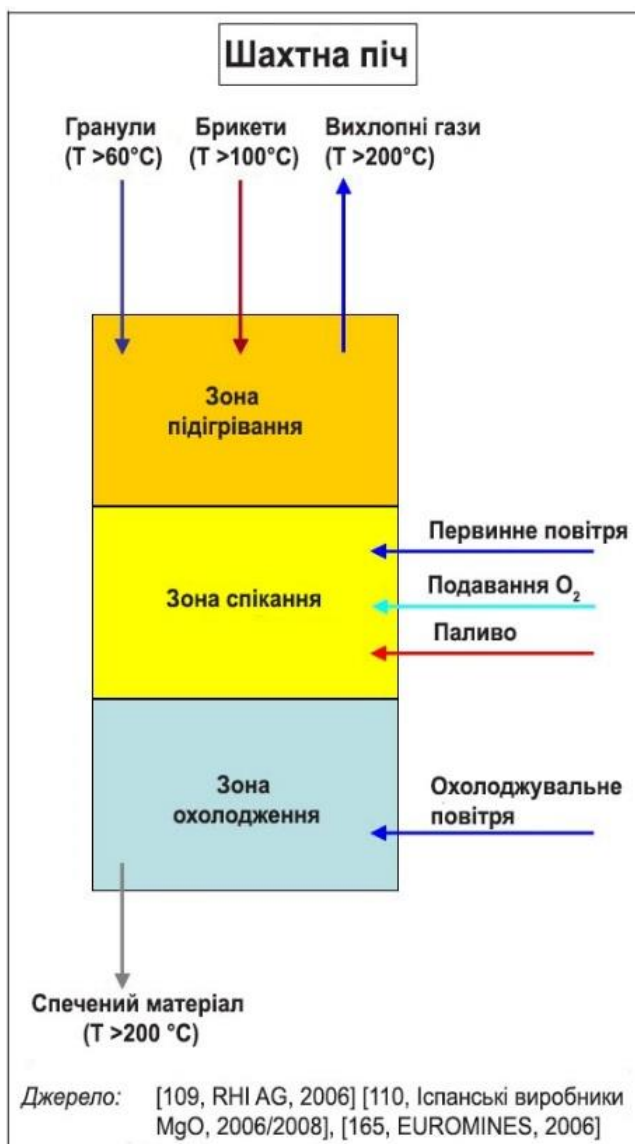
Для виробництва магнезії можуть використовуватися різні типи шахтних печей.

#### 3.2.3.2.2.1 Шахтні печі з обертовою пластиною

Дрібно помелена сировина для виробництва вогнетривких матеріалів, підготовлена у вигляді заданих сумішей, поміщається в обертовий гранулювальний барабан, де з неї формуються гранули (Ø 20 – 30 мм) шляхом додавання води. Гранули висушуються у ході безперервного виробничого процесу, а потім обпалюються у шахтній печі за температур близько 1 750 °С. Спечений продукт вивантажується через обертову пластину і зберігається у проміжному сховищі до подальшої обробки. Принцип роботи шахтної печі, що використовується у виробництві магнезії, показаний на Рисунок 3.11.

За допомогою цього процесу також можна обпалювати природну магнезитову породу з розміром фракцій від 20 до 200 мм.





**Рисунок 3.11. Принцип роботи шахтних печей, що використовуються у виробництві магnezії**

#### 3.2.3.2.2 Шахтні печі з обертовим колосником

За допомогою шахтних печей цього типу виготовляється спеціальний тип брикетів. Ці брикети складаються з каустизованого магнезиту та хромової руди і пресуються у процесі брикетування на валковому пресі з додаванням води у якості в'язучої речовини. Для досягнення потрібної якості спікання у печах цього типу застосовуються температури у 2 200 °C. Крім того, для цього необхідно інтенсивно вдувати збагачене киснем повітря, що забезпечує горіння. У печі компактний стовп матеріалу транспортується за допомогою обертового вивантажувального пристрою, а потім вивантажується з печі.

Спечений продукт дрібно розмелюється і просівається перед подальшою переробкою у вогнетривку продукцію.

#### 3.2.3.2.2.3 Двошахтна піч

У разі використання цього типу печі необпалений магнезит поміщається у верхню частину печі – так звану «підігрівальну шахту», – де необпалений магнезит підігрівается і розкислюється. Після зони підігрівання шахта розділяється на дві секції – вони називаються подвійною шахтою – де протікають процеси спікання та охолодження. Після проходження крізь зону підігрівання необпалений магнезит спікається за температур 1 600 – 2 200 °C. У зонах охолодження внизу двошахтної печі спечений магнезальний продукт охолоджується до температур менше 200 °C за допомогою охолоджувального повітря.

Після цього охолоджений спечений магнезіальний продукт вивантажується з печі. На Рисунок 3.12 показано принцип роботи двошахтної печі, що використовується у виробництві магнезії.

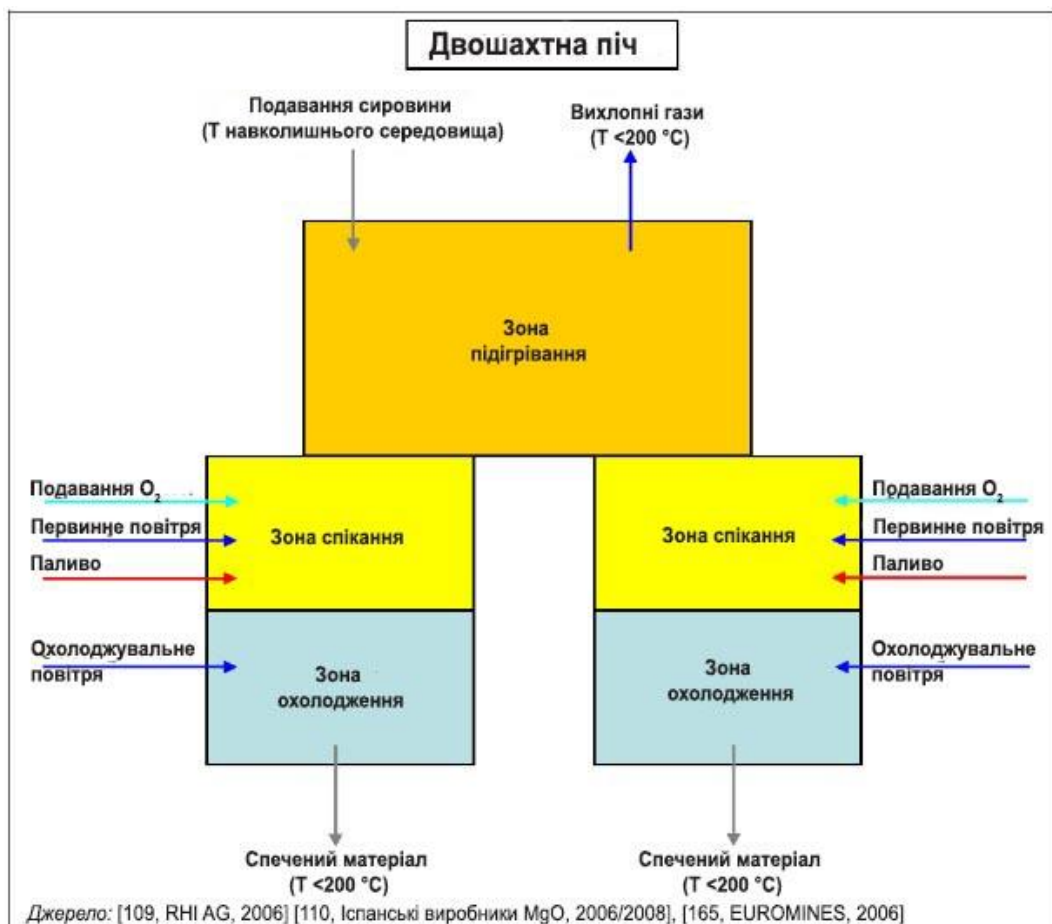


Рисунок 3.12. Принцип роботи двошахтних печей, що використовуються у виробництві магнезії

### 3.2.4 Виробництво павленої магнезії

Плавлена магнезія виготовляється у спеціальних дугових електропечах періодичної дії. Така піч, по суті, є вагонеткою-платформою, на якій розташований розвантажувальний патрубок печі (усічений конус).

Сировина плавиться всередині цього розвантажувального патрубку під дією електричної дуги, яка горить між двома графітовими електродами. Процес плавлення протікає по вертикалі зверху донизу. Під час процесу плавлення сировина завантажується в піч порціями через верхню частину печі. Лиття не виконується. Плавлений матеріал залишається на вагонетці-платформі в усіченому конусі, де також протікає процес охолодження. Після плавлення вагонетка від'їжджає від електродів, і може початися наступний цикл. З одного блока продукту отримують приблизно 5 – 8 тонн павленої магнезії. У цьому технологічному процесі можна змішувати і використовувати в якості сировини необпалений камінь, каустичну кальциновану магнезію чи спечену / намертво обпалену магнезію. Слід зазначити, що під час процесу охолодження на краях (у кінці) матеріалу утворюються домішки, а хімічно найчистішою частиною є центр виплавленого блока продукту.

Після охолодження блок продукту перекидається, зменшується у розмірі шляхом шліфування і часто сортується вручну. Основною країною-виробником павленої магнезії є Китай. Проте у Європейському Союзі також є кілька місць, де виготовляють цей продукт, хоча й у дуже невеликих кількостях, і тому відомості про виробництво павленої магнезії не досліджуються в цьому документі [109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006].

### 3.3 Поточні рівні споживання ресурсів та викидів

Основними проблемами захисту навколишнього середовища у виробництві різних типів магнезії є споживання енергії та викиди у повітря. Головним споживачем енергії та основним джерелом викидів є процес обпалювання магнезії. Суттєвим також може бути вплив процесу вторинного помелу, а також допоміжних операцій (таких як дроблення, просіювання, транспортування, зберігання та вивантаження).

Слід зазначити, що, якщо в даному документі не зазначено інше, стандартні умови вимірювання об'ємних витрат та концентрацій у контексті цього розділу, присвяченого галузі виробництва оксиду магнію, базуються на таких визначеннях, котрі також наведені у «Словнику термінів»:

м <sup>3</sup> /год.	об'ємна витрата: якщо у цьому документі не зазначено інше, об'ємна витрата вказана для об'ємної частки кисню 10 % та стандартного стану
мг/м <sup>3</sup>	концентрація: якщо у цьому документі не зазначено інше, концентрації газоподібних речовин або сумішей речовин вказані для сухих димових газів з об'ємною часткою кисню 10% та у стандартному стані
стандартний стан	означає сухий газ з температурою 273 К і тиском 1 013 гПа.

Крім того, слід зазначити, що рівні викидів вказані для базового вмісту кисню 10 %, хоча фактичний вміст кисню у процесі випалювання набагато нижчий, ніж 10 %. Розрахункова формула для обчислення концентрацій викидів наведена нижче:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * E_M$$

$E_R$  (мг/м<sup>3</sup> н.у.): концентрація викидів у перерахунку на базовий вміст кисню  
 $O_R$   
 $O_R$  (об'ємні %): базовий рівень кисню  
 $E_M$  (мг/м<sup>3</sup> н.у.): концентрація викидів у перерахунку на вимірний вміст кисню  
 $O_M$   
 $O_M$  (об'ємні %): вимірний рівень кисню

Додаткова корисна інформація про моніторинг наведена у Довідковому документі щодо загальних принципів моніторингу (MON) [151, Європейська комісія, 2003].

#### 3.3.1 Споживання сировини (необробленого магнезиту) та води

За високих температур магнезит (MgCO<sub>3</sub>) термічно розкладається на магнезію (MgO) та вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>). Взнявши за основу молекулярну вагу магнезиту (84,31 г/моль), у результаті розкладання отримаємо такі кількості магнезії та вуглекислого газу, як наведено в Таблиці 3.5:

Таблиця 3.5. Кількість магнезії та вуглекислого газу після розкладання

Матеріал	Кількість			Загальна кількість (г/моль)
	Mg (г/моль)	C (г/моль)	O (г/моль)	
Магнезит (MgCO <sub>3</sub> )	24,31	12,01	48,00	84,31
Вуглекислий газ (CO <sub>2</sub> )	-	12,01	32,00	44,01
Магнезія (MgO)	24,31	-	16,00	40,30
Джерело:	[109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]			

Цей результат також можна виразити у відносних показниках – у вигляді частки матеріалів / складу магнезиту, як показано у Таблиці 3.6.

Таблиця 3.6. Вихід магнезії та вуглекислого газу з магнезиту

Матеріал	Частка у магнезиті (MgCO <sub>3</sub> ) (%)
Магнезія (MgO)	47,80
Вуглекислий газ (CO <sub>2</sub> )	52,20
Усього	100,00
Джерело: [109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]	

Під час розкладання 1 кг магнезиту в цьому технологічному процесі утворюється приблизно 522 г вуглекислого газу та 478 г магнезії. Це означає, що під час виробництва однієї тонни магнезії (MgO) в результаті розкладання карбонату утворюється 1,092 тонни вуглекислого газу. Проте це міркування теоретичне, оскільки магнезит містить різні домішки, такі як SiO<sub>2</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Слід зазначити, що для виробництва однієї тонни магнезії потрібно, як правило, від 2,1 до 2,4 тонн магнезиту, залежно від конкретної магнезитової руди, якості продукції, що виготовляється, та типу печі, що використовується [109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

#### Споживання води

Споживання технологічної води невелике, оскільки у цьому виробництві використовується мало води – наприклад, для промивання сировини (магнезиту) з метою запобігання потраплянню домішок, або для охолодження магнезійного продукту в зоні охолодження печі та для процесу розділення у важкій суспензії. Проте існують деякі операції, у яких використовуються системи промивання відхідних газів, і гази, які викидаються, промиваються водою. Вода потрібна у кількості близько 5 – 12 м<sup>3</sup>/т магнезійного продукту [109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

### 3.3.2 Споживання енергії

Виробництво магнезії (за сухим методом) енергоємне, оскільки магнезія – головним чином НОМ – виготовляється за дуже високих температур.

Магнезит (MgCO<sub>3</sub>) термічно розкладається на магнезію (MgO) та вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>). Цей процес екзотермічний з великим поглинанням енергії, і теоретична ентальпія цієї реакції становить 2 803 МДж/кг MgO. Магнезит починає розкладатися за температури 550 °С і закінчує за температури нижче 800 °С, якщо він містить значну кількість інших карбонатів.

У процесі обпалювання використовується природний газ, нафтовий кокс та мазут. У Таблиці 3.7 наведена потреба в паливі для виробництва однієї тонни спеченої магнезії за допомогою процесу прямого нагрівання. Більші значення, вказані в цій таблиці, – це кількість палива, потрібна для виробництва спеченої, чи намертво обпаленої, магнезії.

Таблиця 3.7. Потреба в паливі для виробництва однієї тонни магнезії (MgO)

Види палива	Мінімум	Максимум
Природний газ	176 м <sup>3</sup> н. у./т	310 м <sup>3</sup> н. у./т
Нафтовий кокс	240 кг/т	393 кг/т
Мазут	190 кг/т	330 кг/т
Джерело: [109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]		

Потреба в енергії для виробництва магнезії варіюється від 6 до 12 ГДж/т MgO і визначається різними факторами, такими як характеристики необпаленого магнезиту та вміст вологи в ньому (вологий чи дуже сухий).

Для досягнення дуже високої необхідної температури згорання у 2 000 °C також може використовуватися кисень. Потрібна кількість кисню – від 15 до 150 м<sup>3</sup> н. у./т спеченої магнезії. Слід зазначити, що у разі виробництва спеціальних типів спеченої магнезії – дуже високого рівня чистоти чи з великими розмірами кристалів – ці значення можуть бути значно вищими і досягати 150 м<sup>3</sup> н. у./т

Електроенергія використовується для роботи машинного обладнання – наприклад, для системи вентиляції, для процесу брикетування та для насосів. Електроенергія зазвичай купується у енергопостачальних компаній (державних енергосистем). Потреба в електроенергії може різнитися залежно від механічного обладнання, що використовується, і зазвичай знаходиться в межах від 75 до 180 кВт·год./т (270 – 648 МДж/т) спеченої магнезії. Для виробництва каустичної магнезії ці значення будуть такими ж.

Значно більше електроенергії, у діапазоні 3 500 – 4 500 кВт·год./т, потрібно для виробництва плавленої магнезії (у дугових електропечах). Проте у разі виробництва магнезії дуже чистого сорту потреба в енергії може бути вдвічі більшою або навіть ще вищою [109, RHI AG, 2006], [165, EUROMINES, 2006].

### 3.3.3 Викиди

Виготовлення оксиду магнію / магнезії за сухим технологічним методом супроводжується викидами у повітря, воду та землю (технологічні втрати / відходи), а також шумовим випромінюванням. У цьому розділі наведені діапазони викидів забруднюючих речовин у повітря для виробництва оксиду магнію / магнезії за сухим методом.

#### 3.3.3.1 Викиди у повітря

Значні викиди у повітря можуть виникати у процесі обпалювання – це можуть бути, наприклад, викиди пилу, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> та CO. Ці викиди частково утворюються з магнезиту, що використовується в якості сировини, а частково з палива, що використовується у процесі.

Внаслідок високих температур обпалювання в печі SO<sub>2</sub>, що утворюється з палива, зазвичай не захоплюється продуктом. Проте, якщо обпалювання в печі виконується за нижчих температур обпалювання, SO<sub>2</sub> лише частково абсорбується продуктом і захоплюється пилом, що утворюється у процесі обпалювання (див. розділ 3.4.7.3). Викиди SO<sub>2</sub>, що утворюються з сировини (магнезиту), залежать від вмісту сірки у сировині. Вони, в принципі, низькі завдяки низькому вмісту SO<sub>2</sub> у більшості видів сировини. Проте в деяких випадках викиди SO<sub>2</sub> з сировини можуть становити 50 % від загальних викидів SO<sub>2</sub>. Крім того, вміст сірки у сировині пов'язаний з розмірами часток чи зерен сировини. У Таблиці 3.8 наведені приклади залежності між розміром зерен та вмістом сірки у сировині.

Таблиця 3.8. Приклади залежності між розміром зерен та вмістом сірки у сировині

Розмір зерен сировини (мм)	Вміст сірки у сировині (%)
<1	0,04
0,02 – 1	0,19
<0,02	1,80
<i>Джерело:</i> [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]	

Порівняння різних джерел енергії за питомими витратами у євро/ГДж та вмістом сірки в цих видах палива наведено на Рисунку 3.13. Найбільше сірки містить нафтовий кокс, а за ним ідує кам'яне вугілля та антрацит.

Так звані «технологічні викиди CO<sub>2</sub>» утворюються внаслідок розкладання магнезиту (MgCO<sub>3</sub>) з утворенням магнезії (MgO): при цьому може утворюватися близько 1 т CO<sub>2</sub>/т магнезії. Крім того, викиди CO<sub>2</sub> також можуть утворюватися у процесі згорання палива –

наприклад, у разі використання природного газу або вугілля. Процес згорання палива вносить у загальні викиди CO<sub>2</sub> близько 0,4 – 1,3 т CO<sub>2</sub>/т спеченої магнезії.

Викиди у повітря мають місце не лише під час процесу обпалювання, а й на інших кроках виробничого процесу, таких як:

- зберігання та вантажні операції з сировиною, паливом чи продукцією – можуть виникати викиди пилу;
- процеси помелу та роздрібнення – можуть виникати викиди пилу.

Неорганізовані викиди пилу зазвичай утворюються в результаті зберігання та вантаження сировини та палива, а також внаслідок руху транспортних засобів, що використовуються на заводі. Викиди пилу, що виникають при пакуванні та відвантаженні магнезійної продукції також можуть бути суттєвими. Для мінімізації можливих джерел неорганізованого пилу рекомендується забезпечити просте та лінійне компонування майданчику, а також застосовувати відповідні організаційні методи [67, Австрія, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008] [165, EUROMINES, 2006].

У Таблиці 3.9 наведені значення різних викидів у повітря в результаті процесу спікання за типових об'ємних витрат відхідних газів від 4 000 до 12 000 м<sup>3</sup>/т спеченої магнезії. Слід зазначити, що не всі концентрації викидів, наведені у Таблиці 3.9, вказані для стандартних умов, оскільки для деяких даних не були вказані базові умови.

**Таблиця 3.9. Концентрації компонентів викидів, що виникають у галузі виробництва оксиду магнію у країнах ЄС-27**

Компонент викидів	Одиниця вимірювання	Середня концентрація <sup>(1)</sup>	Максимальна концентрація <sup>(2)</sup>
Пил	мг/м <sup>3</sup> н.у.	20 – 118	400
NO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	650 – 2 500 <sup>(5)</sup>	5 000 <sup>(5)</sup>
SO <sub>2</sub>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	10 <sup>(4)</sup> – 3 350 <sup>(3)</sup>	5 000 <sup>(3)</sup>
CO	мг/м <sup>3</sup> н.у.	33 – 1 000	1 323
CO <sub>2</sub>	г/м <sup>3</sup> н.у.	165 – 350	360

<sup>(1)</sup> Середня концентрація, досягнута за тривалий період спостережень, яка вимірювалася раз на рік протягом одного тижня  
<sup>(2)</sup> Короткочасні пікові значення  
<sup>(3)</sup> Вищі значення стосуються видів палива з високим вмістом сірки та установок, на яких реалізовані найменш дієві технології зниження викидів / реалізовано найменше таких технологій  
<sup>(4)</sup> Використання природного газу  
<sup>(5)</sup> Вищі значення вказані для високотемпературного процесу виробництва НОМ  
*Джерело:* [67, Австрія, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]

Залежно від типу палива, що використовується у процесі, до 50 % діоксиду сірки може утворюватися з палива (стосовно вмісту сірки у паливі також див. розділ 3.4.5 та Рисунок 3.13). У разі виробництва каустичної магнезії в обертовій печі регенерується близько 40 – 50 % діоксиду сірки, утвореного з палива, – головним чином з пилу, уловленого фільтрами. Повідомлялося, що вприскування реактивних сортів MgO у потік димових газів зменшує викиди SO<sub>2</sub> до менш ніж 1 500 мг/м<sup>3</sup> н. у. для початкового рівня SO<sub>2</sub> 3 000 мг/м<sup>3</sup> н. у. [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

### 3.3.3.2 Технологічні втрати / відходи

Технологічні втрати / відходи, що утворюються в результаті виробництва магнезії, – це різні типи пилу карбонату магнію, які відділяються в агрегатах очищення відпрацьованих газів, наприклад, у пилоосаджувачі. До цих типів пилу належить, наприклад, карбонат магнію, що містить у різних пропорціях каустичну кальциновану магнезію та спечену магнезію.

На етапі пакування утворюються відходи упаковки (пластик, дерево, метал, папір, тощо).

Деякі типи пилу можна переробити і повторно використати у технологічному процесі. Крім того, зібраний пил також можна використати для інших завдань захисту навколишнього середовища – наприклад, для очищення промислових стічних вод чи зв'язування металів при викиданні відходів на звалище. Технології, що використовуються для утилізації пилу та інших відходів на установках з оброблення відходів, варіюються від повторного використання у продукції, призначеній для реалізації на ринку, та переробки до викидання.

Промивальні рідини, що використовуються для мокрого промивання, проходять через ступінчастий процес осадження для відділення твердих матеріалів. Тверді матеріали, що утворюються в цьому процесі, зберігаються на проміжній ділянці зберігання для майбутнього використання у технологічному процесі, у той час як вода повторно використовується і подається назад у систему.

Шлам, що утворюється у процесі мокрого знесірчення димових газів (методами відстоювання та/або фільтрування; одна така установка існує в Австрії), можна повторно використати у технологічному процесі або в інших секторах промисловості.

### 3.3.3.3 Скиди у воду

Вода використовується на різних етапах технологічного процесу. Вода, що використовувалася для промивання сировини (магнезиту) та для процесу розділення у важкій суспензії, повторно використовується у технологічному процесі після зневоднення шламу та освітлення. Крім того, вода використовується для охолодження продукту у зоні охолодження в печі. Проте ця вода випаровується через високі температури технологічного процесу. Вода також використовується в деяких операціях систем промивання відхідних газів, у яких очищаються гази, що викидаються з печі.

У процесах виробництва магнезії за сухим технологічним методом не утворюється стічних вод. Що до процесу мокрого знесірчення димових газів (одна така установка існує в Австрії), то в них утворюються стічні води. Ці стічні води необхідно очистити методами відстоювання та/або фільтрування для відділення сульфітного/сульфатного шламу. Цей шлам можна повторно використати у технологічному процесі або в інших секторах промисловості.

### 3.3.3.4 Шум

Видобування та обробка сировини, а також виробництво магнезії, неминуче супроводжується шумними операціями. Великі і потужні машини та великі вентилятори під час роботи можуть створювати шумове та/або вібраційне випромінювання.

Для зниження шумового випромінювання можна використовувати природні шумові бар'єри, такі як адміністративні будівлі, стіни, дерева або кущі. Заводи повинні дотримуватися стандартів зниження шуму відповідно до національного законодавства.

### 3.3.4 Моніторинг

Для контролю пічних процесів рекомендується проводити безперервні вимірювання таких параметрів:

- температура;
- тиск;
- вміст O<sub>2</sub>;
- вміст CO.

Крім того, може бути доцільно виконувати безперервні вимірювання таких параметрів:

- вміст NO<sub>x</sub>;
- SO<sub>2</sub>;
- пил.

Для виявлення та точного обчислення рівнів викидів повідомляються результати періодичних вимірювань таких параметрів:

- вміст NO<sub>x</sub>;
- пил;
- SO<sub>2</sub>;
- (CO<sub>2</sub> – зазвичай розраховується).

Додаткова корисна інформація щодо моніторингу наведена у Довідковому документі щодо загальних принципів моніторингу [151, Європейська комісія, 2003].



### 3.4 Технології, які потрібно розглянути при визначенні НДТМ

У цьому розділі описано технології (або їх комбінації) та пов'язані з ними процедури моніторингу, які вважаються потенційно здатними забезпечити високий рівень захисту довкілля у ході діяльності, що входить до обсягу цього документа. До описаних технологій належать як технології, що використовуються на установці, так і способи проектування, будівництва, технічного обслуговування, експлуатації установки та її виведення з експлуатації.

Цей розділ охоплює системи управління навколишнім середовищем, технології, інтегровані у технологічний процес, та заходи зі зниження викидів у кінці виробничого циклу. Також розглядаються процедури запобігання утворенню відходів та керування обробленням відходів, у тому числі процедури мінімізації утворення відходів та переробки, а також технології, які зменшують споживання сировини, води та енергії шляхом оптимізації їх використання та повторного використання.

У Додатку III до Директиви перелічено ряд критеріїв для визначення НДТМ; ці міркування будуть враховані в інформації, наведеній у цій частині. Кожна технологія окреслена, наскільки це можливо, з дотриманням стандартної структури, представленої у Таблиці 3.10, щоб технології та їх оцінку можна було порівнювати з визначенням НДТМ, наведеним у цій Директиві.

Цей розділ не обов'язково містить вичерпний перелік технологій, що можуть застосовуватися у цьому секторі промисловості. Можуть існувати, або бути розроблені, й інші технології, які можна буде врахувати при визначенні НДТМ для конкретної установки.

**Таблиця 3.10. Інформація про кожну технологію**

Тип інформації, що враховується	Тип інформації, що входить до складу цих відомостей
Опис	Стислий опис технології з зазначенням, залежно від конкретного випадку, хімічних або інших рівнянь, рисунків, діаграм та схем технологічного процесу.
Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти	Основні потенційні вигоди для навколишнього середовища, яких буде досягнуто завдяки реалізації технології (у тому числі скорочення споживання енергії; зменшення скидів у воду, повітря та землю; заощадження сировини, а також збільшення виходу продукції, зменшення кількості відходів, тощо).
Міжсередовищні наслідки	<p>Значимі негативні наслідки для навколишнього середовища, викликані реалізацією цієї технології, які дають змогу порівнювати різні технології для оцінки їх впливу на навколишнє середовище у цілому. До них можуть належати такі питання:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• споживання та характер сировини і води;</li> <li>• споживання енергії та внесок у зміну клімату;</li> <li>• потенційна здатність до руйнування стратосферного озону;</li> <li>• потенційна здатність до створення фотохімічного озону;</li> <li>• закислення середовища внаслідок викидів у повітря;</li> <li>• присутність твердих часток у навколишньому повітрі (у тому числі мікрочасток та металів);</li> <li>• евтрофікація земель та вод внаслідок викидів у повітря або воду;</li> <li>• потенційна здатність до виснаження запасів кисню у воді;</li> <li>• стійкі / токсичні / біоаккумулятивні компоненти (у тому числі метали);</li> <li>• утворення решток / відходів;</li> <li>• обмеження здатності повторно використовувати чи переробляти рештки / відходи;</li> <li>• створення шуму та/або неприємного запаху;</li> <li>• підвищений ризик нещасних випадків.</li> </ul> <p>Слід враховувати Довідковий документ щодо економічних та міжсередовищних наслідків (ЕСМ).</p>
Експлуатаційні параметри	Фактичні та притаманні конкретному заводу експлуатаційні параметри (у тому числі рівні викидів, рівні споживання – сировини, води, енергії, – та кількість решток/відходів, що утворюються).

Тип інформації, що враховується	Тип інформації, що входить до складу цих відомостей
	<p>Будь-яка інша корисна інформація з таких питань:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• як проєктувати, експлуатувати, виконувати технічне обслуговування, контролювати та виводити з експлуатації цю технологію;</li> <li>• питання моніторингу викидів, пов'язані з використанням цієї технології;</li> <li>• чутливість та довговічність технології;</li> <li>• питання щодо запобігання нещасним випадкам.</li> </ul>
Застосування	<p>Зазначається, чи технологія може застосовуватися у всьому секторі промисловості. Якщо ні – вказуються основні загальні технічні обмеження щодо використання технології у секторі промисловості. Ці обмеження можуть бути такими:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• зазначення типів заводів або технологічних процесів у межах сектору промисловості, з якими технологія не може застосовуватися;</li> <li>• обмеження на реалізацію у певних стандартних випадках, з урахуванням, наприклад, таких моментів: <ul style="list-style-type: none"> <li>• чи розрахована технологія на новий або існуючий завод, з урахуванням факторів, пов'язаних з модернізацією (наприклад, наявність вільної виробничої площі) та взаємодією з уже встановленими технологіями;</li> <li>• розмір заводу, його потужність або коефіцієнт експлуатаційного навантаження;</li> <li>• кількість, тип або якість продукції, що виготовляється;</li> <li>• тип палива або сировини, що використовується.</li> </ul> </li> </ul> <p>Ці обмеження вказуються разом з їх причинами.</p> <p>Ці обмеження не мають на меті надати перелік можливих місцевих умов, які можуть вплинути на застосування технології для конкретного заводу.</p>
Економіка	<p>Інформація про витрати (капітальні витрати / інвестиції, експлуатаційні витрати та витрати на технічне обслуговування, у тому числі дані про те, як ці витрати були розраховані/оцінені), та будь-які можливості заощадження (наприклад, скорочення споживання сировини чи енергії, податки на вироблені відходи, зменшення терміну окупності у порівнянні з іншими технологіями, або доходи чи інші вигоди включно з даними про те, як вони були розраховані/оцінені.</p> <p>Економічні аспекти та витрати на моніторинг розглядаються з урахуванням відповідно Довідкового документа щодо економічних та міжсередовищних наслідків (ЕСМ) і Довідкового документа щодо загальних принципів моніторингу (MON).</p>
Стимули для впровадження	<p>У випадках, де це застосовно – конкретні місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи техніки безпеки) або чинники, не пов'язані з захистом довкілля (наприклад, збільшення виходу продукції, покращення якості продукції, економічні стимули – наприклад, субсидії, податкові пільги), які ініціювали або посприяли впровадженню технології на сьогодні.</p>
Приклади заводів	<p>Посилання на завод(и), де ця технологія реалізована, і з яких була зібрана інформація, використана для написання цього розділу. Зазначення міри, якою ця технологія використовується у ЄС або у всьому світі.</p>
Довідкова література	<p>Література або інші довідкові матеріали (наприклад, книги, звіти, дослідження), які використовувалися у написанні цього розділу і містять детальнішу інформацію про технологію. Якщо довідковий документ містить багато сторінок, буде зроблене посилання на відповідну сторінку (сторінки) або розділ(и).</p>

### 3.4.1 Загальні міркування щодо споживання сировини

Загальне споживання сировини можна зменшити шляхом переробки та/або повторного використання дрібнозернистих матеріалів (застосовується у шахтних печах та у поєднанні з обертовими печами) і зменшення кількості та переробки технологічних витрат/відходів.

### 3.4.2 Загальні міркування щодо води

Промивальні рідини, що використовуються для мокрого промивання, проходять через ступінчастий процес осадження для відділення твердих матеріалів. Вода повторно використовується і подається назад у контур свіжої води.

### 3.4.3 Зменшення споживання енергії (енергоефективність)

#### Опис

Споживання енергії та палива можна зменшити шляхом удосконалення конструкції печей, оптимізації технологічного процесу та забезпечення найвищого рівня регенерації та повторного використання надлишкового тепла, що виділяється печами та холодильниками. Крім того, використання кисню (збагаченого киснем повітря для згорання) у процесі обпалювання дає змогу підвищити ККД процесу обпалювання, а отже, значно покращити ККД печі. Це супроводжується зниженням потреби у повітрі, а отже, зниженням навантаження за  $N_2$  у печі. У цей спосіб потребу в енергії можна раціонально зменшити на довготермінову перспективу.

Щоб мінімізувати споживання енергії палива, застосовується регенерація тепла з відхідних газів шляхом їх використання для підігрівання магнезиту. Втрати тепла з печі можна використовувати для сушіння палива, сировини та деяких пакувальних матеріалів.

Споживання електроенергії мінімізується шляхом використання електричного обладнання, яке демонструє високу енергоефективність.

#### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Зниження споживання енергії та підвищення енергоефективності. Додатковим ефектом є зниження викидів  $CO_2$ , що утворюється з палива, оскільки технологічний процес стає більш ефективним.

#### Міжсередовищні наслідки

Можливе підвищення викидів  $NO_x$  внаслідок збільшення температури полум'я у процесі обпалювання.

#### Експлуатаційні параметри

Повідомлялося про питомих споживання енергії від 6 до 12 ГДж/т. Теоретична ентальпія реакції у цьому ендотермічному процесі з великим поглинанням енергії становить 2 803 МДж/кг (див. розділ 3.3.2).

#### Застосування

Зменшення споживання енергії, в принципі, може застосовуватися у галузі виробництва магнезії.

#### Економіка

Витрати на електроенергію можуть складати 35 – 40% від загальних витрат.

Зменшивши споживання енергії, можна знизити загальні витрати та викиди  $CO_2$ .

У разі застосування кисню потрібно врахувати загальні витрати на енергію та енергетичний баланс.

#### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Зниження потреби в енергії та витрат.

Зниження викидів  $CO_2$ .

Зменшення витрат.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Заводи в Австрії, Іспанії та країнах ЄС-27.

Корисна інформація на цю тему також наведена у Довідковому документі з енергоефективних технологій (ENE).

[67, Австрія, 2006], [109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008]

### **3.4.4 Оптимізація керування технологічним процесом**

#### **Опис**

Рівномірний та стабільний пічний процес і робота з кількістю повітря, близькою до необхідної стехіометричної кількості, сприятливо впливають на всі викиди з печі, а також на споживання енергії. На практиці необхідна якість продукції та оптимальне згорання зазвичай досягаються за надлишку кисню близько 1 – 3 %. Цього можна досягти шляхом оптимізації керування технологічним процесом. Процес обпалювання оптимізується таким чином, щоб знизити споживання тепла та покращити/зберегти якість продукту – спеченої, каустичної кальцинованої чи плавленої магnezії, – наприклад, за рахунок низького питомого споживання енергії та низьких питомих викидів. Печі зазвичай обладнані системою керування технологічним процесом для моніторингу та керування всім технологічним процесом з центрального пункту. Деякі параметри технологічного процесу безперервно реєструються, як-от споживання енергії, температура та іноді рівень NO<sub>x</sub>. Другорядним ефектом такої оптимізації може бути зниження викидів, таких як викиди CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> та пилу.

Оскільки в одній і тій же печі зазвичай виготовляється кілька різних продуктів, робочі характеристики печі потрібно пристосувати до цих продуктів. Умови роботи пічної установки можуть дуже різнитися залежно від навантажень та необхідної якості.

#### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Потенційно можливе зниження викидів, таких як викиди CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> та пилу.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Немає проблем.

#### **Експлуатаційні параметри**

Даних не надано.

#### **Застосування**

Оптимізація керування технологічним процесом може застосовуватися для всіх типів печей у галузі виробництва магnezії. Проте може бути необхідно впровадити дуже складну систему керування технологічним процесом.

#### **Економіка**

Повна система керування технологічним процесом для установки спікання чи установки кальцинування потребує інвестиційних витрат розміром близько 1 мільйона євро.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Заводи в Австрії, Іспанії та країнах ЄС-27.

[109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]

### 3.4.5 Вибір палива

#### Опис та експлуатаційні характеристики

Виробництво магnezії за сухим технологічним методом – це енергоємна галузь промисловості (див. розділ 3.3.2). У ЄС головним чином використовуються такі види палива, як природний газ, нафтовий кокс та важкий мазут. Проте у процесі обпалювання також можна використовувати вугілля (антрацит та лігніт).

Речовини, що потрапляють у піч, необхідно ретельно вибирати та контролювати: це може впливати на викиди – зокрема,  $SO_2$  – і дає змогу їх знижувати. Тому слід вибирати види палива з низьким вмістом сірки, якщо їх ціна прийнятна, і якщо таке паливо доступне.

#### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Зниження викидів  $SO_2$ .

#### Міжсередовищні наслідки

Використовуючи нафтовий кокс і кам'яне вугілля для обпалювання, можна знизити викиди  $SO_2$  у порівнянні з використанням природного газу та/або мазуту (див. Рисунок 3.13). Використання природного газу може збільшити викиди  $NO_x$  внаслідок вищої температури полум'я, проте викиди  $CO_2$  будуть нижчими, оскільки відношення С:О у природному газі менше, ніж у коксі чи вугіллі.

#### Експлуатаційні витрати

Витрати на енергію складають 35 – 40% від собівартості виробництва.

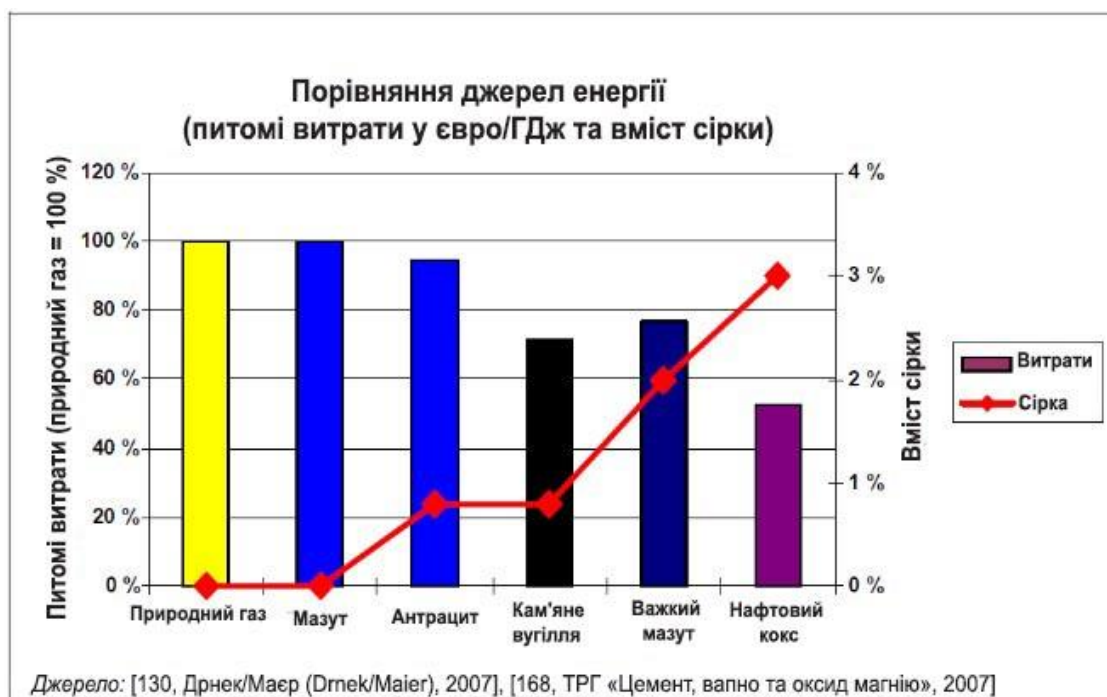
#### Застосування

Ці види палива у цілому можна використовувати в печах для виробництва магnezії. Проте кілька видів палива – наприклад, природний газ – можуть бути доступними не у всіх регіонах, а тому ці технології можна застосовувати лише тоді, коли це можливо. У печі має бути передбачена технологія спалювання або вприскувальні трубки для конкретних видів палива. Однак тверді види палива, такі як нафтовий кокс, не можна застосовувати у шахтних печах з обертовою пластиною чи обертовим колосником, як описано у розділі 3.2.3.2.2.1 та у розділі 3.2.3.2.2.2.

У 2007 році відходи не використовувалися у якості палива, оскільки вони вносять домішки, які потім потрапляють у продукт. Продукт має бути чистим та однорідним, без жодних домішок. Проте на майбутнє, завдяки появі нових технологій сумісного спалювання відходів та з огляду на деяку магnezіальну продукцію, у галузі виробництва магnezії розглядається можливість використання різних типів відходів, наприклад, пластмас чи деревини. Загальні міркування та міркування щодо контролю якості при використанні відходів у цьому контексті для галузей виробництва цементу та вапна наведені відповідно у розділах 1.2.4 та 2.2.5 цього документа.

#### Економіка

Порівняння різних джерел енергії за питомими витратами у євро/ГДж та вмістом сірки в цих видах палива наведено на Рисунку 3.13. Найбільше сірки містить нафтовий кокс, за ним іде важкий мазут, а далі – кам'яне вугілля та антрацит.



**Рисунок 3.13. Порівняння видів палива за питомими витратами та вмістом сірки**

Існує тісна залежність між ККД процесу та ціною нафтового коксу (див. Рисунок 3.13). Проте витрати на енергію досягли високого рівня в межах 35 – 40 %, тож потрібно враховувати економічний фактор.

#### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

Зниження рівня SO<sub>2</sub>.

#### Приклади заводів та довідкова література

Заводи в Австрії, Іспанії та країнах ЄС-27.

[109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008]

### 3.4.6 Викиди пилу (твердих часток)

#### 3.4.6.1 Технології для операцій, що супроводжуються утворенням пилу

##### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Неорганізовані викиди пилу зазвичай утворюються в результаті зберігання та вантаження сировини, палива та вапна, а також руху транспортних засобів на заводі. Викиди твердих часток, що виникають при пакуванні та відвантаженні продукції також можуть бути суттєвими. Для мінімізації можливих джерел неорганізованого пилу рекомендується забезпечити просте та лінійне компонування майданчику, а також застосовувати відповідні організаційні методи.

Тут наведено кілька різних технологій, які можна застосовувати окремо або у поєднанні один з одним (див. розділ 3.3.3.1):

- якісне прибирання будівель та доріг, а також належне і повне технічне обслуговування установки;
- змочування кагатів сировини;
- огороження/закриття кожухами операцій, що супроводжуються утворенням пилу, таких як помел та просіювання;
- укриття конвеєрів та елеваторів, які конструюються як закриті системи, якщо є велика ймовірність, що пилоподібні матеріали будуть створювати викиди пилу;

- використання силосів для зберігання належної місткості, обладнаних фільтрами для очищення запиленого повітря, що рухається під час операцій заповнення;
- у пневматичних системах транспортування бажано використовувати циркуляційний процес;
- зменшення кількості точок витоків та проливання;
- використання автоматичних пристроїв та систем контролю;
- забезпечення безперервної та безаварійної роботи.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Збільшення споживання енергії внаслідок використання фільтрувальних систем.

При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

За допомогою огороження машин кожухами також можна знизити рівень шуму.

#### **Експлуатаційні параметри**

Даних не надано.

#### **Застосування**

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у галузі виробництва магnezії.

#### **Економіка**

Залежать від конкретного процесу/технології для окремого випадку.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Вимоги до охорони здоров'я та техніки безпеки на робочих місцях.

#### **Приклади заводів та довідкова література**

Заводи в Австрії, Іспанії та країнах ЄС-27.

[109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]

### **3.4.6.2 Зменшення організованих викидів пилу**

Викиди пилу виникають у процесі обпалювання, а також під час зберігання та переміщення сировини і палива (наприклад, за допомогою конвеєрів та елеваторів) та у процесах помелу і роздрібнення.

Перелічені нижче знепилювальні пристрої можна застосовувати окремо або у поєднанні один з одним:

- електрофільтри (ЕСП);
- циклони;
- мокрі пиловловлювачі;
- рукавні фільтри.

На просіювальних, помельних та роздрібнювальних агрегатах використовуються рукавні фільтри для уловлювання продукту та видалення пилу з транспортного повітря.

У печах, що використовуються у галузі виробництва магnezії, зазвичай передбачено технології для зниження рівнів пилу з урахуванням порівняно високих температур відхідних газів, що утворюються при обпалюванні в печі. З цих печей кілька обладнаних електрофільтрами та/або комбінацією циклона і електрофільтра та/або циклона і мокрого скрубера, з огляду на порівняно високі температури відхідних газів. Крім того, можна використовувати рукавні фільтри, які є дуже ефективними для зниження викидів пилу. Проте у разі використання рукавних фільтрів велике значення має висока температура димових газів, і вона може виявитися критичною, оскільки, залежно від матеріала фільтру, що використовується, він може загорітися за високих температур.

### 3.4.6.2.1 Електрофільтри (ЕСП)

#### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Електрофільтри (ЕСП) можна використовувати для уловлювання пилу за температур відхідних газів вище точки роси і до 370 – 400 °С. При цьому слід уникати відключень за рівнем СО, оскільки при цьому виникає ризик вибуху. Рівень СО безперервно вимірюється з міркувань керування технологічним процесом та безпеки. Частоту відключень за рівнем СО можна зменшити, використовуючи сучасні системи керування технологічним процесом з вимірювальними та регулювальними пристроями, які швидко реагують. Інформація та вказівки щодо керування відключеннями за рівнем СО наведена у частині цього документа, присвяченій цементній промисловості, розділ 1.4.5.3, та у розділі 6.2.6.

Детальніша технічна інформація та пояснення щодо роботи електрофільтрів містяться у частині, присвяченій цементній промисловості, розділ 1.4.4.3.1, та у частині, присвяченій вапняній промисловості, розділ 2.4.5.3.1. Однак експлуатаційні параметри електрофільтрів, що використовуються у галузі виробництва магнею, наведені нижче.

#### Міжсередовищні наслідки

Виникає ризик вибуху, особливо якщо застосовуються сухі системи електрофільтрування. Внаслідок роботи електрофільтра збільшується споживання енергії у порівнянні, наприклад, з використанням циклонів.

При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

#### Експлуатаційні параметри

Спостереження показали, що температура димових газів на вході електрофільтра становить приблизно 400 °С, а викиди пилу – 75 мг/м<sup>3</sup> н. у. (ці значення вимірювалися з перервами як середні значення за один тиждень на рік). Проте електрофільтри здатні знижувати викиди пилу до менш ніж 10 мг/м<sup>3</sup> н. у., залежно від режиму роботи.

#### Застосування

Електрофільтри використовуються головним чином в обертових печах.

Їх можна використовувати за температур відхідних газів вище точки роси і до 370 – 400 °С.

#### Економіка

При експлуатації електрофільтра потрібно враховувати порівняно великі експлуатаційні витрати.

#### Стимули для впровадження

Вимоги технологічного процесу.

Вимоги законодавства.

#### Приклади заводів та довідкова література

Два заводи у країнах ЄС-27.

[67, Австрія, 2006], [109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнею», 2008]

### 3.4.6.2.2 Відцентрові сепаратори / циклони

#### Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти

У циклонах тверді частки відділяються від потоку газу під дією відцентрового зусилля. Циклони міцні і працюють у широкому діапазоні робочих температур, споживаючи мало енергії [86, EURITS, 2006].

У відцентровому сепараторі частки пилу, які потрібно видалити з потоку відпрацьованих газів, відтискаються до зовнішньої стінки агрегату під дією відцентрової сили, а тоді викидаються через отвір у днищі агрегату. Відцентрові сили можна створювати шляхом спрямування потоку газу вниз по спіралі через циліндричні посудини (циклонні сепаратори) або за допомогою встановленої в агрегаті крильчатки, що обертається (механічні відцентрові сепаратори).



**Міжсередовищні наслідки**

Робота відцентрових сепараторів / циклонів є значним джерелом шуму.

При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

**Експлуатаційні параметри**

У інших секторах промисловості, таких як вапняна промисловість, відцентрові сепаратори / циклони використовуються у якості попередніх сепараторів / сепараторів продукту. Вони зазвичай можуть знизити викиди пилу лише до рівнів менше  $150 \text{ мг/м}^3$  н. у. (див. розділ 2.4.5.3.4). У цементній промисловості циклони використовуються у поєднанні з повітряними теплообмінниками для зниження температури та рукавними фільтрами для видалення пилу, наприклад, з відхідних газів, які охолоджуються. Циклон зданий знизити концентрацію пилу на 70 %. Використовуючи циклони у поєднанні з повітряним теплообмінником та рукавним фільтром, можна досягти високої ефективності очищення – до 99,99 % – та низьких значень викидів у межах  $5 - 7 \text{ мг/м}^3$  н. у.; ці дані були повідомлені цементним заводом у Південно-Африканській Республіці (див. частину, присвячену цементній промисловості, розділ 1.4.4.3.2).

Відцентрові сепаратори ефективніше працюють з більшими навантаженнями забруднюючих речовин, за умови, що пристрій при цьому не забивається.

**Застосування**

Відцентрові сепаратори / циклони не здатні ефективно утримувати частки з дрібним розміром зерен. Оскільки ступінь сепарації обмежений і залежить від конкретної системи, циклони використовуються головним чином як попередні сепаратори для видалення грубих часток пилу та очищення відхідних газів.

**Економіка**

Відцентрові сепаратори / циклони порівняно недорогі і прості в експлуатації.

**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

Вимоги технологічного процесу.

**Приклади заводів та довідкова література**

Заводи в Австрії, Іспанії та країнах ЄС-27.

[86, EURITS, 2006], [109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники  $\text{MgO}$ , 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнезії», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнезії», 2008]

**3.4.6.2.3 Мокрі пиловловлювачі****Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

Мокрі пиловловлювачі слугують для видалення пилу з потоків відпрацьованих газів. Мокрі пиловловлювачі (також відомі під назвою «мокрі скрубери») можна поділити на різні типи за їх конструкцією та принципом роботи – наприклад, мокрі скрубери з трубою Вентурі. Цей тип мокрого пиловловлювача має кілька застосувань у галузі виробництва магнезії – зокрема, у випадку, коли газ спрямовується через найвужчу ділянку труби Вентурі, так зване «сопло Вентурі», і швидкість газу може досягати  $60 - 120 \text{ м/с}$ . Промивальні рідини, які подаються у сопло труби Вентурі, розпилюються, утворюючи туман з дуже дрібних крапель, і інтенсивно перемішуються з газом. Тверді частки, які осіли на краплі води, стають важчими, і їх можна легко видалити за допомогою краплевідокремлювача, встановленого у цьому мокрому пиловловлювачі з трубою Вентурі.

**Міжсередовищні наслідки**

У технології мокрого сепарації забруднюючі речовини переносяться з повітря у воду, тому обов'язково потрібна друга установка для очищення утворених мокрих відходів (суспензії), а отже, можливе додаткове споживання енергії.

**Експлуатаційні параметри**

За умови ефективної експлуатації сучасні багатокаскадні мокрі скрубери можуть знижувати концентрації очищених газів до  $10 - 20 \text{ мг/м}^3$  н. у. (див. розділ 2.4.5.3.3 у частині, присвяченій вапняній промисловості).

### **Застосування**

Мокрий пиловловлювач з трубою Вентурі видаляє пил, леткі сполуки, HCl та SO<sub>2</sub> з потоку відхідних газів. Застосування цієї технології не має жодних недоліків або побічних ефектів.

### **Економіка**

З точки зору експлуатаційних витрат потрібно враховувати витрати як на промивальну рідину, так і на очищення технологічних стічних вод.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги технологічного процесу.

Вимоги законодавства.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Два заводи у країнах ЄС-27.

[109, RHİ AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]

#### **3.4.6.2.4 Рукавні фільтри**

##### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти**

У рукавному фільтрі відпрацьований газ проходить через фільтрувальний мішок, і частки пилу відкладаються на поверхні фільтру, утворюючи фільтраційний кек. Рукавні фільтри забезпечують високий ступінь уловлювання твердих часток – зазвичай понад 98 % і до 99 %, залежно від розміру часток. Ця технологія забезпечує найкращу ефективністю уловлювання часток у порівнянні з іншими технологіями зниження викидів пилу, що використовуються у галузі виробництва магнезії. Проте через високі температури відхідних газів печі потрібно використовувати спеціальні фільтрувальні матеріали, які можуть витримувати високі температури.

##### **Міжсередовищні наслідки**

Робота рукавних фільтрів, особливо з регенерацією імпульсами тиску, може створювати шумове випромінювання, а також збільшувати споживання електроенергії внаслідок великого падіння тиску; При виконанні технічного обслуговування можуть утворюватися додаткові відходи.

##### **Експлуатаційні параметри**

Рукавні фільтри доступні в асортименті різних типів тканих фільтрів, і деякі з них можуть працювати за високих температур і витримувати їх вплив. Інформація про технічне застосування різних типів тканин наведена у розділі 1.4.4.3.2 (частина, присвячена цементній промисловості) цього документа.

У інших секторах промисловості рукавні фільтри здатні знижувати викиди пилу, що утворюються у ході пилкових операцій, відмінних від процесу обпалювання в печі, до діапазонів менше 5 – 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. За допомогою добре спроектованих рукавних фільтрів, які правильно експлуатуються і отримують належне технічне обслуговування (безперервне очищення фільтрувальних мішків від пилу), викиди пилу у вапняній промисловості вдалося знизити до менш ніж 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. (див. розділ 2.4.5.3.2). Ефективність уловлювання може перевищувати 99,9 %, а відтак у цементній промисловості вдається досягти зниження викидів до менш ніж 5 мг/м<sup>3</sup> н. у. (сухий газ, 273 К, 10 % O<sub>2</sub>) (див. розділ 1.4.4.3.2). Крім того, у галузі виробництва оксиду магнію повідомлялося, що за допомогою рукавних фільтрів викиди пилу у процесах обпалювання в печі вдалося знизити до менш ніж 20 мг/м<sup>3</sup> н. у. [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008].

##### **Застосування**

Рукавні фільтри для видалення пилу з відпрацьованих газів можна застосовувати, в принципі, для всіх агрегатів у процесі виробництва оксиду магнію, особливо для пилкових операцій, просіювання, помелу та роздрібнення. Їх можна використовувати за температур відхідних газів вище точки роси і до 280 °С.

З огляду на високі температури відхідних газів – від 250 до 400 °С – та корозійні властивості і великий об'єм відхідних газів, що утворюються у процесі обпалювання в печі під час виробництва каустичної кальцинованої магнезії (ККМ) та спеченої / намертво обпаленої магнезії (НОМ), потрібно використовувати спеціальні рукавні фільтри з

фільтрувальним матеріалом, стійким до високих температур.

Проте досвід підприємств, які виготовляють НОМ, у галузі виробництва магnezії показує, що на заводах з виробництва магnezії немає належного обладнання (наприклад, фільтрувальних матеріалів), розрахованого на температури відхідних газів близько 400 °С.

На заводах, що виготовляють НОМ, використовуються фільтрувальні матеріали, які працюють з температурами до 250 °С, як-от фільтрувальний матеріал на основі ПТФЕ (тефлону). Цей фільтрувальний матеріал демонструє хорошу стійкість до кислот і лугів, і завдяки йому було вирішено багато проблем з корозією [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008].

### **Економіка**

Інвестиційні витрати на фільтрувальні матеріали, що витримують високі температури димових газів, відносно високі у порівнянні з іншими фільтрувальними матеріалами. Експлуатаційні витрати для рукавних фільтрів вищі, ніж для електрофільтрів, через більший перепад тиску на фільтрувальних матеріалах. Інформація про технічне застосування та вартість різних типів тканин наведена у розділі 1.4.4.3.2 (частина, присвячена цементній промисловості) цього документа.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Три заводи у країнах ЄС-27.

[109, RHI AG, 2006] [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008]

## **3.4.7 Газоподібні сполуки**

### **3.4.7.1 Зниження викидів NO<sub>x</sub>**

#### **Опис**

Суттєвим чинником, який впливає на викиди NO<sub>x</sub>, є температура обпалювання, необхідна для здійснення процесу обпалювання у галузі виробництва магnezії. Вона загалом безпосередньо пов'язана з якістю спеченої / намертво обпаленої магnezії, що виготовляється. Ця температура обпалювання відносно висока у порівнянні з іншими варіантами застосування того ж агрегату. Проте температури обпалювання різняться залежно від продукту. З огляду на характеристики продукту, який повинен виготовлятися, та безпосередній зв'язок між конкретним продуктом та температурою обпалювання, цю температуру обпалювання неможливо знизити.

Існує одне джерело утворення NO<sub>x</sub>:

- термічні оксиди азоту NO<sub>x</sub> виникають внаслідок реакції, яка протікає за високих температур між N<sub>2</sub> та O<sub>2</sub>, що міститься у повітрі для згорання.

Термічні оксиди NO<sub>x</sub> утворюються за температур понад 1000 °С, тобто в зоні обпалювання печі, де температури достатньо високі. Утворена кількість термічних оксидів NO<sub>x</sub> збільшується зі зростанням температур та вмісту кисню в зоні обпалювання.

Для зниження викидів NO<sub>x</sub> можна використовувати різні технології – наприклад, первинні або вторинні технології чи поєднання тих і інших. Первинні технології зменшують інтенсивність утворення NO<sub>x</sub>, у той час як вторинні технології руйнують оксид азоту і відновлюють його до N<sub>2</sub>.

Первинні технології – це технології, інтегровані у технологічний процес, до яких, зокрема, належать:

- оптимізація технологічного процесу;
- удосконалена технологія обпалювання;
- ступінчасте спалювання / ступінчасте подавання повітря;
- конструкція пальника.

Станом на 2007 рік ступінчасте спалювання не застосовувалося у галузі виробництва оксиду магнію.

До вторинних технологій для відновлення  $\text{NO}_x$  належать такі технології:

- Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ);
- селективне каталітичне відновлення (СКВ).

Станом на 2007 рік вторинні технології для відновлення  $\text{NO}_x$  не застосовувалися у галузі виробництва оксиду магнію.

#### **Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Зниження викидів  $\text{NO}_x$ .

#### **Міжсередовищні наслідки**

Як описано у розділі 1.4.5.1.7 та у розділі 2.4.6.1.4 (частина, присвячена цементній промисловості), при розгляді можливості використання СНКВ потрібно також враховувати просок аміаку. Залежність між температурою, просоком  $\text{NH}_3$  та ступенем відновлення  $\text{NO}_x$  зображено на Рисунок 2.50 (див. розділ 2.4.6.1.4 у частині, присвяченій вапняній промисловості) [46, Німеччина, 2006]. Однак станом на 2008 рік технологія СНКВ не застосовувалася у галузі виробництва магnezії (див. параграф про застосування).

#### **Експлуатаційні параметри**

Див. розділ 3.3.3.1 та Таблицю 3.9. У 2006 році було повідомлено, що у випадку, коли застосовувалися одні лише первинні технології зниження викидів  $\text{NO}_x$ , викиди  $\text{NO}_x$  знаходилися в межах 650 – 2 500  $\text{мг/м}^3$  н. у. Однак вище значення стосується високотемпературного процесу виробництва НОМ.

#### **Застосування**

##### *Первинні технології*

Первинні технології, в принципі, можна застосовувати в більшості типів печей, що використовуються для виготовлення магnezії.

Проте деякі первинні технології, що використовуються в інших галузях, як-от пальники з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  та охолодження полум'я, не можна використовувати в галузі виробництва магnezії. Пальники з низьким виділенням  $\text{NO}_x$  не застосовуються / не можна застосовувати, оскільки для виробництва НОМ необхідна висока температури обпалювання. Цей тип пальника працює за температур не вище 1 600 °С, у той час як температура обпалювання для виробництва НОМ досягає 2 200 °С. Охолодження полум'я також не застосовується / не можна застосовувати через ці високі температури.

Для того, щоб ступінчасте спалювання / ступінчасте подавання повітря можна було використовувати у галузі виробництва магnezії, ці технології потрібно дорацювати. Станом на 2007 рік ступінчасте спалювання не застосовувалося у галузі виробництва оксиду магнію.

##### *Вторинні технології*

Станом на 2008 рік у країнах ЄС-27 селективне некаталітичне відновлення (СНКВ) для відновлення  $\text{NO}_x$  не застосовувалося у галузі виробництва магnezії, оскільки технологія СНКВ працює в температурному вікні 800 – 1 000 °С, а процес виготовлення НОМ – це ендотермічний процес, у якому не досягається це температурне вікно. Під час процесу, у якому матеріал розкислюється, температура знаходиться у діапазоні від 500 до 800 °С. Стабільної температури понад 800 °С неможливо досягти без великої кількості енергії, яку потрібно буде додатково підводити для досягнення температури, за якої працює технологія СНВ. Окрім усього іншого, значно зростуть витрати на додаткову енергію.

Оціночне дослідження, проведене у кінці 1990-х років, показало, що перспектива використання селективного каталітичного відновлення (СКВ) для відновлення  $\text{NO}_x$  у галузі виробництва НОМ сумнівна як з технічної, так і з економічної точки зору. Це головним чином зумовлено невизначеністю терміну служби каталізаторів та сильними забруднювальними властивостями відпрацьованих газів [108, Європейська комісія, 2006].

Технологія СКВ працює в температурному вікні від 300 до 400 °С.  $\text{NO}$  та  $\text{NO}_2$  відновлюються до  $\text{N}_2$  за допомогою  $\text{NH}_3$  та каталізатора.

Для протікання цього процесу необхідно забезпечити хороше змішування димових газів з реагентом, оптимізовану температуру впрыскування та достатній час перебування у вікні оптимальних температур.

Станом на 2008 рік у країнах ЄС-27 технологія СКВ для відновлення  $\text{NO}_x$  не застосовувалася у галузі виробництва магnezії. Каталізатори дуже чутливі до магnezії. Через високе пилове навантаження відхідні гази потрібно очистити від пилу – наприклад, за допомогою рукавних фільтрів – перш ніж подавати в них каталізатори СКВ. Проте, оскільки це виробництво потребує високої температури, відхідні гази потрібно охолодити до температури, що не перевищує  $250\text{ }^\circ\text{C}$ , перед очищенням від пилу за допомогою спеціальних рукавних фільтрів. Для використання технології СКВ відхідні гази після цього потрібно знову нагріти до температурного вікна у  $300 - 400\text{ }^\circ\text{C}$ , в якому працює СКВ. Це потребує додаткової енергії і може призвести до додаткових викидів – наприклад,  $\text{CO}_2$ .

### **Економіка**

Каталітичні процеси зазвичай потребують більших інвестиційних витрат.

### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

### **Приклади заводів та довідкова література**

Заводи з виробництва магnezії у країнах ЄС-27, на яких використовуються первинні технології для зниження викидів  $\text{NO}_x$ .

[46, Німеччина, 2006], [54, EuLA, 2006], [85, CEMBUREAU, 2006], [108, Європейська комісія, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники  $\text{MgO}$ , 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

### **3.4.7.2 Зменшення викидів $\text{CO}$**

#### **Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Викиди  $\text{CO}$  також можна зменшити шляхом вибору, якщо це можливо, сировини з низьким вмістом органічних речовин. На викиди  $\text{CO}$  також може вплинути безперервне керування температурою обпалювання та кероване додавання палива, наприклад:

- використання вагових живильників та високоточних барабаних шлюзів для подавання нафтового коксу та/або
- використання витратомірів та високоточних клапанів для регулювання подавання мазуту чи газу у пальник печі.

Для зниження викидів  $\text{CO}$  вкрай важливим є повне та правильне згорання палива. Подавання повітря з холодильника та первинного повітря, а також тягу в димовій трубі, можна контролювати для підтримання рівня кисню в межах від 1 % (спечений продукт) до 1,5 % (каустичний продукт) під час згорання. Періодичний аналіз димових газів дає змогу виявляти високі концентрації  $\text{CO}$  ( $150\text{ мг/м}^3$  н. у.), а зменшити ці викиди можна шляхом зміни подавання повітря та палива.

Крім того, викиди  $\text{CO}$  можна знизити шляхом зміни глибини занурення пальника [108, Європейська комісія, 2006]. Викиди  $\text{CO}$  вимірюються для того, щоб оптимізувати процес (оптимізація технологічного процесу) та перевірити згорання (100%-ве згорання) палива.

У деяких випадках та за певних умов у галузі виробництва магnezії також може застосовуватися захід/технологія для керування відключеннями за рівнем  $\text{CO}$ , розроблена для обладнаних електрофільтрами цементних печей. Інформація та вказівки щодо керування відключеннями за рівнем  $\text{CO}$  наведена у частині цього документа, присвяченій цементній промисловості, розділ 1.4.5.3, та у розділі 6.2.6.

### **Міжсередовищні наслідки**

Немає проблем.

### **Експлуатаційні параметри**

Повідомлялося про викиди  $\text{CO}$  від 33 до  $1\ 000\text{ мг/м}^3$  н. у.

Загальна кількість CO<sub>2</sub> на тонну виготовленого MgO – це сума кількості технологічного CO<sub>2</sub> та кількості CO<sub>2</sub>, що утворився з палива. Частка CO<sub>2</sub>, що походить із палива, становить, залежно від продукту, 0,35 – 0,59 T<sub>CO2</sub>/T<sub>MgO</sub> для газу та близько 0,813 T<sub>CO2</sub>/T<sub>MgO</sub> для «структури ОЕСР (Організації економічної співпраці та розвитку)». Частка CO<sub>2</sub>, що утворилася за рахунок протікання технологічного процесу, становить 1 T<sub>CO2</sub>/T<sub>MgO</sub> (кальцинування магнезиту з утворенням оксиду магнію).

#### Застосування

Цей захід/технологія, в принципі, може застосовуватися у галузі виробництва магнезії.

#### Економіка

Даних не надано.

#### Стимули для впровадження

Вимоги законодавства.

#### Приклади заводів та довідкова література

Заводи з виробництва магнезії у країнах ЄС-27.

[46, Німеччина, 2006], [54, EuLA, 2006], [85, SEMBUREAU, 2006], [108, Європейська комісія, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

#### 3.4.7.3 Зниження викидів SO<sub>2</sub>

##### Опис

Викиди SO<sub>2</sub> залежать головним чином від вмісту сірки у паливі. Викиди сірки з сировини (магнезиту), залежать від вмісту сірки у сировині. Вони, в принципі, низькі завдяки низькому вмісту сірки у більшості видів сировини. Проте в деяких випадках викиди SO<sub>2</sub> з сировини можуть становити 50% і аж до 100 % від загальних викидів SO<sub>2</sub>.

У галузі виробництва магнезії для зниження викидів SO<sub>2</sub> використовуються різні технології знесірчення димових газів, такі як:

- мокрий пиловловлювач (мокрый скруббер);
- мокро-сухий розпилувальний скруббер;
- процес вприскування сорбенту (вприскування твердих чи рідких адсорбентів у потік димових газів);
- процес регенерації.

Технічна інформація та пояснення щодо роботи мокрих скрубберів наведена у частині, присвяченій цементній промисловості, розділ 1.4.5.2.2.

У разі використання процесу вприскування сорбенту для досягнення високоефективної абсорбції дуже важливо забезпечити достатній час перебування газу між точкою вприскування та пиловловлювачем. Реактивні сорти MgO вже використовуються у якості ефективних сорбентів SO<sub>2</sub> в інших секторах промисловості – наприклад, на теплових електростанціях. Незважаючи на свою малу ефективність у порівнянні з іншими технологіями, використання цього процесу/технології у галузі виробництва магнезії має дві переваги: він потребує нижчих інвестиційних витрат, а пил у фільтрі не забруднюється іншими речовинами. Уловлений у фільтрі пил потім можна повторно використовувати і додавати до продукції для мінімізації утворення відходів.

Крім того, технічна інформація та пояснення щодо процесу вприскування сорбенту (додавання адсорбенту) в інших секторах промисловості наведена у частині, присвяченій цементній промисловості, у розділі 1.4.5.2.1 та у частині, присвяченій вапняній промисловості, у розділі 2.4.6.2 цього документа.

#### Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Зниження викидів SO<sub>2</sub>. Викиди легких сполук та пилу, а також викиди HCl та SO<sub>2</sub> можна знизити за допомогою мокрих пиловловлювачів зі скруббером Вентурі.

**Міжсередовищні наслідки**

Зведення до мінімуму утворення відходів (повторне використання пилю, уловленого в фільтрі).

У разі використання мокрих пиловловлювачів (мокрих скрубєрів) можуть виникати скиди у воду.

**Експлуатаційні параметри**

Точкові вимірювання показали, що, у разі використання палива з великим вмістом сірки, такого як нафтовий кокс, та мокрого скрубєра для зниження викидів SO<sub>2</sub>, викиди SO<sub>2</sub> знаходяться в межах 17,1 – 50 мг/м<sup>3</sup> н. у. При застосуванні природного газу рівні викидів SO<sub>2</sub> вдалося знизити до 10 мг/м<sup>3</sup> н. у. [109, RHI AG, 2006].

У разі виробництва каустичної магнезії в обертовій печі регенерується близько 40 % діоксиду сірки, утвореного з палива, – головним чином з пилю, уловленого фільтрами.

**Застосування**

Ці технології, в принципі, можна застосовувати у галузі виробництва магнезії. Як описано у розділі 3.4.6.2.3, мокрі пиловловлювачі зі скрубєром Вентурі, окрім HCl та SO<sub>2</sub>, також видаляють леткі речовини та пил. Цей захід/технологія вважається ефективною в інших секторах промисловості.

Для досягнення високоефективної абсорбції у разі використання процесу вприскування сорбенту дуже важливо забезпечити достатній час перебування газу між точкою вприскування та пиловловлювачем.

**Економіка**

У галузі виробництва MgO встановлення мокрого скрубєра може потребувати інвестиційних витрат близько 2 мільйонів – 3 мільйонів євро. Крім того, приклади даних про витрати на реалізацію заходів/технологій зниження викидів SO<sub>x</sub> у цементній промисловості наведені у розділах 1.4.5.2 та 1.4.8.3 цього документа.

Залежно від того, який захід/технологія використовується, процеси знесірчення димових газів можуть потребувати великих інвестиційних витрат.

**Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

**Приклади заводів та довідкова література**

Заводи в Австрії, Іспанії та країнах ЄС-27.

[109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнеїю», 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнеїю», 2008]

**3.4.8 Загальні міркування щодо технологічних втрат / відходів**

Технологічні втрати – наприклад, різні типи уловленого пилю карбонату магнеїю – слід повертати у процеси виробництва для переробки, якщо це практично можливо, або повторно використовувати у продукції, призначеній для реалізації на ринку. Крім того, шлам, що утворюється у процесі мокрого знесірчення димових газів (методами відстоювання та/або фільтрування), слід, якщо це можливо, повторно використовувати у технологічному процесі або в інших секторах промисловості відповідно до технічних вимог.

Для матеріалу, який неможливо переробити, як-от для відходів упаковки чи відходів технічного обслуговування певних пристроїв установки, можна знайти альтернативні способи застосування.

**3.4.9 Шум****Опис та переваги для навколишнього середовища, яких вдасться досягти**

Видобування та обробка сировини, а також виробництво НОМ, неминуче супроводжується шумними операціями.

Шумове випромінювання характерне для всього технологічного процесу і може виникати на всіх його етапах: його джерелами можуть бути, наприклад, дробильні та роздрібнювальні агрегати, помельні агрегати та агрегати підготовки, печі та живильні системи печей, стрічкові конвеєри, фільтрувальні агрегати, охолоджувальні системи печей, тощо. Великі і потужні машини та великі вентилятори під час роботи можуть створювати шумове та/або вібраційне випромінювання. Шумове випромінювання часто можна знизити шляхом застосування технологій безпосередньо у джерелі шуму, як-от:

- огороження шумних агрегатів кожухами;
- мінімізація шуму шляхом спорудження звукоізованих будівель;
- обшивання ізоляцією каналів та, зрештою, повітродувів, розташованих у звукоізованих будівлях;
- шумозахисні стіни;
- вихідні шумоглушники на відхідних димових трубах;
- глушники для вентиляторів фільтрів;
- використання звукоізованих модулів технічних пристроїв (наприклад, компресорів);
- використання гумових щитів на млинах (для уникнення контакту металу з металом).

Якщо перелічені вище технології зниження рівня шуму неможливо застосувати, і якщо шумні агрегати неможливо перенести всередину будівлі (наприклад, через розмір печей та їх оснащення), потрібно застосовувати вторинні технології захисту від шуму – наприклад, спорудження будівель чи вирощування дерев та кущів між зоною, яку потрібно захистити, та місцем шумної діяльності (піччю або складським майданчиком). Під час шумних операцій двері та вікна критих ділянок слід тримати закритими.

Для зниження шумового випромінювання можна використовувати природні шумові бар'єри, такі як адміністративні будівлі, стіни, дерева або кущі. Заводи повинні дотримуватися стандартів зниження шуму відповідно до національного законодавства.

Детальніша інформація про зниження рівня шуму та схему зниження рівня шуму наведена у частині, присвяченій вапняній промисловості, у розділі 2.4.10 цього документа.

#### **Міжсередовищні наслідки**

Технології захисту від шуму можуть потребувати додаткових інвестиційних витрат та витрат на технічне обслуговування.

#### **Експлуатаційні параметри**

Дані відсутні.

#### **Застосування**

Технології для зниження рівня шуму, в принципі, можна застосовувати у галузі виробництва магнезії (див. розділ 3.3.3.4).

#### **Економіка**

Технології захисту від шуму можуть потребувати додаткових інвестиційних витрат.

#### **Стимули для впровадження**

Вимоги законодавства.

#### **Приклади заводів та довідкова література**

Заводи з виробництва оксиду магнію (магнезії) в Австрії, Іспанії та країнах ЄС-27.

Детальніша інформація про зниження рівня шуму та схему зниження рівня шуму наведена у частині, присвяченій вапняній промисловості, у розділі 2.4.10.

[45, Шорхт, 2006], [109, RHI AG, 2006], [110, Іспанські виробники MgO, 2006/2008], [165, EUROMINES, 2006]

### **3.4.10 Інструменти управління навколишнім середовищем**

Інструменти управління навколишнім середовищем описані у частині, присвяченій цементній промисловості, у розділі 1.4.12 цього документа.



### 3.5 Перспективні технології

Поки що не відомо жодних перспективних технологій для галузі виробництва оксиду магнію за сухим технологічним методом.

---

---

## 4 ВИСНОВКИ ЩОДО НДТМ

### СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Ці висновки щодо НДТМ стосуються перелічених нижче видів промислової діяльності, вказаних у розділі 3.1 Додатку I до Директиви 2010/75/EU, а саме:

«3.1. Виробництво цементу, вапна та оксиду магнію», до яких належать:

- (a) виробництво цементного клінкеру в обертових печах виробничою потужністю понад 500 тонн на добу або в інших печах виробничою потужністю понад 50 тонн на добу;
- (b) виробництво вапна в печах виробничою потужністю понад 50 тонн на добу;
- (c) виробництво оксиду магнію в печах виробничою потужністю понад 50 тонн на добу.

Стосовно згаданого вище пункту 3.1 (c), ці висновки щодо НДТМ стосуються лише виробництва MgO сухим технологічним методом, що базується на використанні видобутого природного магнезиту (карбонату магнію – MgCO<sub>3</sub>).

Зокрема, з огляду на наведені вище види діяльності, висновки щодо НДТМ охоплюють такі аспекти:

- виробництво цементу, вапна та оксиду магнію (сухим технологічним методом);
- сировина – зберігання та підготовка;
- паливо – зберігання та підготовка;
- використання відходів у якості сировини та/або палива, вимоги до якості, контроль та підготовка;
- продукція – зберігання та підготовка;
- пакування та відвантаження.

Ці висновки щодо НДТМ не стосуються таких видів діяльності:

- виробництво оксиду магнію за допомогою мокрого технологічного методу з використанням хлориду магнію як вихідного матеріалу – ця діяльність розглядається у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S);
- виробництво доломітового вапна з наднизьким вмістом вуглецю (тобто суміші оксидів кальцію та магнію, виготовленої шляхом майже повної декарбонізації доломіту (CaCO<sub>3</sub>· MgCO<sub>3</sub>). Остаточний вміст CO<sub>2</sub> у продукції менший, ніж 0,25%, а насипна щільність значно менша, ніж 3,05 г/см<sup>3</sup>);
- шахтні печі для виробництва цементного клінкеру;
- види діяльності, не пов'язані безпосередньо з первинною діяльністю, як от видобування з кар'єрів.

Нижче перелічені інші довідкові документи, які є суттєвими для видів діяльності, яких стосуються ці висновки щодо НДТМ:

Довідкові документи	Вид діяльності
Викиди зі складів (EFS)	Зберігання та поводження з сировиною та продукцією
Загальні принципи моніторингу (MON)	Моніторинг викидів та споживання ресурсів
Переробка відходів (WT)	Галузі переробки відходів
Енергоефективність (ENE)	Загальна енергоефективність
Економічні та міжсередовищні наслідки (ECM)	Економічні та міжсередовищні наслідки застосування технологій

Технології, перелічені та описані у цих висновках щодо НДТМ, не є обов'язковими, а їх перелік не є вичерпним. Можна використовувати й інші технології, які забезпечують принаймні еквівалентний рівень захисту навколишнього середовища.

У випадках, коли ці висновки щодо НДТМ стосуються установок сумісного спалювання відходів, це не звільняє від необхідності дотримуватися положень Частини IV Додатку VI до Директиви 2010/75/EU.

У випадках, коли ці висновки щодо НДТМ стосуються енергоефективності, це не звільняє від необхідності дотримуватися положень нової Директиви 2012/27/EU про енергоефективність.

## ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ

Обмін інформацією щодо НДТМ щодо секторів виробництва цементу, вапна та оксиду магнію завершився у 2008 році. Доступна на той момент інформація, доповнена додатковою інформацією щодо викидів у результаті виробництва оксиду магнію, була використана для формулювання цих висновків щодо НДТМ.

## ВИЗНАЧЕННЯ

Для цілей цих висновків щодо НДТМ застосовуються такі визначення:

Термін, що використовується	Визначення
Новий завод	Завод, вперше дозволений на промисловому майданчику на якому розташована установка після публікації цих висновків щодо НДТМ, або повна заміна заводу на існуючих фундаментах установки після публікації цих висновків щодо НДТМ
Існуючий завод	Завод, який не є новим заводом
Значна модернізація	Оновлення заводу/печі, що передбачає значні зміни у вимогах чи технології печі або заміну печі
«Використання відходів у якості палива та/або сировини»	Цей термін охоплює використання: <ul style="list-style-type: none"> <li>• видів палива з відходів, які характеризуються значною теплотою згорання; та</li> <li>• відходів, які не характеризуються значною теплотою згорання, проте містять мінеральні компоненти, що використовуються у якості сировини у складі проміжного клінкерного продукту; та</li> <li>• відходів, котрі характеризуються як значною теплотою згорання, так і наявністю мінеральних компонентів.</li> </ul>

## Визначення певних продуктів

Термін, що використовується	Визначення
Білий цемент	Цемент, що підпадає під визначення такого коду Переліку продукції Європейської спільноти (PRODCOM 2007): 26.51.12.10 – Білий портландцемент
Цемент спеціального призначення	Види цементу спеціального призначення, що підпадають під визначення таких кодів PRODCOM 2007: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 26.51.12.50 – Глиноземний цемент</li> <li>• 26.51.12.90 – Інші гідралічні цементи</li> </ul>
Доломітове вапно або кальциноване доломітове вапно:	Суміш оксидів кальцію та магнію, виготовлена шляхом декарбонізації доломіту ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), з залишковим вмістом $\text{CO}_2$ у продукті понад 0,25 % та насипною густиною комерційного продукту значно нижче 3,05 г <sup>3</sup> /см. Вільний вміст у вигляді MgO зазвичай становить від 25 % до 40 %.
Спечене доломітове вапно	Суміш оксидів кальцію та магнію, що використовується виключно для виробництва вогнетривкої цегли та іншої вогнетривкої продукції, з мінімальною насипною густиною 3,05 г <sup>3</sup> /см.

## Визначення певних речовин-забруднювачів повітря

Термін, що використовується	Визначення
NO <sub>x</sub> у перерахунку на NO <sub>2</sub>	Сума оксиду азоту (NO) та діоксиду азоту (NO <sub>2</sub> ) у перерахунку NO <sub>2</sub>
SO <sub>x</sub> у перерахунку на SO <sub>2</sub>	Сума діоксиду сірки (SO <sub>2</sub> ) та триоксиду сірки (SO <sub>3</sub> ) у перерахунку на SO <sub>2</sub>
Хлороводень у перерахунку на HCl	Усі газоподібні хлориди у перерахунку на HCl
Фтороводень у перерахунку на HF	Усі газоподібні фториди у перерахунку на HF

## Скорочення

КШП	Кільцева шахтна піч
НОМ	Намертво обпалена магnezія
I-TEQ	Міжнародний токсичний еквівалент
ДОП	Довга обертова піч
ШПЗЖ	Шахтна піч зі змішаним живленням або шахтна пересипна піч
ІІ	Інші печі У вапняній промисловості цей термін охоплює: <ul style="list-style-type: none"> <li>• шахтні печі з подвійною похилою камерою;</li> <li>• багатокамерні шахтні печі;</li> <li>• шахтні печі з центральним пальником;</li> <li>• шахтні печі з зовнішньою камерою;</li> <li>• шахтні печі з променевим пальником;</li> <li>• шахтні печі з внутрішньою аркою;</li> <li>• печі з рухомим колосником;</li> <li>• «кегледобібні» печі;</li> <li>• печі зваженого кальцинування;</li> <li>• печі з обертотим подом.</li> </ul>
ІІІП	Інші шахтні печі (шахтні печі, відмінні від КШП та ШПЗЖ)
ПХДД	Поліхлорований дибензопарадіоксин
ПХДФ	Поліхлорований дибензофуран
ПРП	Прямоточна регенеративна піч
ОПП	Обертова піч з підігрівачем

## ЗАГАЛЬНІ МІРКУВАННЯ

### Періоди усереднення та базові умови викидів у повітря

Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ (ВАТ-АЕЛ), вказані для стандартних умов: сухий газ за температури 273 К та тиску 1013 гПа.

Значення, наведені у вигляді концентрацій, дійсні для таких базових умов:

Види діяльності		Базові умови
Види діяльності, пов'язані з піччю	Цементна промисловість	10 % кисню за об'ємом
	Вапняна промисловість <sup>(1)</sup>	11 % кисню за об'ємом
	Галузь виробництва оксиду магнію (сухий технологічний метод) <sup>(2)</sup>	10 % кисню за об'ємом
Види діяльності, не пов'язані з піччю	Усі технологічні процеси	Без поправки на кисень
	Установки гідратації вапна	У тому стані, в якому було викинуто (без поправки на кисень та сухий газ)

<sup>(1)</sup> Для спеченого доломітового вапна, виготовленого за допомогою «двопрохідного процесу», поправка на кисень не застосовується.  
<sup>(2)</sup> Для намертво обпаленої магнезії, виготовленої за допомогою «двопрохідного процесу», поправка на кисень не застосовується.

Для періодів усереднення застосовуються такі визначення:

Середньодобове значення	Середнє значення за 24-годинний період, виміряне шляхом безперервного моніторингу викидів
Середнє значення за період відбору проб	Середнє значення, отримане шляхом точкових (періодичних) вимірювань тривалістю принаймні 30 хвилин кожне, якщо не зазначено інше

### Перерахунок на базову концентрацію кисню

Формула для розрахунку концентрації викидів за базовим рівнем кисню наведена нижче:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * E_M$$

Де:

$E_R$  (мг/м<sup>3</sup> н.у.): концентрація викидів у перерахунку на базовий вміст кисню  $O_R$

$O_R$  (об'ємні %): базовий рівень кисню

$E_M$  (мг/м<sup>3</sup> н.у.): концентрація викидів у перерахунку на виміряний вміст кисню  $O_M$

$O_M$  (об'ємні %): виміряний рівень кисню

## 4.1 Загальні висновки щодо НДТМ

НДТМ, наведені в цьому розділі, стосуються всіх установок, на які поширюються ці висновки щодо НДТМ (у галузях виробництва цементу, вапна та оксиду магнію).

Крім загальних НДТМ, наведених у цьому розділі, до галузей застосовуються НДТМ для конкретних технологічних процесів, що містяться в розділах 4.2 – 4.4.

### 4.1.1 Системи управління навколишнім середовищем (EMS)

1. Для того, щоб покращити загальні екологічні показники заводів/установок, що виготовляють цемент, вапно та оксид магнію, виробничі НДТМ полягають у тому, щоб реалізувати та дотримуватися системи управління навколишнім середовищем (EMS), яка охоплює всі перелічені нижче функції:

- i. цілеспрямована політика керівництва, у тому числі вищого керівництва;
- ii. визначення політики у сфері охорони навколишнього середовища, у складі якої передбачене постійне вдосконалення установки керівництвом;
- iii. планування та впровадження необхідних процедур, цілей та цільових показників у поєднанні з фінансовим плануванням та інвестиціями;
- iv. реалізація процедур з особливою увагою до таких моментів:
  - (a) структура та відповідальність;
  - (b) навчання, обізнаність та компетенція;
  - (c) зв'язок;
  - (d) залучення працівників;
  - (e) документація;
  - (f) ефективне керування технологічними процесами;
  - (g) програми технічного обслуговування;
  - (h) аварійна готовність та реагування;
  - (i) забезпечення дотримання законодавства щодо охорони навколишнього середовища;
- v. перевірка робочих показників та вживання заходів для усунення порушень з особливою увагою до таких моментів:
  - (a) моніторинг та вимірювання (також див. Довідковий документ щодо загальних принципів моніторингу);
  - (b) заходи з усунення та профілактики порушень;
  - (c) ведення записів;
  - (d) незалежний (якщо це доцільно) внутрішній та зовнішній аудит, метою якого є визначити, чи відповідає система управління навколишнім середовищем запланованим механізмам, і чи правильно вона реалізована та підтримується;
- vi. перевірка системи управління навколишнім середовищем та її відповідності сучасним вимогам, адекватності та дієвості вищим керівництвом;
- vii. наступна розробка екологічно чистіших технологій;
- viii. врахування впливу майбутнього виведення установки з експлуатації на навколишнє середовище на етапі проектування нового заводу та протягом його терміну експлуатації;
- ix. систематичне застосування бенчмаркінгу шляхом зіставлення з іншими секторами за еталонними показниками.

#### Застосування

Обсяг (наприклад, ступінь деталізації) та характер системи управління навколишнім середовищем (наприклад, стандартизована чи нестандартизована) загалом пов'язаний з характером, масштабом та складністю установки та діапазоном впливів на навколишнє середовище, які вона може створювати.

## 4.1.2 Шум

2. Для того, щоб знизити/мінімізувати шумове випромінювання під час процесів виробництва цементу, вапна та оксиду магнію, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати поєднання перелічених нижче технологій:

	Технологія
a	Вибрати належне місце для шумних операцій
b	Обгородити кожухами шумні операції/агрегати
c	Влаштувати віброізоляцію операцій/агрегатів
d	Влаштувати внутрішню та зовнішню футеровку з матеріалу, який поглинає удари
e	Спорудити звукоізольовані будівлі для укриття будь-яких шумних операцій з участю обладнання, яке перетворює матеріали
f	Спорудити шумозахисні стіни та/або природні шумові бар'єри
g	Влаштувати глушники шуму на виході димових труб
h	Обшити ізоляцією канали та кінцеві повітроводувки, розташовані у звукоізольованих будівлях
i	Тримати закритими двері та вікна критих ділянок
j	Забезпечити звукоізоляцію будівель, у яких встановлені машини
k	Забезпечити звукоізоляцію отворів у стінах – наприклад, шляхом встановлення шлюзу в місці входу стрічкового конвеєра
l	Встановити звукопоглиначі на повітровипускних отворах – наприклад, на отворі для випускання очищених газів з пиловловлювальних установок
m	Зменшити витрати в каналах
n	Влаштувати звукоізоляцію каналів
o	Застосовувати розосереджене розташування джерел шуму та компонентів, які потенційно можуть резонувати, як-от компресори та канали
p	Влаштувати глушники для вентиляторів фільтрів
q	Використовувати звукоізольовані модулі технічних пристроїв (наприклад, компресорів)
r	Використовувати гумові щити на млинах (для уникнення контакту металу з металом)
s	Спорудити будівлі чи посадити дерева та кущі між зоною, яку потрібно захистити, та місцем шумної діяльності



## 4.2 Висновки щодо НДТМ для цементної промисловості

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок у цементній промисловості.

### 4.2.1 Загальні первинні технології

3. Для того, щоб знизити викиди з печей та ефективно використовувати енергію, НДТМ полягає у тому, щоб забезпечити рівномірний та стабільний пічний процес і роботу з параметрами технологічними процесу, близькими до уставок, за допомогою перелічених нижче технологій:

Технологія	
a	Оптимізація керування технологічним процесом, у тому числі застосування комп'ютеризованого автоматичного керування
b	Використання сучасних гравіметричних систем подавання твердого палива

4. Для того, щоб запобігти викидам та/або знизити їх, НДТМ полягає у тому, щоб ретельно вибирати та контролювати всі речовини, які потрапляють у піч.

#### Опис

Викиди можна знизити шляхом ретельного вибору та контролю речовин, що подаються у піч. Чинниками, які потрібно враховувати під час вибору речовин, є хімічний склад речовин та спосіб їх подавання у піч. Речовини, про які йде мова, можуть містити речовини, згадані у НДТМ 11 та у НДТМ 24 – 28.

### 4.2.2 Моніторинг

5. НДТМ полягає у тому, щоб систематично здійснювати моніторинг та вимірювання параметрів технологічного процесу та викидів та здійснювати моніторинг викидів згідно з відповідними стандартами EN або, якщо такі стандарти EN відсутні, згідно зі стандартами ISO, національними або іншими міжнародними стандартами, які забезпечують надання даних еквівалентної наукової якості, зокрема:

	Технологія	Застосування
a	Безперервне вимірювання параметрів технологічного процесу, які демонструють стабільність технологічного процесу, таких як температура, вміст O <sub>2</sub> , тиск та витрата	Загалом може застосовуватися
b	Моніторинг і стабілізація критично важливих параметрів технологічного процесу, тобто однорідності сировинної суміші та палива, що подається в піч, рівномірного дозування та надлишку кисню	Загалом може застосовуватися
c	Безперервні вимірювання викидів NH <sub>3</sub> при застосування СНКВ	Загалом може застосовуватися
d	Безперервні вимірювання викидів пилу, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> та CO	Може застосовуватися для всіх пічних процесів
e	Періодичні вимірювання викидів ПХДД/Ф та металів	
f	Безперервні або періодичні вимірювання викидів HCl, HF та ЗОВ	
g	Безперервні або періодичні вимірювання викидів пилу	Може застосовуватися для всіх видів діяльності, не пов'язаних з піччю.  Для невеликих джерел викидів (<10 000 м <sup>3</sup> н. у./год.) у результаті пилюких операцій, відмінних від процесів охолодження та основного роздрібнення, частота вимірювань або перевірок робочих показників повинна базуватися на системі керування технічним обслуговуванням.

**Опис**

Вибір безперервних або періодичних вимірювань, згаданих у НДТМ 5 (f), залежить від джерела викидів та типу забруднюючої речовини, викиди якої очікуються.

**4.2.3 Споживання енергії та вибір технологічного процесу**

**4.2.3.1 Вибір технологічного процесу**

6. Для того, щоб знизити споживання енергії, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати піч, яка працює за сухим способом, з багатоступеневим підігріванням та попереднім кальцинуванням.

**Опис**

У пічній системі цього типу відхідні гази та регеноване відхідне тепло від холодильника можна використовувати для підігрівання та попереднього кальцинування сировини, що завантажується в піч, перед її потраплянням у піч, а відтак значно заощадити на споживанні енергії.

**Застосування**

Може застосовуватися для нових заводів та значних модернізацій, залежно від вмісту вологи у сировині.

**Відповідні рівні споживання енергії для НДТМ**

Див. Таблицю 4.1.

**Таблиця 4.1. Відповідні рівні споживання енергії для НДТМ у разі будівництва нових заводів та значних модернізацій заводів, на яких використовуються печі з багатоступеневим підігріванням та попереднім кальцинуванням, що працюють за сухим способом**

Технологічний процес	Одиниця вимірювання	Відповідні рівні споживання енергії для НДТМ <sup>(1)</sup>
Сухий технологічний процес з багатоступеневим підігріванням та попереднім кальцинуванням	МДж/тону клінкеру	2 900 – 3 300 <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup>
<p><sup>(1)</sup> Ці рівні не стосуються печей, які виготовляють клінкер для цементу спеціального призначення чи білого цементу і потребують значно вищих температур технологічного процесу з огляду на технічні вимоги до продукту.</p> <p><sup>(2)</sup> За нормальних (за винятком, наприклад, пусків та зупинок) та оптимізованих умов роботи</p> <p><sup>(3)</sup> Виробнича потужність впливає на потребу в енергії: більші потужності дають змогу заощадити енергію, а менші потужності потребують більше енергії. Споживання енергії також залежить від кількості ступенів циклонного підігрівача: чим більше ступенів у циклонному підігрівачі, тим менше енергії споживається у пічному процесі. Належна кількість ступенів циклонного підігрівача визначається головним чином за вмістом вологи у сировині.</p>		

## 4.2.3.2 Споживання енергії

7. Для того, щоб зменшити/мінімізувати споживання теплової енергії, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати поєднання перелічених нижче технологій:

	Технологія	Застосування
a	Застосування вдосконалених та оптимізованих пічних систем і рівномірного та стабільного пічного процесу, а також робота з параметрами технологічного процесу, близькими до уставок, у такі способи: I. оптимізація керування технологічним процесом, у тому числі застосування комп'ютеризованих систем автоматичного керування II. застосування сучасних гравіметричних систем подавання твердого палива III. підігрівання та попереднє кальцинування тією мірою, наскільки це можливо, з урахуванням існуючої конфігурації пічної системи	Загалом може застосовуватися. Застосування підігрівання та попереднього кальцинування в існуючих печах залежить від конфігурації пічної системи
b	Регенерація надлишкового тепла, що виділяється печами, особливо їх зоною охолодження. Зокрема, надлишок пічного тепла, що надходить з зони охолодження (гаряче повітря) або від підігрівача, можна використовувати для сушіння сировини	Загалом може застосовуватися у цементній промисловості.  Регенерація надлишкового тепла з зони охолодження може застосовуватися у разі використання колосникових холодильників.  З обертовими холодильниками можна досягти обмеженої ефективності регенерації
c	Застосування належної кількості циклонних ступенів залежно від характеристик та властивостей сировини і палива, що використовуються	Ступені циклонних підігрівачів можуть застосовуватися на нових заводах та у рамках значних модернізацій.
d	Використання палива з характеристиками, які сприятливо впливають на споживання теплової енергії	Ця технологія загалом може застосовуватися для цементних печей залежно від доступності палива та для існуючих печей залежно від технічних можливостей вприскування палива в піч
e	У разі заміни викопного палива паливом з відходів – використання оптимізованих та належних систем цементних печей для спалювання відходів	Загалом може застосовуватися для всіх типів цементних печей
f	Мінімізація обхідних витрат	Загалом може застосовуватися у цементній промисловості

**Опис**

На споживання енергії сучасними пічними системами впливають кілька факторів, таких як властивості сировини – наприклад, вміст вологи, обпалюваність, використання палива з різними властивостями, а також використання обхідної системи для газу. Крім того, на споживання енергії впливає виробнича потужність печі.

Технологія 7c: належна кількість циклонних ступенів для підігрівання визначається за пропускну здатністю та вмістом вологи у сировині та паливі, які повинні бути висушені залишковим теплом відхідних газів, оскільки місцева специфіка сировини з точки зору вмісту вологи або обпалюваності дуже різниться

Технологія 7d: у цементній промисловості можна використовувати викопне паливо та паливо з відходів. Характеристики палива, що використовується, як-от належна температура згорання та низький вміст вологи, сприятливо впливають на питомих споживання енергії піччю.

Технологія 7f: випускання з печі гарячої сировини та гарячих газів збільшує питомих споживання енергії приблизно до 6 – 12 МДж/тону клінкеру на один процент видаленого газу на вході печі. Тому мінімізація використання обхідної лінії для газу сприятливо впливає на споживання енергії.

8. Для того, щоб знизити споживання первинної енергії, НДТМ полягає у тому, щоб знизити вміст клінкеру в цементі та цементній продукції.

**Опис**

Зниження вмісту клінкеру в цементі та цементній продукції можна досягти шляхом додавання заповнювачів та/або добавок, таких як шлак доменних печей, вапняк, зола-винос та пуцолан, на етапі помелу згідно з відповідними стандартами на цемент.

**Застосування**

Загалом може застосовуватися у цементній промисловості залежно від доступності (у даній місцевості) заповнювачів та/або добавок і від специфіки місцевого ринку.

9. Для того, щоб знизити споживання первинної енергії, НДТМ полягає у тому, щоб розглянути можливість комбінованого виробництва тепла та електроенергії / застосування теплоелектроцентралей.

**Опис**

У цементній промисловості можуть застосовуватися когенераційні установки для комбінованого виробництва тепла та електроенергії або теплоелектроцентралі шляхом регенерації тепла з клінкерного холодильника або димових газів печі за допомогою традиційних процесів на основі паросилового циклу чи інших технологій. Крім того, надлишок тепла можна регенерувати з клінкерного холодильника або димових газів печі для централізованого опалення чи застосування у промисловості.

**Застосування**

Ця технологія може застосовуватися для всіх цементних печей за наявності достатньої кількості надлишкового тепла, якщо при цьому можна забезпечити дотримання належних параметрів технологічного процесу і гарантувати рентабельність.

10. Для того, щоб зменшити/мінімізувати споживання електроенергії, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Використання систем керування розподілом електроенергії
b	Використання помельного обладнання та іншого електричного обладнання з високою енергоефективністю
c	Використання вдосконалених систем моніторингу
d	Зменшення затікання повітря у систему
e	Оптимізація керування технологічним процесом

**4.2.4 Використання відходів**

**4.2.4.1 Контроль якості відходів**

11. Для того, щоб гарантувати належні характеристики відходів, які будуть використовуватися у якості палива та/або сировини в цементній печі, та зменшити викиди, НДТМ полягає у тому, щоб застосовувати такі технології:

	Технологія
a	Застосовувати системи контролю якості, щоб гарантувати потрібні характеристики відходів та аналізувати всі відходи, які плануються використовувати у якості сировини та/або палива у цементній печі, на предмет таких критеріїв: I. постійна якість II. фізичні критерії, наприклад, утворення викидів, грубість подрібнення, реактивність, обпалюваність, теплота згорання III. хімічні критерії, наприклад, вміст хлору, сірки, лугів та фосфатів і вміст відповідних металів
b	Контролювати величини відповідних параметрів будь-яких відходів, які плануються використовувати у якості сировини та/або палива для цементної печі, таких як вміст хлору, відповідних металів (наприклад, кадмію, ртуті, талію), сірки, а також загальний вміст галогенів
c	Застосовувати системи контролю якості для кожної порції відходів, що завантажується в піч

**Опис**

Первинну сировину та/або викопні палива, що використовуються у виробництві цементу, можна замінити різними видами відходів і таким чином посприяти збереженню природних ресурсів.

**4.2.4.2 Завантаження відходів у піч**

12. Для того, щоб гарантувати належне поводження з відходами, які будуть використовуватися у якості палива та/або сировини в печі, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати такі технології:

Технологія	
a	Використовувати належні точки живлення для завантаження відходів у піч з точки зору температури та часу перебування в печі, залежно від конструкції печі та експлуатації печі
b	У разі подавання відходів, що містять органічні сполуки, які можуть переходити в леткий стан перед зоною кальцинування, – завантажувати їх у зони пічної системи з достатньо високою температурою
c	Експлуатувати систему таким чином, щоб газ, який утворюється в результаті сумісного спалювання відходів, рівномірно та у контрольований спосіб – навіть за найбільш несприятливих умов – нагрівався до температури 850 °C за 2 секунди
d	Підвищити температуру до 1 100 °C, якщо у сумісному режимі спалюються небезпечні відходи, що містять понад 1 % галогенізованих органічних сполук у перерахунку на хлор
e	Завантажувати відходи в піч постійно і безперервно
f	Призупиняти чи припиняти сумісне спалювання відходів на час таких операцій, як пуски та/або зупинки, якщо під час цих операцій неможливо досягти належних температур та тривалостей перебування в печі, як зазначено у пунктах a) – d) вище

**4.2.4.3 Керування технікою безпеки у разі використання небезпечних відходів**

13. НДТМ полягає у тому, щоб застосовувати керування технікою безпеки під час зберігання, переміщення та завантаження в піч небезпечних відходів – наприклад, застосовувати підхід на основі оцінки ризиків, залежно від джерела та типу відходів, для маркування, перевірки, відбору проб та випробування відходів, з якими планується виконувати операції.

## 4.2.5 Викиди пилу

### 4.2.5.1 Неорганізовані джерела викидів

14. Для того, що мінімізувати/запобігти неорганізованим викидам пилу у результаті пилких операцій, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія	Застосування
a	Забезпечити просте та лінійне компонування майданчика установки	Може застосовуватися лише для нових заводів
b	Огородити / закрити кожухами операції, що супроводжуються утворенням пилу, такі як помел, просіювання та перемішування	Загалом може застосовуватися
c	Укривати конвеєри та елеватори які конструюються як закриті системи, якщо є велика ймовірність, що пилоподібні матеріали будуть створювати неорганізовані викиди пилу	
d	Зменшити витоки повітря та кількості точок просипання	
e	Використовувати автоматичні пристрої та системи контролю	
f	Забезпечити безаварійну роботу	
g	Забезпечити належне і повне технічне обслуговування установки за допомогою пересувних і стаціонарних вакуумних очисних систем. а) Під час операцій технічного обслуговування або у разі відмови транспортних систем матеріали можуть просипатися. Для запобігання утворенню неорганізованого пилу під час операцій з прибирання матеріалів слід використовувати вакуумні системи. Нові будівлі можна легко обладнати трубопроводами стаціонарних вакуумних очисних систем, а існуючі будівлі зазвичай зручніше оснащувати пересувними системами з гнучкими з'єднаннями • У певних випадках для пневматичних транспортних систем більш доцільно реалізувати циркуляційний процес	
h	Забезпечувати вентиляцію та уловлювати пил в рукавні фільтри: • Усі вантажні операції з матеріалами, наскільки це можливо, слід виконувати у закритих системах, в яких підтримується розрідження. Всмоктане з цією метою повітря потім очищається від пилу в рукавних фільтрах, і лише тоді викидається в повітря;	
i	Використання закритого сховища з автоматичною системою завантаження-розвантаження: • Силоси для клінкеру та повністю автоматизовані закриті складські майданчики для сировини вважаються найефективнішим рішенням проблеми неорганізованого пилу, що утворюється великими об'ємами запасів. Ці типи сховищ обладнані одним або кількома рукавними фільтрами для запобігання утворенню неорганізованого пилу під час операцій завантаження та розвантаження; • Використання силосів для зберігання належної місткості, індикаторів рівня з рубильниками та фільтрами для очищення запиленого повітря, що рухається під час операцій заповнення.	
j	Для процесів відвантаження та завантаження – використання гнучких наповнювальних труб, обладнаних системою відсмоктування пилу для вантаження цементу і спрямованих на завантажувальну підлогу вантажівки.	

- 15. Для того, що мінімізувати/запобігти неорганізованим викидам пилу з майданчиків зберігання насипом, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:**

Технологія	
a	Укривати майданчики зберігання насипом чи кагатів або обгороджувати їх екранами, стінами або огорожами, що складаються з вертикальних зелених насаджень (штучними або природними вітрозахисних бар'єрами для захисту відкритих складів від вітру).
b	Забезпечувати захист відкритих складів від вітру: b) Слід уникати зберігання пилоподібних матеріалів у кагатах під відкритим небом, проте якщо такі кагати існують, неорганізовані викиди пилу можна зменшити за допомогою вітрових бар'єрів належної конструкції
c	Розбризкувати воду або хімічні засоби придушення пилу: c) Якщо точкове джерело неорганізованого пилу точно локалізоване, можна встановити струменеву систему розбризкування води. Зволожені частки пилу краще злипаються, а це сприяє осадженню пилу. Існує велике розмаїття засобів для покращення загальної ефективності розбризкування води;
d	Забезпечити вимощування, змочування доріг та підтримання чистоти: d) Ділянки, по яких їздять вантажівки, повинні бути вимощені, якщо це можливо, а поверхні слід тримати максимально чистими. За допомогою змочування доріг можна знизити неорганізовані викиди пилу, особливо у суху погоду. Дороги також можна прибирати підмітально-прибиральними машинами. Для зведення до мінімуму неорганізованих викидів пилу слід дотримуватися належних практик прибирання;
e	Забезпечити зволоження відкритих складів: e) Неорганізовані викиди пилу з відкритих складів можна зменшити шляхом достатнього зволоження пунктів завантаження і розвантаження та використання конвеєрних стрічок з регульованою висотою
f	Якщо неорганізованих викидів пилу у пунктах завантаження та розвантаження на складських майданчиках неможливо уникнути – слідкувати за тим, щоб висота розвантаження відповідала змінній висоті кагату (автоматично, якщо це можливо, або шляхом зменшення швидкості розвантаження)

#### 4.2.5.2 Організовані джерела викидів в результаті пилких операцій

У цьому розділі розглядаються викиди пилу, що утворюються в результаті пилких операцій, відмінних від процесів випалювання в печі, охолодження та основного подрібнення. До них належать такі процеси, як дроблення сировини; конвеєри та елеватори для сировини; зберігання сировини, клінкеру та цементу; зберігання палива та відвантаження цементу.

- 16. Для того, щоб зменшити організовані джерела викидів, НДТМ полягає у тому, щоб застосовувати систему керування технічним обслуговуванням, яка контролює, зокрема, робочі показники фільтрів, що застосовуються у пилких операціях, відмінних від процесів випалювання в печі, охолодження та основного подрібнення. З урахуванням цієї системи керування технічним обслуговуванням, НДТМ полягає в тому, щоб забезпечити очищення димових газів за допомогою фільтра.**

##### Опис

У випадку пилких операцій для сухого очищення димових газів за допомогою фільтра зазвичай використовується рукавний фільтр. Рукавні фільтри описані у розділі 4.5.1.

##### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

ВАТ-AEL для організованих викидів пилу у результаті пилких операцій (відмінних від процесів випалювання в печі, охолодження та основного подрібнення) становить  $<10 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини).

Слід зазначити, що для малих джерел ( $<10\,000 \text{ м}^3$  н. у./год.) при визначенні частоти перевірки робочих показників фільтра потрібно враховувати пріоритетний підхід, що базується на використанні системи керування технічним обслуговуванням (також див. НДТМ 5).

#### 4.2.5.3 Викиди пилу у результаті процесів випалювання в печі

17. Для того, щоб знизити викиди пилу з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб забезпечити очищення сухих димових газів за допомогою фільтра.

Технологія <sup>(1)</sup>	Застосування
a. Електрофільтри (ЕСП)	Може застосовуватися для всіх пічних систем
b. Рукавні фільтри	
c. Комбіновані фільтри	

<sup>(1)</sup> Ці технології описані у розділі 4.5.1.

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

ВАТ-АЕЛ для викидів пилу з димовими газами у процесах випалювання в печі становить <10 – 20 мг/м<sup>3</sup> н. у. в перерахунку на середньодобове значення. Нижчого рівня вдається досягти при застосуванні рукавних фільтрів або нових чи модернізованих електрофільтрів.

#### 4.2.5.4 Викиди пилу у результаті процесів охолодження та роздрібнення

18. Для того, щоб знизити викиди пилу з димовими газами у процесах охолодження та роздрібнення, НДТМ полягає в тому, щоб забезпечити очищення димових газів за допомогою фільтра.

	Технологія <sup>(1)</sup>	Застосування
a	Електрофільтри (ЕСП)	Загалом може застосовуватися для клінкерних холодильників та цементних млинів
b	Рукавні фільтри	Загалом може застосовуватися для клінкерних холодильників та млинів
c	Комбіновані фільтри	Може застосовуватися для клінкерних холодильників та цементних млинів

<sup>(1)</sup> Ці технології описані у розділі 4.5.1

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

ВАТ-АЕЛ для викидів пилу з димовими газами у процесах охолодження та роздрібнення становить <10 – 20 мг/м<sup>3</sup> н. у. в перерахунку на середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини). Нижчого рівня вдається досягти при застосуванні рукавних фільтрів або нових чи модернізованих електрофільтрів.



## 4.2.6 Газоподібні сполуки

### 4.2.6.1 Зниження викидів NO<sub>x</sub>

19. Для того, щоб знизити викиди NO<sub>x</sub> з димовими газами у процесах випалювання в печі та/або підігрівання / попереднього кальцинування, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених технологій або їх поєднання:

	Технологія <sup>(1)</sup>	Застосування
	Первинні технології	
a	I. Охолодження полум'я	Може застосовуватися для всіх типів печей, що використовуються для виробництва цементу. Ступінь застосовності може бути обмежений вимогами до якості продукту та потенційними впливами на стабільність процесу
	II. Пальники з низьким виділенням NO <sub>x</sub>	Може застосовуватися для всіх обортових печей – в основній печі, а також у попередньому кальцинаторі
	III. Випалювання в серединній частині печі	Загалом може застосовуватися для довгих обортових печей
	IV. Додавання мінералізаторів для покращення обпалюваності сировинної муки (мінералізованого клінкеру)	Загалом може застосовуватися для обортових печей з урахуванням вимог до якості готового продукту
	V. Оптимізація технологічного процесу	Загалом може застосовуватися для всіх печей
b	Ступінчасте спалювання (випального палива або палива з відходів), також у поєднанні з попереднім кальцинатором та використанням оптимізованої паливної суміші	Загалом може застосовуватися лише в печах, обладнаних попереднім кальцинатором. Для систем циклонних підігрівачів без попереднього кальцинатора необхідно значно модифікувати установку.  У печах без попереднього кальцинатора на зниження викидів NO <sub>x</sub> може сприятливо впливати спалювання грудкового палива – залежно від здатності створювати керовану відновлювану атмосферу та можливості керування пов'язаними з цим паливом викидами CO
c	Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)	В принципі, може застосовуватися для обортових цементних печей. Зони вприскування різняться залежно від типу пічного процесу. У довгих печах, що працюють за мокрим та сухим способом, може бути важко забезпечити правильну температуру та потрібний час перебування в печі. Також див. НДТМ 20
d	Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	Застосування залежить від розробки належного каталізатора та технологічного процесу у цементній промисловості
<sup>(1)</sup> Ці технології описані у розділі 0		

### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ:

Див. Таблицю 4.2.

**Таблиця 4.2. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів NO<sub>x</sub> з димовими газами у процесах випалювання в печі та/або підігрівання / попереднього кальцинування у цементній промисловості**

Тип печі	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ (середньодобове значення)
Печі з підігрівачем	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<200 – 450 <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>
Печі Леполя та довгі обортові печі	мг/м <sup>3</sup> н.у.	400 – 800 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Верхній рівень діапазону ВАТ-АЕЛ становить 500 мг/м<sup>3</sup> н.у., якщо початковий рівень NO<sub>x</sub> після застосування первинних технологій >1 000 мг/м<sup>3</sup> н.у.

<sup>(2)</sup> На здатність підтримання викидів у межах діапазону впливає існуюча конструкція пічної системи, властивості паливної суміші (у тому числі палива з відходів) та обпалюваність сировини (наприклад, клінкеру для цементу спеціального призначення чи білого цементу). Рівні нижче 350 мг/м<sup>3</sup> н.у. досягаються в печах, у яких СНКВ застосовується за сприятливих умов. У 2008 році нижче значення в 200 мг/м<sup>3</sup> н.у. було повідомлене як середньомісячне значення для трьох заводів (з використанням легкогорючої паливної суміші), на яких застосовувалося СНКВ.

<sup>(3)</sup> Залежно від початкового рівня та проскоку NH<sub>3</sub>.

20. У разі використання СНКВ НДТМ полягає в тому, щоб досягти ефективного зниження рівня  $\text{NO}_x$  і водночас забезпечити якомога менший проскок аміаку за допомогою таких технологій:

	Технологія
a	Забезпечити належну та достатню ефективність відновлення $\text{NO}_x$ водночас зі стабільним процесом роботи
b	Забезпечити належний стехіометричний розподіл аміаку для досягнення максимально ефективного відновлення $\text{NO}_x$ та для зменшення проскоку $\text{NH}_3$
c	Підтримувати викиди в результаті проскоку $\text{NH}_3$ (внаслідок того, що не весь аміак прореагував) з димовими газами на якомога нижчому рівні з урахуванням залежності між ефективністю зниження викидів $\text{NO}_x$ та проскоком $\text{NH}_3$

### Застосування

СНКВ загалом може застосовуватися для обертових цементних печей. Зони вприскування різняться залежно від типу пічного процесу. У довгих печах, що працюють за мокрим та сухим способом, може бути важко забезпечити правильну температуру та потрібний час перебування в печі. Також див. НДТМ 19.

### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ:

Див. Таблицю 4.3.

Таблиця 4.3. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для проскоку  $\text{NH}_3$  в димових газах при застосуванні СНКВ

Параметр	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ (середньодобове значення)
Проскок $\text{NH}_3$	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<30 – 50 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Проскок аміаку залежить від початкового рівня  $\text{NO}_x$  та від ефективності зниження викидів  $\text{NO}_x$ . Для печей Леполя та довгих обертових печей цей рівень може бути навіть вищим.

#### 4.2.6.2 Викиди $\text{SO}_x$

21. Для того, щоб знизити/мінімізувати викиди  $\text{SO}_x$  з димовими газами у процесах випалювання в печі та/або підігрівання / попереднього кальцинування, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених технологій:

	Технологія <sup>(1)</sup>	Застосування
a	Додавання абсорбентів	Додавання абсорбенту, в принципі, підходить для всіх пічних систем, хоча переважно використовується в установках підігрівання у зваженому стані. Додавання вапна в матеріал, що завантажується в піч, знижує якість гранул/зерен і створює проблеми з течією матеріалу в печах Леполя. Для печей з підігрівачами було виявлено, що безпосереднє вприскування гашеного вапна у димові гази менш ефективне, ніж додавання гашеного вапна в матеріал, що завантажується в піч
b	Мокрий скрубєр	Може застосовуватися для всіх типів цементних печей з належними (достатніми) рівнями $\text{SO}_2$ для виготовлення гіпсу

<sup>(1)</sup> Ці технології описані у розділі 4.5.3.

### Опис

Залежно від якості сировини та палива, рівні викидів  $\text{SO}_x$  можна підтримувати низькими без необхідності застосовувати жодні технології зниження викидів.

За необхідності для зниження викидів  $\text{SO}_x$  можна застосовувати первинні технології та/або технології зниження викидів, такі як додавання абсорбенту або використання мокрого скрубєра.

Мокрі скрубери вже експлуатуються на заводах з початковими рівнями  $SO_x$  до зниження викидів понад 800 – 1 000 мг/м<sup>3</sup> н.у.

### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

Див. Таблицю 4.4.

**Таблиця 4.4. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів  $SO_x$  з димовими газами у процесах випалювання в печі та/або підігрівання / попереднього кальцинування у цементній промисловості**

Параметр	Одиниця вимірювання	ВАТ-AEL <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> (середньодобове значення)
$SO_x$ у перерахунку на $SO_2$	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<50 – 400
<sup>(1)</sup> У цьому діапазоні враховано вміст сірки у сировині.		
<sup>(2)</sup> У разі виробництва клінкеру для білого цементу та цементу спеціального призначення здатність клінкеру зв'язувати сірку, що надходить у складі палива, може бути нижчою, а це призведе до більших викидів $SO_x$ .		

### 22. Для того, щоб знизити викиди $SO_2$ з печі, НДТМ полягає в тому, щоб оптимізувати процеси роздрібнення сировини.

#### Опис

Ця технологія полягає в оптимізації процесу роздрібнення сировини таким чином, щоб сировинний млин міг працювати як засіб зниження викидів  $SO_2$  з печі. Цього можна досягти шляхом регулювання таких факторів:

- f) вміст вологи в сировині
- g) температура у млині
- h) час перебування у млині
- i) тонина помелу розмеленого матеріалу.

#### Застосування

Може застосовуватися, якщо процес сухого роздрібнення використовується у сумісному режимі.

### 4.2.6.3 Викиди CO та відключення за рівнем CO

#### 4.2.6.3.1 Зменшення частоти відключень за рівнем CO

### 23. Для того, щоб мінімізувати частоту відключень за рівнем CO та не допустити їх загальної тривалості понад 30 хвилин на рік при застосуванні електрофільтрів (ЕСП), НДТМ полягає у застосуванні поєднання таких технологій:

	Технологія
a	Керувати відключеннями за рівнем CO для зменшення часу простоювання електрофільтра
b	Безперервні автоматичні вимірювання рівня CO за допомогою обладнання моніторингу, яке має короткий час реакції та розташоване поблизу джерела CO

#### Опис

З міркувань безпеки, через ризик вибуху, електрофільтри повинні вимикатися за наявності підвищених рівнів CO в димових газах. Перелічені нижче технології запобігають відключенням за рівнем CO, а отже, зменшують час простоювання електрофільтрів:

- керування процесом згорання;
- контроль навантаження за органічними забрудненнями у сировині;
- контроль якості палива та керування системою подавання палива.

Перебої трапляються головним чином на етапі пуску в експлуатацію. Щоб система працювала безпечно, газоаналізатори для захисту електрофільтрів повинні перебувати в роботі на всіх етапах експлуатації, а час простоювання електрофільтра можна скоротити за допомогою резервної системи моніторингу, яка підтримується в робочому стані.

Система безперервного моніторингу рівнів CO повинна бути оптимізована за часом реакції і розташована поблизу джерела CO – наприклад, на виході башти підігрівача, або на завантажувальному кінці печі, якщо піч працює за мокрим способом.

У разі використання комбінованих фільтрів рекомендується заземлювати опорну клітку мішків на комірчасту пластину.

#### 4.2.6.4 Викиди загального органічного вуглецю (ЗОВ)

24. Для того, щоб підтримувати низький рівень викидів ЗОВ з димовими газами, що утворюються у процесах випалювання печі, НДТМ полягає у тому, щоб уникати завантаження в пічну систему сировини з високим вмістом летких органічних сполук (ЛОС) через тракт завантаження сировини.

#### 4.2.6.5 Викиди хлороводню (HCl) та фтороводню (HF)

25. Для того, щоб запобігти/знизити викиди HCl з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче первинних технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Використовувати сировину та паливо з низьким вмістом хлору
b	Обмежити вміст хлору у будь-яких відходах, які планується використовувати у якості сировини та/або палива в цементній печі

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

ВАТ-АЕЛ для викидів HCl становить  $<10 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини).

26. Для того, щоб запобігти/знизити викиди HF з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче первинних технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Використовувати сировину та паливо з низьким вмістом фтору
b	Обмежити вміст фтору у будь-яких відходах, які планується використовувати у якості сировини та/або палива в цементній печі

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

ВАТ-АЕЛ для викидів HF становить  $<1 \text{ мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини).

#### 4.2.7 Викиди ПХДД/Ф

27. Для того, щоб запобігти викидам ПХДД/Ф або підтримувати низький рівень викидів ПХДД/Ф з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених технологій або їх поєднання:

	Технологія	Застосування
a	Ретельно вибирати та контролювати речовини (у складі сировини), що потрапляють у піч, тобто хлор, мідь та легкі органічні сполуки	Загалом може застосовуватися
b	Ретельно вибирати та контролювати речовини (у складі палива), що потрапляють у піч, тобто хлор та мідь	Загалом може застосовуватися
c	Обмежувати/уникати використання відходів, що містять хлоровані органічні матеріали	Загалом може застосовуватися
d	Уникати подавання палива з високим вмістом галогенів (наприклад, хлору) при вторинному випалюванні	Загалом може застосовуватися
e	Швидке охолодження димових газів печі до менш ніж 200 °С та зведення до мінімуму часу перебування димових газів і вмісту кисню в зонах з діапазоном температур від 300 до 450 °С	Може застосовуватися для довгих печей, що працюють за мокрим та сухим способом без підігрівання. У сучасних печах з підігрівачами та попередніми кальцинаторами ця функція вже закладена
f	Припиняти сумісне спалювання відходів на час таких операцій, як пуски та/або зупинки	Загалом може застосовуватися

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

ВАТ-АЕЛ для викидів ПХДД/Ф з димовими газами у процесах випалювання в печі становить <0,05 – 0,1 нг ПХДД/Ф I-ТЕQ/м<sup>3</sup> н. у. в перерахунку на середнє значення за період відбору проб (6 – 8 годин).

#### 4.2.8 Викиди металів

28. Для того, щоб мінімізувати викиди металів з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Вибір матеріалів з низьким вмістом значимих металів та обмеження вмісту значимих металів, особливо ртуті, у матеріалах
b	Використання системи контролю якості, щоб гарантувати потрібні характеристики відходів, які використовуються
c	Використання ефективних технологій видалення пилу, як викладено в НДТМ 17

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

Див. Таблицю 4.5

Таблиця 4.5. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для металів, що викидаються з димовими газами у процесах випалювання в печі

Метали	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ (середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини))
Hg	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<0,05 <sup>(2)</sup>
∑ (Cd, Tl)	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<0,05 <sup>(1)</sup>
∑ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<0,5 <sup>(1)</sup>

(<sup>1</sup>) Низькі рівні були повідомлені за ознакою якості сировини та палива.  
(<sup>2</sup>) Низькі рівні були повідомлені за ознакою якості сировини та палива. Значення, що перевищують 0,03 мг/м<sup>3</sup> н.у., потребують додаткового дослідження. У випадку значень, близьких до 0,05 мг/м<sup>3</sup> н.у., потрібно розглянути можливість застосування додаткових технологій (наприклад, зниження температури димових газів, використання активованого вугілля).

#### 4.2.9 Технологічні втрати / відходи

29. Для того, щоб знизити утворення твердих відходів у процесі виробництва цементу і водночас заощадити на сировині, НДТМ полягає у застосуванні таких технологій:

	Технологія	Застосування
a	Повторно використовувати зібраний пил у технологічному процесі, якщо це практично можливо	Загалом може застосовуватися, проте залежить від хімічного складу пилу
b	Використовувати цей пил в іншій комерційній продукції, якщо це можливо	Використання пилу в іншій комерційній продукції може виходити за межі контролю оператора

#### Опис

Зібраний пил можна повернути у процесі виробництва для переробки, якщо це практично можливо. Така переробка може здійснюватися безпосередньо в печі або в матеріалах, що завантажуються в піч (обмежувальним фактором тут є вміст лужних металів), чи шляхом змішування з готовою цементною продукцією. Якщо зібраний пил повертається у процесі виробництва для переробки, може бути необхідно застосовувати систему забезпечення якості. Для матеріалу, який неможливо переробити, можна знайти альтернативні способи використання (наприклад, у якості добавки для знесірчення димових газів на спалювальних установках).

### 4.3 Висновки щодо НДТМ для вапняної промисловості

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок у вапняній промисловості.

#### 4.3.1 Загальні первинні технології

30. Для того, щоб знизити всі викиди з печей та ефективно використовувати енергію, НДТМ полягає у тому, щоб забезпечити рівномірний та стабільний пічний процес і роботу з параметрами технологічними процесу, близькими до уставок, за допомогою перелічених нижче технологій:

Технологія	
a	Оптимізація керування технологічним процесом, у тому числі застосування комп'ютеризованого автоматичного керування
b	Використання сучасних гравіметричних систем подавання твердого палива та/або витратомірів для обліку витрати газу

#### Застосування

Оптимізація керування технологічним процесом може різною мірою застосовуватися на всіх вапняних заводах. Повної автоматизації технологічного процесу зазвичай неможливо досягти через наявність змінних, які не піддаються контролю, тобто чинника якості вапняку.

31. Для того, щоб запобігти викидам та/або знизити їх, НДТМ полягає у тому, щоб ретельно вибирати та контролювати всі різновиди сировини, які потрапляють у піч.

#### Опис

Сировина, яка потрапляє у піч, суттєво впливає на викиди у повітря з огляду на вміст домішок у ній; тому ретельний вибір сировини дає змогу знизити ці викиди ще у їх джерелі. Наприклад, мінливість вмісту сірки та хлору у вапняку/доломіті впливає на діапазон викидів SO<sub>2</sub> та HCl з димовими газами, а присутність органічних речовин впливає на викиди ЗОВ та CO.

#### Застосування

Застосування залежить від наявності (місцевих) ресурсів сировини з низьким вмістом домішок. Додаткове обмеження може встановлювати тип готового продукту та тип печі, що використовується.

### 4.3.2 Моніторинг

32. НДТМ полягає у тому, щоб систематично здійснювати моніторинг та вимірювання параметрів технологічного процесу та викидів та здійснювати моніторинг викидів згідно з відповідними стандартами EN або, якщо такі стандарти EN відсутні, згідно зі стандартами ISO, національними або іншими міжнародними стандартами, які забезпечують надання даних еквівалентної наукової якості, зокрема:

	Технологія	Застосування
a	Безперервне вимірювання параметрів технологічного процесу, які демонструють стабільність технологічного процесу, таких як температура, вміст O <sub>2</sub> , тиск, витрата та викиди CO	Може застосовуватися для всіх пічних процесів
b	Моніторинг і стабілізація критично важливих параметрів технологічного процесу – наприклад, подавання палива, рівномірного дозування та надлишку кисню	
c	Безперервні або періодичні вимірювання викидів пилю, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> та CO, а також викидів NH <sub>3</sub> при застосуванні ШКВ	Може застосовуватися для всіх пічних процесів
d	Безперервні або періодичні вимірювання викидів HCl та HF у разі сумісного спалювання відходів	Може застосовуватися для всіх пічних процесів
e	Безперервні або періодичні вимірювання викидів ЗОВ, або безперервні вимірювання у разі сумісного спалювання відходів	Може застосовуватися для всіх пічних процесів
f	Періодичні вимірювання викидів ПХДД/Ф та металів	Може застосовуватися для всіх пічних процесів
g	Безперервні або періодичні вимірювання викидів пилю	Може застосовуватися для процесів, не пов'язаних з піччю  Для малих джерел (<10 000 м <sup>3</sup> н. у./год.) частота вимірювання повинна визначатися залежно від системи керування технічними обслуговуванням

#### Опис

Вибір безперервних або періодичних вимірювань, згаданих у НДТМ 32 (c) – 32 (f), залежить від джерела викидів та типу забруднюючої речовини, викиди якої очікуються.

Для періодичних вимірювань викидів NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> та CO у якості орієнтиру встановлена частота від одного разу на місяць до одного разу на рік під час нормальних умов роботи.

Для періодичних вимірювань викидів ПХДД/Ф, ЗОВ, HCl, HF та металів слід забезпечити частоту, що підходить для видів сировини та палива, які використовуються у технологічному процесі.



### 4.3.3 Споживання енергії

33. Для того, щоб зменшити/мінімізувати споживання теплової енергії, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати поєднання перелічених нижче технологій:

	Технологія	Опис	Застосування
a	Застосування вдосконалених та оптимізованих пічних систем і рівномірного та стабільного пічного процесу, а також робота з параметрами технологічними процесу, близькими до уставок, у такі способи: I. оптимізація керування технологічним процесом; II. регенерація тепла з димових газів (наприклад, використання надлишкового тепла, що виділяється з обертових печей, для сушіння вапняку в інших технологічних процесах, таких як роздрібнення вапняку); III. застосування сучасних гравіметричних систем подавання твердого палива; IV. технічне обслуговування обладнання (наприклад, контроль його герметичності, ерозії вогнетривких матеріалів); V. використання каменю з оптимізованим розміром зерен.	Підтримання параметрів технологічного процесу печі на рівнях, близьких до їх оптимальних значень, знижує всі параметри споживання ресурсів завдяки, зокрема, скороченню кількості зупинок та порушень у роботі.  Використання каменю з оптимізованим розміром зерен залежить від доступності сировини	Технологія (а) II може застосовуватися лише для довгих обертових печей (ДОП)
b	Використання палива з характеристиками, які сприятливо впливають на споживання теплової енергії	Характеристики палива – наприклад, висока теплота згорання та низький вміст вологи – можуть сприятливо впливати на споживання теплової енергії	Застосування залежить від технічної можливості подавати вибране паливо в піч та від доступності належних видів палива (наприклад, з високою теплотою згорання та низькою вологістю), а це може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС
c	Обмеження надлишку повітря	Зменшення надлишку повітря, що використовується для забезпечення згорання, безпосередньо впливає на споживання палива, оскільки за більших відсотків повітря потрібно більше теплової енергії, щоб нагріти цей надлишковий об'єм повітря.  Обмеження надлишку повітря впливає на споживання теплової енергії лише у ДОП та ОПП.  Ця технологія потенційно може збільшити викиди ЗОВ та CO	Може застосовуватися для ДОП та ОПП в межах, що залежать від потенційної можливості перегрівання деяких ділянок печі, яке скорочує термін служби вогнетривкої футеровки

**Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ:**  
Див. Таблицю 4.6.

Таблиця 4.6. Відповідні рівні споживання для НДТМ, що встановлені для споживання теплової енергії у галузі виробництва вапна та доломітового вапна

Тип печі	Споживання теплової енергії <sup>(1)</sup> ГДж/тону продукту
Довгі обертові печі (ДОП)	6,0 – 9,2
Обертові печі з підігрівачем (ОПП)	5,1 – 7,8
Прямоточні регенеративні печі (ПРП)	3,2 – 4,2
Кільцеві шахтні печі (КШП)	3,3 – 4,9
Шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	3,4 – 4,7
Інші печі (ІП)	3,5 – 7,0

<sup>(1)</sup> Споживання енергії залежить від типу продукту, якості продукту, умов технологічного процесу та видів сировини

34. Для того, щоб мінімізувати споживання електроенергії, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Використання систем керування розподілом електроенергії
b	Використання вапняку з оптимізованим розміром зерен
c	Використання помельного обладнання та іншого електричного обладнання з високою енергоефективністю

#### Опис – Технологія (b)

Вертикальні печі зазвичай здатні обпалювати лише грубу вапнякову грудку. Проте обертові печі, які споживають більше енергії, здатні з користю переробляти і дрібні фракції, а у нових вертикальних печах можна обпалювати невеликі гранули розміром від 10 мм. Більші гранули кам'яної сировини для печі частіше використовуються у вертикальних печах, ніж в обертових печах.

#### 4.3.4 Споживання вапняку

35. Для того, щоб мінімізувати споживання вапняку, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія	Застосування
a	Спеціалізовані способи видобування з кар'єрів і дроблення та оптимізоване використання вапняку (якість, розмір зерен)	Загалом може застосовуватися у вапняній промисловості, проте обробка каменю залежить від якості вапняку
b	Вибір печей із застосуванням оптимізованих пічних технологій, які здатні працювати з розширеним діапазоном розмірів зерен вапняку для оптимального використання видобутого в кар'єрі вапняку	Може застосовуватися для нових заводів та значних модернізацій печей. Вертикальні печі, по суті, здатні обпалювати лише грубу вапнякову грудку. ПРП та/або обертові печі для виробництва дрібнозернистого вапна здатні працювати з меншими розмірами зерен вапняку

### 4.3.5 Вибір палива

36. Для того, щоб запобігти викидам / знизити їх, НДТМ полягає у тому, щоб ретельно вибирати та контролювати паливо, яке подається в піч.

#### Опис

Паливо, що подається в піч, може суттєво впливати на викиди у повітря з огляду на вміст домішок у ньому. Вміст сірки (особливо для довгих обертових печей), азоту та хлору впливає на діапазон викидів  $SO_x$ ,  $NO_x$  та  $HCl$  з димовими газами. Залежно від хімічного складу палива та типу печі, що використовується, вибір належного палива або паливної суміші може зменшити викиди.

#### Застосування

Окрім шахтних печей зі змішаним живленням, усі типи печей здатні працювати на всіх типах палива та паливних сумішей за умови доступності видів палива, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС. Вибір палива також залежить від потрібної якості готового продукту, технічної можливості подавати конкретне паливо у вибрану піч та економічних міркувань.

#### 4.3.5.1 Використання палива з відходів

##### 4.3.5.1.1 Контроль якості відходів

37. Для того, щоб гарантувати належні характеристики відходів, які будуть використовуватися у якості палива у печі випалу вапна, НДТМ полягає у тому, щоб застосовувати такі технології:

	Технологія
a	Застосовувати систему контролю якості, щоб гарантувати та контролювати потрібні характеристики відходів та аналізувати всі відходи, які планується використовувати у якості палива в печі, на предмет таких критеріїв: I. постійна якість II. фізичні критерії, наприклад, утворення викидів, грубість подрібнення, реактивність, обпалюваність, теплота згорання III. хімічні критерії, наприклад, загальний вміст хлору, вміст сірки, лугів, фосфатів та вміст значимих металів (наприклад, загальний вміст хрому, свинцю, кадмію, ртуті, талію)
b	Контроль кількості значимих компонентів будь-яких відходів, які планується використовувати у якості палива, як-от контроль загального вмісту галогенів, вмісту металів (наприклад, загального вмісту хрому, свинцю, кадмію, ртуті, талію) та сірки

##### 4.3.5.1.2 Завантаження відходів у піч

38. Для того, щоб запобігти/знизити викиди, зумовлені використанням палива з відходів у печі, НДТМ полягає у тому, щоб застосовувати такі технології:

	Технологія
a	Використовувати пальники, які підходять для подавання належних відходів, залежно від конструкції печі та роботи печі
b	Експлуатувати систему таким чином, щоб газ, який утворюється в результаті сумісного спалювання відходів, рівномірно та у контрольований спосіб – навіть за найбільш несприятливих умов – нагрівався до температури 850 °C за 2 секунди
c	Підвищити температуру до 1 100 °C, якщо у сумісному режимі спалюються небезпечні відходи, що містять понад 1 % галогенованих органічних сполук у перерахунку на хлор
d	Завантажувати відходи в піч постійно і безперервно
e	Припиняти подавання відходів на час таких операцій, як пуски та/або зупинки, якщо під час цих операцій неможливо досягти належних температур та тривалостей перебування в печі, як зазначено у пунктах (b) та (c) вище

**4.3.5.1.3 Керування технікою безпеки у разі використання небезпечних відходів**

39. Для того, щоб запобігти випадковим викидам, НДТМ полягає в тому, щоб застосовувати керування технікою безпеки для зберігання, переміщення та завантаження в піч небезпечних відходів.

**Опис**

Керування технікою безпеки під час зберігання, переміщення та завантаження в піч небезпечних відходів полягає в застосуванні підходу на основі оцінки ризиків, залежно від джерела та типу відходів, для маркування, перевірки, відбору проб та випробування відходів, з якими планується виконувати операції.

**4.3.6 Викиди пилу**

**4.3.6.1 Неорганізовані джерела викидів**

40. Для того, що мінімізувати/запобігти неорганізованим викидам пилу у результаті пилких операцій, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Огородження/закриття кожухами операцій, що супроводжуються утворенням пилу, таких як помел, просіювання та перемішування;
b	Використання критичних конвеєрів та елеваторів, які конструюються як закриті системи, якщо є велика ймовірність, що пилоподібні матеріали будуть створювати викиди пилу
c	Використання силосів для зберігання належної місткості, індикаторів рівня з рубильниками та фільтрами для очищення запиленого повітря, що рухається під час операцій заповнення
d	Використання циркуляційного процесу, який бажано застосовувати у пневматичних системах транспортування
e	Виконання вантажних операцій з матеріалами в закритих системах, у яких підтримується розрідження, та очищення всмоктаного повітря від пилу за допомогою рукавного фільтра перед викиданням у повітря
f	Зменшення кількості точок витоків та проливання, повне укомплектування установки
g	Належне і повне технічне обслуговування установки
h	Використання автоматичних пристроїв та систем контролю
i	Забезпечення безперервної та безаварійної роботи
j	Використання гнучких наповнювальних труб, обладнаних системою відсмоктування пилу для завантаження вапна і спрямованих на завантажувальну підлогу вантажівки

**Застосування**

У операціях підготовки сировини, таких як дроблення та просіювання, відділення пилу зазвичай не потрібне через вміст вологи у сировині.

41. Для того, що мінімізувати/запобігти неорганізованим викидам пилу з майданчиків зберігання насипом, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Обгородження складських майданчиків екранами, стінами або вертикальними зеленими насадженнями (штучними або природними вітрозахисних бар'єрами для захисту відкритих складів від вітру)
b	Використання силосів для продукції та повністю автоматизованих закритих сховищ для сировини. Ці типи сховищ обладнані одним або кількома рукавними фільтрами для запобігання утворенню неорганізованого пилу під час операцій завантаження та розвантаження;
c	Зменшити неорганізовані викиди пилу з відкритих складів шляхом достатнього зволоження пунктів завантаження і розвантаження та використання конвеєрних стрічок з регульованою висотою. У разі використання заходів/технологій зволоження чи розбризкування землю можна герметизувати долівку і збирати надлишок води, яку потім за необхідності можна очищати і використовувати у замкнених циклах.
d	Зменшити неорганізовані викиди пилу у пунктах завантаження та розвантаження на складах, якщо їх неможливо уникнути: для цього потрібно слідкувати (якщо це можливо, автоматично) за тим, щоб висота розвантаження відповідала змінній висоті кагату, або зменшити швидкість розвантаження
e	Підтримувати вологу на ділянках зберігання, особливо у сухих місцевостях, за допомогою розбризкувальних пристроїв, і прибирати ці ділянки за допомогою очисних вантажівок
f	Використовувати вакуумні системи під час операцій з прибирання матеріалів. Нові будівлі можна легко обладнати стаціонарними вакуумними очисними системами, а існуючі будівлі зазвичай зручніше оснащувати пересувними системами з гнучкими з'єднаннями
g	Зменшити неорганізовані викиди пилу з ділянок, по яких їздять вантажівки, шляхом вимощування цих ділянок, якщо це можливо, та підтримання максимальної чистоти на її поверхні. За допомогою змочування доріг можна знизити неорганізовані викиди пилу, особливо у суху погоду. Для зведення до мінімуму неорганізованих викидів пилу слід дотримуватися належних практик прибирання

#### 4.3.6.2 Організовані джерела викидів у результаті пилких операцій, відмінних від процесів обпалювання в печі

42. Для того, щоб зменшити організовані джерела викидів у результаті пилких операцій, відмінних від процесів обпалювання в печі, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій та застосовувати систему керування технічним обслуговуванням, яка контролює, зокрема, робочі показники фільтрів:

	Технологія <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>	Застосування
a	Рукавний фільтр	Загалом може застосовуватися для роздрібнювальних і помельних установок та допоміжних технологічних процесів у вапняній промисловості; транспортування матеріалів; складських споруд та завантажувально-розвантажувального обладнання. Застосування рукавних фільтрів для установок гідратації вапна може бути обмежена високим вмістом вологи та низькою температурою димових газів
b	Мокрий скруббер	Може застосовуватися головним чином для установок гідратації вапна

<sup>(1)</sup> Ці технології описані у розділі 4.6.1.  
<sup>(2)</sup> Для попереднього очищення димових газів за необхідності можна використовувати відцентрові сепаратори / циклони.

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

Див. Таблицю 4.7.

Таблиця 4.7. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для організованих викидів пилу у результаті пилких операцій, відмінних від процесів обпалювання в печі

Технологія	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ (середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини))
Рукавний фільтр	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<10

#### Частина 4

Мокрий скруббер	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<10 – 20
-----------------	------------------------	----------

Слід зазначити, що для малих джерел (<10 000 м<sup>3</sup> н. у./год.) при визначенні частоти перевірки робочих показників фільтра потрібно враховувати пріоритетний підхід (див. НДТМ 32).

#### 4.3.6.3 Викиди пилу у результаті процесів випалювання в печі

43. Для того, щоб знизити викиди пилу з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб забезпечити очищення димових газів за допомогою фільтра. Можна використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія <sup>(1)</sup>	Застосування
a	Електрофільтр	Може застосовуватися для всіх пічних систем
b	Рукавний фільтр	Може застосовуватися для всіх пічних систем
c	Мокрий пиловловлювач	Може застосовуватися для всіх пічних систем
d	Відцентровий сепаратор / циклон	Відцентрові сепаратори підходять для використання лише у якості попередніх сепараторів і можуть використовуватися для попереднього очищення димових газів, що виходять з усіх пічних систем

(<sup>1</sup>) Ці технології описані у розділі 4.6.1

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

Див. Таблицю 4.8.

Таблиця 4.8. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів пилу, що викидаються з димовими газами у процесах випалювання в печі

Технологія	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ (середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини))
Рукавний фільтр	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<10
Електрофільтри чи інші фільтри	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<20*

(\*) У виняткових випадках, коли питомий опір пилу більший, ВАТ-АЕЛ можуть бути вищими – до 30 мг/м<sup>3</sup> н.у. в перерахунку на середньодобове значення.

### 4.3.7 Газоподібні сполуки

#### 4.3.7.1 Первинні технології для зниження викидів газоподібних сполук

44. Для того, щоб знизити викиди газоподібних сполук (наприклад,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CO}$ , ЗОВ/ЛОС, летких металів) з димовими газами у процесах обпалювання в печі, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія	Застосування
a	Ретельний вибір та контроль речовин, що подаються у піч	Загалом може застосовуватися
b	Зменшення кількості прекурсорів забруднюючих речовин у паливі та, якщо це можливо, у сировині, тобто: I. вибирати види палива, якщо вони доступні, з низьким вмістом сірки (особливо для довгих обертових печей), азоту та хлору; II. вибирати сировину, якщо це можливо, з низьким вмістом органічних речовин; III. вибирати такі види палива з відходів, які підходять для технологічного процесу та пального.	Загалом може застосовуватися у вапняній промисловості, залежно від наявності місцевих ресурсів такої сировини та палива, типу печі, що використовується, потрібних рівнів якості продукту та технічної можливості подавати такі види палива у вибрану піч
c	Забезпечити ефективну абсорбцію діоксиду сірки (наприклад, ефективний контакт між пічними газами та негашеним вапном) за допомогою технологій оптимізації технологічного процесу	Може застосовуватися для всіх вапняних заводів. Повної автоматизації технологічного процесу зазвичай неможливо досягти через наявність змінних, які не піддаються контролю, тобто чинника якості вапняку.

#### 4.3.7.2 Зниження викидів $\text{NO}_x$

45. Для того, щоб знизити викиди  $\text{NO}_x$  з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія	Застосування
a	Первинні технології	
	I. Належний вибір палива разом з обмеженням вмісту азоту в паливі	Загалом може застосовуватися у вапняній промисловості за умови доступності вибраних видів палива, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС, та за наявності технічної можливості подавати конкретний вид палива у вибрану піч
	II. Оптимізація технологічного процесу, у тому числі регулювання форми факела та профіль температури	Оптимізація технологічного процесу та керування технологічним процесом може застосовуватися у виробництві вапна, проте залежить від якості готового продукту
	III. Конструкція пального (пальник з низьким виділенням $\text{NO}_x$ ) <sup>(1)</sup>	Пальники з низьким виділенням $\text{NO}_x$ можуть застосовуватися в обертових печах та кільцевих шахтних печах, що працюють в умовах великої кількості первинного повітря. У ПРП та інших шахтних печах використовується безполуменево горіння, тому пальники з низьким виділенням $\text{NO}_x$ немає сенсу пристосовувати до цього типу печей.
	IV. Ступінчасте подавання повітря <sup>(1)</sup>	Не застосовне для шахтних печей.  Може застосовуватися лише у ПРП, але не тоді, коли в них виготовляється сильно випалене вапно. Застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з типом готового продукту, можливим перегріванням на деяких ділянках печі, а відтак зношуванням вогнетривкої футеровки
b	СНКВ <sup>(1)</sup>	Може застосовуватися для обертових печей Леполя. Також див. НДТМ 46

<sup>(1)</sup> Ці технології описані у розділі 4.6.2

**Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ**

Див. Таблицю 4.9.

**Таблиця 4.9. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів NO<sub>x</sub> з димовими газами у процесах обпалювання в печі у вапняній промисловості**

Тип печі	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ (середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини) у перерахунку на NO <sub>2</sub> )
ПРП, КШП, ШПЗЖ, ШП	мг/м <sup>3</sup> н.у.	100 – 350 <sup>(1)</sup> <sup>(3)</sup>
ДОП, ОПП	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<200 – 500 <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>

(<sup>1</sup>) Верхні межі діапазонів відповідають виробництву доломітового вапна та сильно випаленого вапна. Рівні, які перевищують верхню межу діапазону, можуть бути пов'язані з виробництвом спеченого доломітового вапна.  
 (<sup>2</sup>) Для ДОП та ОПП з шахтами, у яких виготовляється сильно випалене вапно, верхній рівень може досягати 800 мг/м<sup>3</sup> н.у.  
 (<sup>3</sup>) Якщо первинних технологій, вказаних у НДТМ 45 (а), недостатньо для досягнення цього рівня, а вторинні технології, за допомогою яких викиди NO<sub>x</sub> можна було б знизити до 350 мг/м<sup>3</sup> н.у., не застосовні, верхній рівень дорівнює 500 мг/м<sup>3</sup> н.у., особливо для сильно випаленого вапна та використання біомаси у якості палива.

**46. У разі використання СНКВ НДТМ полягає в тому, щоб досягти ефективного зниження рівня NO<sub>x</sub> і водночас забезпечити якомога менший проскок аміаку за допомогою таких технологій:**

	Технологія
a	Забезпечити належну та достатню ефективність відновлення водночас зі стабільним процесом роботи
b	Забезпечити хороше стехіометричне відношення та розподіл аміаку для досягнення максимально ефективного відновлення NO <sub>x</sub> та для зменшення проскоку аміаку
c	Підтримувати викиди в результаті проскоку NH <sub>3</sub> (внаслідок того, що не весь аміак прореагував) з димовими газами на якомога нижчому рівні з урахуванням залежності між ефективністю зниження викидів NO <sub>x</sub> та проскоком NH <sub>3</sub>

**Застосування**

Може застосовуватися лише для обертових печей Леполя, у яких можна досягти ідеального діапазону температур від 850 до 1 020 °С. Також див. НДТМ 45, технологія (b).

**Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ**

ВАТ-АЕЛ для викидів з димовими газами внаслідок проскоку NH<sub>3</sub> становить <30 мг/м<sup>3</sup> н. у. в перерахунку на середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини).

**4.3.7.3 Викиди SO<sub>x</sub>**

**47. Для того, щоб знизити викиди SO<sub>x</sub> з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:**

	Технологія	Застосування
a	Оптимізація технологічного процесу для забезпечення ефективної абсорбції діоксиду сірки (наприклад, ефективний контакт між пічними газами та негашеним вапном)	Оптимізація керування технологічним процесом може застосовуватися на всіх вапняних заводах
b	Вибір палива з низьким вмістом сірки	Загалом може застосовуватися за умови доступності такого палива, особливо актуально для довгих обертових печей (ДОП) через високі викиди SO <sub>x</sub>
c	Використання технологій додавання абсорбенту (наприклад, додавання абсорбенту, очищення сухих димових газів за допомогою фільтра, мокрого скрубера чи вприскування активованого вугілля) <sup>(1)</sup>	Технології додавання абсорбенту, в принципі, можуть застосовуватися у вапняній промисловості; проте станом на 2007 рік ця технологія ще не застосовувалася у вапняному секторі. Для оцінки її застосовності, особливо для обертових печей випалу вапна, потрібні додаткові дослідження

<sup>(1)</sup> Ці технології описані у розділі 4.6.3





**Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ**

Див. Таблиця 4.10.

**Таблиця 4.10. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів SO<sub>x</sub> з димовими газами у процесах обпалювання в печі у вапняній промисловості**

Тип печі	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> (середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини), SO <sub>x</sub> виражені як SO <sub>2</sub> )
ПРП, КШП, ШПЗЖ, ШП, ОПП	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<50 – 200
ДОП	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<50 – 400

<sup>(1)</sup> Рівень залежить від початкового рівня SO<sub>x</sub> у димових газах та від технології зниження викидів, що використовується.  
<sup>(2)</sup> У разі виробництва спеченого доломітового вапна за допомогою «двопрохідного процесу» викиди SO<sub>x</sub> можуть перевищувати верхню межу діапазону.

**4.3.7.4 Викиди CO та відключення за рівнем CO**

**4.3.7.4.1 Викиди CO**

48. Для того, щоб знизити викиди CO з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія	Застосування
a	Вибір сировини з низьким вмістом органічних речовин	Загалом може застосовуватися у вапняній промисловості з урахуванням обмежень, пов'язаних з наявністю місцевих ресурсів сировини, складом сировини, типом печі, що використовується, та якістю готового продукту
b	Використання технологій оптимізації технологічного процесу для досягнення стабільного та повного згорання	Може застосовуватися для всіх вапняних заводів. Повної автоматизації технологічного процесу зазвичай неможливо досягти через наявність змінних, які не піддаються контролю, тобто чинника якості вапняку.

На цю тему також див. НДТМ 30 та 31 у розділі 4.3.1 та НДТМ 32 у розділі 4.3.2.

**Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ**

Див. Таблицю 4.11.

**Таблиця 4.11. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для CO, що викидається з димовими газами у процесах обпалювання в печі**

Тип печі	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> (середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини))
ПРП, ШП, ДОП, ОПП	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<500

<sup>(1)</sup> Викиди можуть бути більшими залежно від того, яка сировина використовується та/або який тип вапна виготовляється – наприклад, гідравлічне вапно.  
<sup>(2)</sup> ВАТ-АЕЛ не стосується ШПЗЖ та КШП.

**4.3.7.4.2 Зменшення частоти відключень за рівнем CO**

**49.** Для того, щоб мінімізувати частоту відключень за рівнем CO у разі використання електрофільтрів, НДТМ полягає у використанні таких технологій:

	Технологія
a	Керувати відключеннями за рівнем CO для зменшення часу простоювання електрофільтра
b	Безперервні автоматичні вимірювання рівня CO за допомогою обладнання моніторингу, яке має короткий час реакції та розташоване поблизу джерела CO

**Опис**

З міркувань безпеки, через ризик вибуху, електрофільтри повинні вимикатися за наявності підвищених рівнів CO в димових газах. Перелічені нижче технології запобігають відключенням за рівнем CO, а отже, зменшують час простоювання електрофільтрів:

- керування процесом згорання;
- контроль навантаження за органічними забрудненнями у сировині;
- контроль якості палива та керування системою подавання палива.

Перебої трапляються головним чином на етапі пуску в експлуатацію. Щоб система працювала безпечно, газоаналізатори для захисту електрофільтрів повинні перебувати в роботі на всіх етапах експлуатації, а час простоювання електрофільтра можна скоротити за допомогою резервної системи моніторингу, яка підтримується в робочому стані.

Система безперервного моніторингу рівнів CO повинна бути оптимізована за часом реакції і розташована поблизу джерела CO – наприклад, на виході башти підігрівача, або на завантажувальному кінці печі, якщо піч працює за мокрим способом.

**Застосування**

Загалом може застосовуватися для обертових печей, обладнаних електрофільтрами (ЕСП).

**4.3.7.5 Викиди загального органічного вуглецю (ЗОВ)**

**50.** Для того, щоб знизити викиди ЗОВ з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Застосування загальних первинних технологій та моніторингу (також див. НДТМ 30 та 31 у розділі 4.3.1 і НДТМ 32 у розділі 4.3.2)
b	Уникати подавання в пічну систему сировини з високим вмістом летких органічних сполук (окрім виробництва гідралічного вапна)

**Застосування**

Стосовно застосовності загальних первинних технологій та моніторингу див. НДТМ 30 та 31 у розділі 4.3.1 і НДТМ 32 у розділі 4.3.2

Технологія (b) загалом може застосовуватися у вапняній промисловості залежно від наявності місцевих ресурсів сировини та/або типу вапна, що виготовляється.

**Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ**

Див. Таблицю 4.12.

Таблиця 4.12. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для ЛОС, що викидається з димовими газами у процесах обпалювання в печі

Тип печі	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ <sup>(1)</sup> (середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини))
ДОП, ОПП	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<10
КШП, ШПЗЖ <sup>(2)</sup> , ПРП <sup>(2)</sup>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<30

<sup>(1)</sup> Рівень може бути вищим залежно від вмісту органічних речовин у сировині, що використовується, та/або типу вапна, що виготовляється, зокрема, у разі виробництва природного гідравлічного вапна.  
<sup>(2)</sup> У виняткових випадках рівень може бути вищим.

#### 4.3.7.6 Викиди хлороводню (HCl) та фтороводню (HF)

51. Для того, щоб знизити викиди HCl та HF з димовими газами у процесах обпалювання в печі при використанні відходів, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати такі первинні технології:

Технологія	
a	Використовувати викопні види палива з низьким вмістом хлору та фтору
b	Обмежити вміст хлору та фтору у будь-яких відходах, які планується використовувати у якості палива в печі випалу вапна

#### Застосування

Ці технології загалом можуть застосовуватися у вапняній промисловості, проте залежать від наявності місцевих ресурсів належного палива.

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

Див. Таблиці 4.13.

Таблиця 4.13. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів HCl та HF з димовими газами у процесах обпалювання в печі при використанні відходів

Вид викидів	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ (середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини))
HCl	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<10
HF	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<1

#### 4.3.8 Викиди ПХДД/Ф

52. Для того, щоб запобігти/знизити викиди ПХДД/Ф з димовими газами у процесах обпалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче первинних технологій або їх поєднання:

Технологія	
a	Вибір палива з низьким вмістом хлору
b	Обмеження кількості міді, що вноситься у піч з паливом
c	Зведення до мінімуму часу перебування димових газів і вмісту кисню в зонах з діапазоном температур від 300 до 450 °C

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

ВАТ-АЕЛ становлять <0,05 – 0,1 нг ПХДД/Ф I-TEQ/м<sup>3</sup> н. у. в перерахунку на середнє значення за період відбору проб (6 – 8 годин).

### 4.3.9 Викиди металів

53. Для того, щоб мінімізувати викиди металів з димовими газами у процесах обпалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Вибір палива з низьким вмістом металів
b	Використання системи контролю якості, щоб гарантувати потрібні характеристики палива, яке використовується
c	Обмеження вмісту значимих металів, особливо ртуті, в матеріалах
d	Використання однієї з технологій видалення пилу, викладених у НДТМ 43, або їх поєднання

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

Див. Таблицю 4.14.

Таблиця 4.14. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для металів, що викидаються з димовими газами у процесах обпалювання в печі при використанні відходів

Метали	Одиниця вимірювання	ВАТ-АЕЛ (середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини))
Hg	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<0,05
∑ (Cd, Tl)	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<0,05
∑ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<0,5

ПРИМІТКА. Низькі рівні повідомлялися при застосуванні технологій, згаданих у НДТМ 53 (a) – (d).

Крім того, на цю тему також див. НДТМ 37 (розділ 4.3.5.1.1) та НДТМ 38 (розділ 4.3.5.1.2).

### 4.3.10 Технологічні втрати / відходи

54. Для того, щоб зменшити утворення твердих відходів у процесах виготовлення вапна та заощадити сировину, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати такі технології:

	Технологія	Застосування
a	Повторно використовувати зібраний пил чи інші тверді частки (наприклад, пісок, гравій) у технологічному процесі	Загалом може застосовуватися, якщо це практично можливо
b	Використовувати пил, негашене вапно, що не відповідає технічним вимогам, та гідратоване вапно, що не відповідає технічним вимогам, у вибраній комерційній продукції	Загалом застосовується у різних видах вибраної комерційної продукції, якщо це практично можливо

## 4.4 Висновки щодо НДТМ для галузі виробництва оксиду магнію

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок у галузі виробництва оксиду магнію (сухий технологічний метод).

### 4.4.1 Моніторинг

55. НДТМ полягає у тому, щоб систематично здійснювати моніторинг та вимірювання параметрів технологічного процесу та викидів та здійснювати моніторинг викидів згідно з відповідними стандартами EN або, якщо такі стандарти EN відсутні, згідно зі стандартами ISO, національними або іншими міжнародними стандартами, які забезпечують надання даних еквівалентної наукової якості, зокрема:

	Технологія	Застосування
a	Безперервне вимірювання параметрів технологічного процесу, які демонструють стабільність технологічного процесу, таких як температура, вміст O <sub>2</sub> , тиск та витрата	Загалом може застосовуватися для всіх пічних процесів
b	Моніторинг і стабілізація критично важливих параметрів технологічного процесу, тобто подавання сировини і палива, рівномірного дозування та надлишку кисню	
c	Безперервні або періодичні вимірювання викидів пилу, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> та CO	Загалом може застосовуватися для всіх пічних процесів
d	Безперервні або періодичні вимірювання викидів пилу	Може застосовуватися для процесів, не пов'язаних з піччю. Для малих джерел (<10 000 м <sup>3</sup> н. у./год.) частота вимірювань або перевірок робочих показників повинна визначатися залежно від системи керування технічними обслуговуванням

#### Опис

Вибір безперервних або періодичних вимірювань, згаданих у НДТМ 55 (с), залежить від джерела викидів та типу забруднюючої речовини, викиди якої очікуються.

Для періодичних вимірювань викидів NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> та CO, що утворюються у пічних процесах, у якості орієнтиру встановлена частота від одного разу на місяць до одного разу на рік під час нормальних умов роботи.

#### 4.4.2 Споживання енергії

56. Для того, щоб зменшити споживання теплової енергії, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати поєднання перелічених нижче технологій:

	Технологія	Опис	Застосування
a	Застосування вдосконалених та оптимізованих пічних систем і рівномірного та стабільного пічного процесу у такі способи: I. оптимізація керування технологічним процесом; II. регенерація тепла з димових газів, що надходять від печі та холодильників.	Для зниження споживання енергії палива можна застосовувати регенерацію тепла з димових газів шляхом їх використання для підігрівання магнезиту. Тепло, регенероване з печі, можна використовувати для сушіння палива, сировини та деяких пакувальних матеріалів.	Оптимізація керування технологічним процесом може застосовуватися для всіх типів печей у галузі виробництва магнезії.
b	Використання палива з характеристиками, які сприятливо впливають на споживання теплової енергії	Такі характеристики палива – наприклад, висока теплота згорання та низький вміст вологи – сприятливо впливають на споживання теплової енергії	Загалом може застосовуватися залежно від доступності видів палива, типів печей, що використовуються, потрібних рівнів якості продукту та технічних можливостей вприскувати такі види палива в піч.
c	Обмеження надлишку повітря	Рівень надлишку кисню для забезпечення потрібної якості продуктів та оптимального згорання на практиці зазвичай становить близько 1 – 3 %	Загалом може застосовуватися

#### Відповідні рівні споживання для НДТМ

Відповідне споживання теплової енергії для НДТМ становить 6 – 12 ГДж/т, залежно від технологічного процесу та продуктів <sup>(2)</sup>.

57. Для того, щоб мінімізувати споживання електроенергії, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Використання систем керування розподілом електроенергії
b	Використання помельного обладнання та іншого електричного обладнання з високою енергоефективністю

<sup>2</sup> Цей діапазон відображає лише інформацію, надану для частини, присвяченої оксиду магнію, цього документа BREF. Більш конкретна інформація про найефективніші технології у поєднанні з виготовленою продукцією не надавалася.

### 4.4.3 Викиди пилу

#### 4.4.3.1 Неорганізовані джерела викидів

58. Для того, що мінімізувати/запобігти неорганізованим викидам пилу у результаті пилких операцій, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія
a	Просте та лінійне компоунання майданчика
b	Якісне прибирання будівель та доріг, а також належне і повне технічне обслуговування установки
c	Змочування відкритих складів сировини
d	Огородження/закриття кожухами операцій, що супроводжуються утворенням пилу, таких як помел та просіювання
e	Використання критих конвеєрів та елеваторів, які конструюються як закриті системи, якщо є велика ймовірність, що пилоподібні матеріали будуть створювати викиди пилу
f	Використання силосів для зберігання належної місткості, обладнаних фільтрами для очищення запиленого повітря, що рухається під час операцій заповнення
g	У пневматичних системах транспортування бажано використовувати циркуляційний процес
h	Зменшення кількості точок витоків та проливання
i	Використання автоматичних пристроїв та систем контролю
k	Забезпечення безперервної та безаварійної роботи

#### 4.4.3.2 Організовані джерела викидів у результаті пилких операцій, відмінних від процесів обпалювання в печі

59. Для того, щоб зменшити організовані джерела викидів у результаті пилких операцій, відмінних від процесів обпалювання в печі, НДТМ полягає у тому, щоб застосовувати очищення димових газів шляхом використання однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання, а також застосовувати систему керування технічним обслуговуванням, яка контролює, зокрема, робочі показники технологій:

	Технологія <sup>(1)</sup>	Застосування
a	Рукавні фільтри	Загалом може застосовуватися для всіх агрегатів у процесі виготовлення оксиду магнію, особливо для пилких операцій, просіювання, помелу та роздрібнення
b	Відцентрові сепаратори / циклони	Оскільки ступінь сепарації обмежений і залежить від конкретної системи, циклони придатні до застосування головним чином у якості попередніх сепараторів для видалення грубих часток пилу та очищення димових газів.
c	Мокрі пиловловлювачі	Загалом може застосовуватися

<sup>(1)</sup> Ці технології описані у розділі 4.7.1

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

ВАТ-АЕЛ для організованих викидів пилу у результаті пилких операцій, відмінних від процесів обпалювання в печі, становить <math>10 \text{ мг/м}^3 \text{ н. у.}</math> в перерахунку на середньодобове значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини).

Слід зазначити, що для малих джерел (<math>10 \text{ 000 м}^3 \text{ н. у./год.}</math>) при визначенні частоти перевірки робочих показників фільтра потрібно враховувати пріоритетний підхід, що базується на використанні системи керування технічним обслуговуванням (див. НДТМ 55).



#### 4.4.3.3 Викиди пилу, що утворюються в результаті процесів обпалювання в печі

60. Для того, щоб знизити викиди пилу з димовими газами у процесах обпалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб застосовувати очищення димових газів за допомогою фільтра шляхом використання однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

	Технологія <sup>(1)</sup>	Застосування
a	Електрофільтри (ЕСП)	Електрофільтри застосовуються головним чином в обертових печах. Вони застосовні за температур димових газів вище точки роси і до 370 – 400 °С.
b	Рукавні фільтри	Рукавні фільтри для видалення пилу з димових газів можна застосовувати, в принципі, для всіх агрегатів у процесі виробництва оксиду магнію. Їх можна використовувати за температур димових газів вище точки роси і до 280 °С.  Для виробництва каустичної кальцинованої магнезії (ККМ) та спеченої / намертво обпаленої магнезії (НОМ), з огляду на високі температури, корозійні властивості та великий об'єм відхідних газів, що утворюються у процесі обпалювання в печі, потрібно використовувати спеціальні рукавні фільтри з фільтрувальним матеріалом, стійким до високих температур. Проте досвід підприємств, які виготовляють НОМ, у галузі виробництва магнезії показує, що на заводах з виробництва магнезії немає належного обладнання, розрахованого на температури димових газів близько 400 °С.
c	Відцентрові сепаратори / циклони	Оскільки ступінь сепарації обмежений і залежить від конкретної системи, циклони придатні до застосування головним чином у якості попередніх сепараторів для видалення грубих часток пилу та очищення димових газів.
d	Мокрі пиловловлювачі	Загалом може застосовуватися
<sup>(1)</sup> Ці технології описані у розділі 4.7.1		

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

ВАТ-АЕЛ для викидів пилу з димовими газами у процесах обпалювання в печі становить <20 – 35 мг/м<sup>3</sup> н. у. в перерахунку на середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини).

#### 4.4.4 Газоподібні сполуки

##### 4.4.4.1 Загальні первинні технології для зниження викидів газоподібних сполук

61. Для того, щоб знизити викиди газоподібних сполук (наприклад,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}$ ) з димовими газами у процесах обпалювання в печі, НДТМ полягає у тому, щоб використовувати одну з перелічених нижче первинних технологій або їх поєднання:

	Технологія	Застосування
a	Ретельний вибір та контроль речовин, що потрапляють у піч, для зменшення кількості прекурсорів забруднюючих речовин, тобто: I. вибір палива з низьким вмістом сірки (якщо таке паливо доступне), хлору та азоту; II. вибір сировини з низьким вмістом органічних речовин; III. вибір таких видів палива з відходів, які підходять для технологічного процесу та пальника.	Загалом може застосовуватися залежно від доступності видів сировини та палива, типів печі, що використовується, потрібних рівнів якості продукту та технічної можливості вприскувати такі види палива у вибрану піч.  Відходи можна розглядати як паливо для галузі виробництва оксиду магнію, проте станом на 2007 рік вони ще не застосовувалися у галузі виробництва оксиду магнію.
b	Застосування заходів/технологій оптимізації технологічного процесу для забезпечення рівномірного та стабільного пічного процесу та роботи з кількістю повітря, близькою до необхідної стехіометричної кількості.	Оптимізація керування технологічним процесом може застосовуватися для всіх типів печей у галузі виробництва магnezії. Проте може бути необхідно впровадити дуже складну систему керування технологічним процесом.

##### 4.4.4.2 Зниження викидів $\text{NO}_x$

62. Для того, щоб знизити викиди  $\text{NO}_x$  з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати поєднання таких технологій:

	Технологія	Застосування
a	Належний вибір палива разом з обмеженням вмісту азоту в паливі	Загалом може застосовуватися за умови доступності таких видів палива
b	Оптимізація технологічного процесу та вдосконалена технологія обпалювання	Загалом може застосовуватися у галузі виробництва оксиду магнію

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

ВАТ-АЕЛ для викидів з димовими газами у процесах обпалювання в печі становить  $<500 - 1\ 500\ \text{мг/м}^3$  н. у. в перерахунку на середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини), виражене як  $\text{NO}_2$ . Вищі значення стосуються високотемпературного процесу виробництва НОМ.

#### 4.4.4.3 Викиди CO та відключення за рівнем CO

##### 4.4.4.3.1 Викиди CO

63. Для того, щоб знизити викиди CO з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати поєднання таких технологій:

	Технологія	Опис
a	Вибір сировини з низьким вмістом органічних речовин	Частина викидів CO походить з органічної речовини, що міститься в сировині, тож вибір сировини з низьким вмістом органічних речовин може знизити викиди CO
b	Оптимізація керування технологічним процесом	Для зниження викидів CO вкрай важливим є повне та правильне згорання палива. Подання повітря з холодильника та первинного повітря, а також тягу в димовій трубі, можна контролювати для підтримання рівня кисню в межах від 1 % (спечений продукт) до 1,5 % (каустичний продукт) під час згорання. Зміна подавання повітря та палива може знизити викиди CO. Крім того, викиди CO можна знизити шляхом зміни глибини занурення пальника
c	Кероване, постійне та безперервне подавання палива	Кероване додавання палива охоплює, зокрема: <ul style="list-style-type: none"> <li>використання вагових живильників та високоточних барабанних шлюзів для подавання нафтового коксу та/або</li> <li>використання витратомірів та високоточних клапанів для регулювання подавання мазуту чи газу у пальник печі.</li> </ul>

#### Застосування

Технології зниження викидів CO загалом можуть застосовуватися у галузі виробництва оксиду магнію. Вибір сировини з низьким вмістом органічних речовин залежить від доступності такої сировини.

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

BAT-AEL для викидів CO з димовими газами у процесах обпалювання в печі становить <math>50 - 1\,000\text{ мг/м}^3\text{ н. у.}</math> в перерахунку на середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини).

##### 4.4.4.3.2 Зменшення частоти відключень за рівнем CO

64. Для того, щоб мінімізувати кількість відключень за рівнем CO у разі застосування електрофільтрів, НДТМ полягає у використанні таких технологій:

	Технологія
a	Керувати відключеннями за рівнем CO для зменшення часу простоювання електрофільтра
b	Безперервні автоматичні вимірювання рівня CO за допомогою обладнання моніторингу, яке має короткий час реакції та розташоване поблизу джерела CO

#### Опис

З міркувань безпеки, через ризик вибуху, електрофільтри повинні вимикатися за наявності підвищених рівнів CO в димових газах. Перелічені нижче технології запобігають відключенням за рівнем CO, а отже, зменшують час простоювання електрофільтрів:

- керування процесом згорання;
- контроль навантаження за органічними забрудненнями у сировині;
- контроль якості палива та керування системою подавання палива.

Перебої трапляються головним чином на етапі пуску в експлуатацію. Щоб система працювала безпечно, газоаналізатори для захисту електрофільтрів повинні перебувати в роботі на всіх етапах експлуатації, а час простоювання електрофільтра можна скоротити за допомогою резервної системи моніторингу, яка підтримується в робочому стані.

Система безперервного моніторингу рівнів CO повинна бути оптимізована за часом реакції і розташована поблизу джерела CO – наприклад, на виході башти підігрівача, або на завантажувальному кінці печі, якщо піч працює за мокрим способом.

#### Застосування

Загалом може застосовуватися для печей, обладнаних електрофільтрами (ЕСП).

#### 4.4.4.4 Викиди SO<sub>x</sub>

65. Для того, щоб знизити викиди SO<sub>x</sub> з димовими газами у процесах випалювання в печі, НДТМ полягає в тому, щоб використовувати поєднання таких первинних та вторинних технологій:

	Технологія	Застосування
a	Технології оптимізації технологічного процесу	Загалом може застосовуватися
b	Вибір палива з низьким вмістом сірки	Загалом може застосовуватися за умови доступності палива з низьких вмістом сірки, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС. Вибір палива також залежить від якості готового продукту, технічних можливостей та економічних міркувань.
c	Технологія додавання сухого абсорбента (додавання сорбенту, такого як реактивні сорти MgO, гідратоване вапно, активоване вугілля, тощо, в потік димових газів) у поєднанні з фільтром <sup>(1)</sup>	Загалом може застосовуватися
d	Мокрий скрубєр <sup>(1)</sup>	У посушливих районах застосування цієї технології може бути обмежена великим об'ємом води, потрібним для роботи скрубєра, та потребою в очищенні стічних вод і пов'язаними з цим міжсередовищними наслідками

<sup>(1)</sup> Опис цього процесу/технології наведено у розділі 4.7.2

#### Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ

Див. Таблицю 4.15.

Таблиця 4.15. Нормативи гранично допустимих викидів, визначені у висновках НДТМ для викидів SO<sub>x</sub> з димовими газами у процесах обпалювання в печі у галузі виробництва магнезії

Параметр	Одиниця вимірювання	ВАТ-AEL <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> (середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб (точкові вимірювання протягом принаймні півгодини))
SO <sub>x</sub> у перерахунку на SO <sub>2</sub>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<50 – 400 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> ВАТ-AEL залежать від вмісту сірки в сировині та паливі. Нижня межа діапазону стосується використання сировини з низьким вмістом сірки та використання природного газу; верхня межа діапазону стосується використання сировини з вищим вмістом сірки та/або використання видів палива, що містять сірку.

<sup>(2)</sup> Міжсередовищні наслідки потрібно враховувати, щоб оцінити найкраще поєднання НДТМ для зниження викидів SO<sub>x</sub>.

<sup>(3)</sup> У випадках, коли мокрий скрубєр не застосовний, ВАТ-AEL залежить від вмісту сірки в сировині та паливі. У цьому випадку ВАТ-AEL <1 500 мг/м<sup>3</sup> н. у., і при цьому забезпечується ефективність видалення викидів SO<sub>x</sub> не менше 60 %.

#### 4.4.5 Технологічні втрати / відходи

66. Для того, щоб знизити/мінімізувати технологічні втрати/відходи, НДТМ полягає в тому, щоб повторно використати різні типи зібраного пилу карбонату магнію у технологічному процесі.

##### Застосування

Загалом може застосовуватися, залежить від хімічного складу пилу

67. Для того, щоб знизити/мінімізувати технологічні втрати/відходи, НДТМ полягає в тому, щоб використати різні типи зібраного пилу карбонату магнію в іншій продукції, призначеній для реалізації на ринку, якщо цей пил неможливо переробити.

##### Застосування

Використання пилу карбонату магнію в іншій продукції, призначеній для реалізації на ринку, може виходити за межі контролю оператора.

68. Для того, щоб знизити/мінімізувати технологічні втрати/відходи, НДТМ полягає в тому, щоб повторно використати шлам, отриманий у процесі мокрого знесірчення димових газів, у технологічному процесі чи в інших секторах промисловості.

##### Застосування

Використання шламу, отриманого у процесі мокрого знесірчення димових газів, в інших секторах промисловості, може виходити за межі контролю оператора.

#### 4.4.6 Використання відходів у якості палива та/або сировини

69. Для того, щоб гарантувати належні характеристики відходів, які будуть використовуватися у якості палива та/або сировини у печах для виробництва оксиду магнію, НДТМ полягає у тому, щоб застосовувати такі технології:

Технологія	
a	Вибирати відходи, які підходять для технологічного процесу та пальника
b	Застосовувати системи контролю якості, щоб гарантувати та контролювати потрібні характеристики відходів та аналізувати всі відходи, які планується використовувати, на предмет таких критеріїв: I. доступність II. постійна якість III. фізичні критерії, наприклад, утворення викидів, грубість подрібнення, реактивність, обпалюваність, теплота згорання IV. хімічні критерії, наприклад, вміст хлору, сірки, лугів, фосфатів та значимих металів (наприклад, загальний вміст хрому, свинцю, кадмію, ртуті, талію)
c	Контролювати величини значимих параметрів будь-яких відходів, які планується використовувати у якості палива, як-от контроль загального вмісту галогенів, вмісту металів (наприклад, загального вмісту хрому, свинцю, кадмію, ртуті, талію) та сірки

##### Застосування

Відходи можна використовувати у якості палива та/або сировини у галузі виробництва магnezії (хоча станом на 2007 рік вони ще не застосовувалися у галузі виробництва магnezії) залежно від їх доступності, типу печі, що використовується, потрібних рівнів якості продукту та технічної можливості подавання палива в піч.

## ОПИС ТЕХНОЛОГІЙ

## 4.5 Опис технологій для цементної промисловості

## 4.5.1 Викиди пилу

	Технологія	Опис
a	Електрофільтри	<p>Електрофільтри (ЕСП) створюють електростатичне поле на шляху твердих часток у потоці повітря. Частки набувають негативного заряду і рухаються до позитивно заряджених осаджувальних пластинчатих електродів. Осаджувальні пластини періодично струшуються за допомогою простукування чи вібрації, скидаючи матеріал, який падає у збиральні бункери під осаджувальними пластинами. Цикли струшування електрофільтра важливо оптимізувати таким чином, щоб мінімізувати вторинне винесення твердих часток, а отже, звести до мінімуму можливість того, що шлейф викидів стане видимим.</p> <p>Електрофільтри характеризуються здатністю працювати в умовах високої температури (приблизно до 400 °С) та високої вологості. Основним недоліком цієї технології є їх знижена ефективність при появі ізоляційного шару та нашаруванні матеріалу, який може утворюватися, якщо в піч вноситься велика кількість хлору та сірки. Для забезпечення загальної ефективності електрофільтрів важливо уникати відключень за рівнем CO.</p> <p>Хоча й не існує технічних обмежень на застосування електрофільтрів у різних процесах цементної промисловості, їх часто не вибирають для знепилення цементних млинів з огляду на інвестиційні витрати та ефективність (порівняно високі викиди) під час пусків та зупинок.</p>
b	Рукавні фільтри	<p>Рукавні фільтри є ефективними пиловловлювачами. Принцип роботи рукавного фільтра базується на використанні тканинної мембрани, яка є проникною для газу, але утримує пил. По суті, фільтрувальний матеріал розташований геометрично. Спочатку пил відкладається як на поверхневих волокнах, так і в глибині тканини, проте по мірі того, як накопичується поверхневий шар, фільтрувальним матеріалом переважно стає сам пил. Відпрацьовані гази можуть протікати зсередини назовні мішка або навпаки. По мірі того, як пиловий кек стає товстішим, його опір потоку газу збільшується. Тому фільтраційний матеріал необхідно періодично чистити, щоб контролювати перепад тиску газу на фільтрі. Рукавний фільтр повинен складатися з кількох відсіків, які можна ізолювати від інших у випадку несправності мішка. Цих відсіків має бути достатньо, щоб підтримувати належну ефективність роботи, якщо один відсік був виведений з експлуатації. У кожному відсіку мають бути передбачені «детектори розриву мішка», які будуть повідомляти про необхідність технічного обслуговування у разі розриву мішка. Фільтрувальні мішки доступні в асортименті мішків з тканого та нетканого полотна. Сучасні синтетичні тканини можуть працювати за досить високих температур до 280 °С.</p> <p>На ефективність роботи рукавних фільтрів впливають головним чином різні параметри, такі як сумісність фільтрувального матеріалу з характеристиками димових газів та пилу, належні властивості з точки зору термічного, фізичного та хімічного опору – наприклад, опір гідролізу, кислотам, лугам та окисненню – та температура технологічного процесу. При виборі цієї технології потрібно враховувати вологість та температуру димових газів.</p>
c	Комбіновані фільтри	<p>Комбіновані фільтри – це поєднання електрофільтрів та рукавних фільтрів в одному пристрої. Вони зазвичай є результатом перетворення існуючих електрофільтрів. Ці фільтри дають змогу частково повторно використати старе обладнання.</p>

4.5.2 Зниження викидів NO<sub>x</sub>

	Технологія	Опис
a	Первинні заходи/технології	
	I Охолодження полум'я	Додавання води у паливо або безпосередньо у полум'я за допомогою різних методів вприскування, як-от вприскування одного текучого середовища (рідини) або двох текучих середовищ (рідини та стисненого повітря чи твердих речовин), або використання рідких/твердих відходів з високим вмістом води зменшує температуру і збільшує концентрацію гідроксильних радикалів. Це може сприятливо впливати на зниження викидів NO <sub>x</sub> у зоні випалювання.
	II Пальники з низьким виділенням NO <sub>x</sub>	Конструкції пальників з низьким виділенням NO <sub>x</sub> (з опосередкованим нагріванням) різняться у деталях, проте їх суть полягає в тому, що паливо та повітря уприсковуються в піч через концентричні трубки. Пропорція первинного повітря зменшується всього до 6 – 10 % від кількості, необхідної для стехіометричного згорання (зазвичай 10 – 15 % у традиційних пальниках). Осьовий потік повітря вприскується з великою енергією у зовнішній канал. Вугілля може задуватися через центральну трубу або середній канал. Третій канал використовується для завихрення повітря: завихрення створюється лопатями на виході пічної форсунки або за нею. Кінцевий ефект цієї конструкції пальника полягає в тому, щоб забезпечити дуже раннє займання, особливо летких сполук у паливі, у атмосфері з недостатнім вмістом кисню, а це великою мірою запобігає утворенню NO <sub>x</sub> .  Застосування пальників з низьким виділенням NO <sub>x</sub> не завжди призводить до зниження викидів NO <sub>x</sub> . Налаштування пальника потрібно оптимізувати.
	III Випалювання у середній частині печі	У довгих печах, що працюють за мокрим або сухим способом, викиди NO <sub>x</sub> можна знизити шляхом створення відновлювальної зони за рахунок спалювання грудкового палива. Оскільки температурна зона діапазону приблизно 900 – 1 000 °C зазвичай недоступна у довгих печах, системи випалювання на середній частині печі можна встановлюватися для того, щоб мати змогу використовувати паливо з відходів, що не може пройти крізь основний пальник, – наприклад, покришки.  Інтенсивність згорання палива може мати критичне значення. Якщо паливо горить надто повільно, у зоні випалювання можуть створюватися відновлювальні умови, які можуть серйозно впливати на якість продукції. Якщо паливо горить надто інтенсивно, зона ланцюгової завіси у печі може перегрітися, а це призведе до вигорання ланцюгів. Температурний діапазон нижче 1 100 °C виключає можливість використання небезпечних відходів з вмістом хлору понад 1 %.
	IV Додавання мінералізаторів для покращення обпалюваності сировинної муки (мінералізованого клінкеру)	Додавання мінералізаторів, таких як фтор, до сировини – це технологія, яка дає змогу регулювати якість клінкеру та зменшити температуру у зоні спікання. Завдяки зменшенню/зниженню температури випалювання також зменшується інтенсивність утворення NO <sub>x</sub> .
	V Оптимізація технологічного процесу	Для зниження викидів NO <sub>x</sub> можна застосовувати заходи з оптимізації технологічного процесу, як-от вирівнювання та оптимізація роботи печі та умов випалювання, оптимізація контролю над роботою печі та/або гомогенізація палива, що подається в піч. На сьогодні були застосовані загальні первинні заходи/технології оптимізації, як-от заходи/технології керування технологічним процесом, удосконалена технологія випалювання з опосередкованим нагріванням, оптимізовані з'єднання з холодильником та вибір палива, а також оптимізація рівнів кисню.

	Технологія	Опис
b	Ступінчасте спалювання (викопного палива або палива з відходів), також у поєднанні з попереднім кальцинатором та використанням оптимізованої паливної суміші	Ступінчасте спалювання застосовується в цементних печах зі спеціально сконструйованим попереднім кальцинатором. Перший ступінь спалювання протікає в обертовій печі за оптимальних умов для процесу випалювання клінкеру. Другий ступінь спалювання протікає в пальнику у завантажувальному кінці печі: він створює відновлювальну атмосферу, у якій розкладається частина оксидів азоту, що утворилися в зоні спікання. Висока температура у цій зоні особливо сприятлива для протікання реакції, яка перетворює NO <sub>x</sub> назад в елементарний азот. На третьому ступені спалювання паливо для кальцинування подається у кальцинатор з деякою кількістю третинного повітря, також створюючи в ньому відновлювальну атмосферу. Ця система знижує інтенсивність утворення NO <sub>x</sub> з палива, а також зменшує кількість оксидів NO <sub>x</sub> , що виходять із печі. На четвертому і остаточному ступені згорання залишок третинного повітря подається у систему як «верхнє повітря» для залишкового спалювання.
c	СНКВ	Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ) полягає у вприскуванні водоаміачного розчину (до 25 % NH <sub>3</sub> ), аміачних сполук-прекурсорів або розчину карбаміду у газоподібні продукти згорання для відновлення NO до N <sub>2</sub> . Ефект цієї реакції оптимальний у температурному вікні приблизно від 830 до 1050 °С, а для того, щоб вбризнуті реагенти прореагували з NO, необхідно забезпечити достатній час перебування в системі.
d	СКВ	СКВ відновлює NO та NO <sub>2</sub> до N <sub>2</sub> за допомогою NH <sub>3</sub> та каталізатора у діапазоні температур близько 300 – 400 °С. Ця технологія широко використовується для зниження викидів NO <sub>x</sub> у інших галузях промисловості (вугільні електростанції, печі для спалювання відходів). У цементній промисловості розглядаються, по суті, дві системи: конфігурація для низької концентрації пилу між пиловловлювальною установкою та димовою трубою, і конфігурація для високої концентрації пилу між підігрівачем та пиловловлювальною установкою. Системи для димових газів з низькою концентрацією пилу потребують повторного нагрівання димових газів після знепилення, а це може призвести до додаткових витрат на електроенергію та втрат тиску. Системи для високої концентрації пилу вважаються більш вигідними з технічних та економічних міркувань. Ці системи не потребують повторного нагрівання, оскільки температура відхідних газів на виході системи підігрівача зазвичай знаходиться у належному діапазоні температур для роботи СКВ.



4.5.3 Викиди SO<sub>x</sub>

	Технологія	Опис
a	Додавання абсорбентів	<p>Абсорбент додається до сировини (наприклад, у випадку додавання гідратованого вапна) або вприскується у газовий потік (наприклад, гідратоване або гашене вапно (Ca(OH)<sub>2</sub>), негашене вапно (CaO), активована зола-винос з високим вмістом CaO або гідрокарбонат натрію)</p> <p>Гідратоване вапно можна завантажувати в сировинний млин разом з компонентами сировини або додавати безпосередньо до матеріалу, який завантажується в піч. Додавання гідратованого вапна має додаткову перевагу – у результаті додавання кальцієвмісної добавки утворюються продукти реакції, які можуть безпосередньо включатися у процес випалювання клінкеру.</p> <p>Абсорбент можна вприскувати в газовий потік у сухому або мокрому вигляді (напівсухе очищення газу). Абсорбент вприскується у тракт димових газів за температур, близьких до точки роси за водою: таким чином створюються більш сприятливі умови для захоплення SO<sub>2</sub>. У системах цементних печей цей температурний діапазон зазвичай досягається на ділянці між сировинним млином та пиловловлювачем.</p>
b	Мокрий скрубєр	<p>Мокрий скрубєр – це найбільш поширена технологія знесірчення димових газів на вугільних електростанціях. У процесах виготовлення цементу мокрий процес зарекомендував себе як технологія зниження викидів SO<sub>2</sub>. Робота мокрого скрубєра базується на такій хімічній реакції:</p> $\text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \longleftrightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ <p>SO<sub>x</sub> поглинається рідиною/шламом, що розбризкується у зрошувальній колоні. У якості абсорбенту зазвичай використовується карбонат кальцію. Системи мокрого очищення забезпечують найвищу ефективність видалення розчинних кислих газів з усіх методів знесірчення димових газів (ЗДГ) з найнижчими надлишковими стехіометричними коефіцієнтами та найнижчими обсягами виробництва твердих відходів. Ця технологія потребує певних кількостей води, а отже, виникає потреба в очищенні стічних вод.</p>

## 4.6 Опис технологій для вапняної промисловості

### 4.6.1 Викиди пилу

	Технологія	Опис
a	Електрофільтр	<p>Загальний опис електрофільтрів наведений у розділі 1.5.1.</p> <p>Електрофільтри підходять для роботи за температур вище точки роси і до 400 °С. Крім того, електрофільтри також можна використовувати за температур, близьких або навіть нижчих, ніж точка роси. Через великі об'ємні витрати та порівняно високі пилові навантаження електрофільтрами обладнують головним чином обертові печі без підігрівачів, проте іноді й обертові печі з підігрівачами. Використовуючи ці фільтри у поєднанні з баштою швидкого охолодження, можна досягти відмінних робочих показників.</p>
b	Рукавний фільтр	<p>Загальний опис рукавних фільтрів наведений у розділі 1.5.1.</p> <p>Рукавні фільтри добре підходять для печей, установок роздрібнення та помелу негашеного вапна, а також вапняку; для установок гідратації вапна, транспортування матеріалу, складських споруд та завантажувально-розвантажувального обладнання. Часто їх корисно використовувати у поєднанні з циклонними попередніми фільтрами. Робота рукавних фільтрів обмежена умовами димових газів, такими як температура, волога, пилове навантаження та хімічний склад. Для того, щоб фільтри відповідали цим умовам, існують різні тканинні матеріали, стійкі до механічного, термічного та хімічного зношування.</p>
c	Мокрий пиловловлювач	<p>За допомогою мокрих пиловловлювачів пил видаляється з потоків відпрацьованих газів шляхом приведення потоку газів у тісний контакт зі зрошувальною рідиною (зазвичай водою): при цьому частки пилу захоплюються рідиною, і їх таким чином можна вимити. Для видалення пилу доступно кілька різних типів мокрих скрубєрів. Основними типами, що використовуються у печах випалу вапна, є багатокаскадні/багатоступеневі мокрі скрубєри, динамічні мокрі скрубєри та мокрі скрубєри з трубою Вентури. Більшість мокрих скрубєрів, що використовуються у печах випалу вапна, – це багатокаскадні/багатоступеневі мокрі скрубєри.</p> <p>Мокрі скрубєри вибирають у тих випадках, коли температури димових газів близькі або нижчі, ніж точка роси. Їх також можуть вибирати в умовах обмеженого простору. Мокрі скрубєри іноді використовуються для очищення газів з вищою температурою: у цьому випадку вода охолоджує гази і зменшує їх об'єм.</p>
d	Відцентровий сепаратор / циклон	<p>У відцентровому сепараторі / циклоні частки пилу, які потрібно видалити з потоку відпрацьованих газів, відгискаються до зовнішньої стінки агрегату під дією відцентрової сили, а тоді викидаються через отвір у днищі агрегату. Відцентрові сили можна створювати шляхом спрямування потоку газу вниз по спіралі через циліндричні посудини (циклонні сепаратори) або за допомогою встановленої в агрегаті крильчатки, що обертається (механічні відцентрові сепаратори). Проте вони підходять лише для використання у якості попередніх сепараторів, оскільки ефективність видалення часток у них обмежена: вони звільняють електрофільтри та рукавні фільтри від високого пилового навантаження та зменшують проблеми зі стиранням.</p>

## 4.6.2 Зниження викидів NO

	Технологія	Опис
a	Конструкція пальника (пальник з низьким виділенням NO <sub>x</sub> )	Пальники з низьким виділенням NO <sub>x</sub> доцільно використовувати для зниження температури полум'я, а отже, для зниження виходу NO <sub>x</sub> , що утворюється в результаті термічних процесів та (певною мірою) з палива. Вихід NO <sub>x</sub> знижується шляхом подавання продувного повітря для зниження температури полум'я або шляхом забезпечення імпульсної роботи пальників. Пальники з низьким виділенням NO <sub>x</sub> спроектовані таким чином, щоб зменшувати частку первинного повітря – завдяки цьому утворюється менша кількість NO <sub>x</sub> , у той час як звичайні багатоканальні пальники працюють з часткою первинного повітря від 10 до 18 % загального об'єму повітря, що надходить у зону горіння. Більша частка первинного повітря призводить до короткочасного та інтенсивного горіння факела через раннє змішування гарячого вторинного повітря та палива. Це призводить до вищих температур полум'я, а також до утворення великої кількості NO <sub>x</sub> , якому можна запобігти шляхом використання пальників з низьким виділенням NO <sub>x</sub> .
b	Ступінчасте подавання повітря	Шляхом зменшення подавання кисню у зонах первинної реакції створюється відновлювальна зона. Високі температури у цій зоні особливо сприятливі для протікання реакції, яка перетворює NO <sub>x</sub> назад в елементарний азот. У наступних зонах згорання подавання повітря та кисню збільшується для окиснення утворених газів. Аби гарантувати, що рівні як CO, так і NO <sub>x</sub> будуть підтримуватися низькими, необхідно забезпечити ефективне змішування повітря з газом у зоні обпалювання.  Станом на 2007 рік ступінчасте подавання повітря жодного разу не застосовувалося у вапняній промисловості.
c	СНКВ	Оксиди азоту (NO та NO <sub>2</sub> ), присутні у димових газах, видаляються шляхом селективного некаталітичного відновлення та перетворення в азот і воду: для цього в піч вприскується відновлювальний реагент, який реагує з оксидами азоту. У якості відновлювального реагенту зазвичай використовується аміак або карбамід. Реакції протікають за температур від 850 до 1 020 °C, а оптимальний діапазон зазвичай припадає на температури від 900 до 920 °C.

4.6.3 Викиди SO<sub>x</sub>

	Технологія	Опис
a	Технологія додавання абсорбентів	Ця технологія полягає у додаванні абсорбента в сухому вигляді безпосередньо в піч (шляхом завантаження або вприскування) або в сухому або мокрому вигляді (наприклад, гідратоване вапно чи гідрокарбонат натрію) у димові гази для усунення викидів SO <sub>x</sub> . Якщо абсорбент вприскується в димові гази, для досягнення ефективної абсорбції необхідно забезпечити достатній час перебування між точкою вприскування та пиловловлювачем (рукавним чи електрофільтром).  Для обертових печей технології абсорбції можуть охоплювати: <ul style="list-style-type: none"> <li>Використання дрібного вапняку: Для прямої обертової печі з доломітом у якості вхідної сировини викиди SO<sub>2</sub> можна суттєво знизити у випадках, коли кам'яна сировина містить велику кількість дрібно розділеного вапняку або схильна розпадатися при нагріванні. Дрібно розділений вапняк кальцинується, захоплюється пічними газами і уловлює SO<sub>2</sub> на шляху до пиловловлювача та в самому пиловловлювачі.</li> <li>Вприскування вапна у повітря, що подається для згорання: Запатентована технологія (Європейський патент EP 0 734 755 A1), що усуває викиди SO<sub>2</sub> з обертових печей шляхом вприскування дрібно розділеного негашеного чи гідратованого вапна у повітря, що подається у топкову камеру печі.</li> </ul>

## 4.7 Опис технологій для галузі виробництва магnezії (сухий технологічний метод)

### 4.7.1 Викиди пилу

	Захід/технологія	Опис
a	Електрофільтри (ЕСП)	Загальний опис електрофільтрів наведений у розділі 1.5.1.
b	Рукавні фільтри	<p>Загальний опис рукавних фільтрів наведений у розділі 1.5.1.</p> <p>Рукавні фільтри забезпечують високий ступінь уловлювання твердих часток – зазвичай понад 98 % і до 99 %, залежно від розміру часток. Ця технологія забезпечує найкращу ефективність уловлювання часток у порівнянні з іншими заходами/технологіями зниження викидів пилу, що використовуються у галузі виробництва магnezії. Проте через високі температури димових газів печі потрібно використовувати спеціальні фільтрувальні матеріали, які можуть витримувати високі температури.</p> <p>На заводах, що виготовляють НОМ, використовуються фільтрувальні матеріали, які працюють з температурами до 250 °С, як-от фільтрувальний матеріал на основі ПТФЕ (тефлону). Цей фільтрувальний матеріал демонструє хорошу стійкість до кислот і лугів, і завдяки йому було вирішено багато проблем з корозією.</p>
c	Циклони (відцентрові сепаратори)	Загальний опис циклонів наведений у розділі 1.6.1. Це міцне обладнання, яке працює у широкому діапазоні робочих температур, споживаючи мало енергії. Оскільки ступінь сепарації обмежений і залежить від конкретної системи, циклони використовуються головним чином як попередні сепаратори для видалення грубих часток пилу та очищення димових газів.
d	Мокрі пиловловлювачі	<p>Загальний опис мокрих пиловловлювачів (також відомих під назвою «мокрі скрубери») наведений у розділі 1.6.1.</p> <p>Мокрі пиловловлювачі можна поділити на різні типи за їх конструкцією та принципом роботи – наприклад, мокрі скрубери з трубою Вентурі. Цей тип мокрого пиловловлювача має кілька застосувань у галузі виробництва магnezії – зокрема, у випадку, коли газ спрямовується через найвужчу ділянку труби Вентурі – «сопло Вентурі», і швидкість газу може досягати 60 – 120 м/с. Промивальні рідини, які подаються у сопло труби Вентурі, розпилюються, утворюючи туман з дуже дрібних крапель, і інтенсивно перемішуються з газом. Тверді частки, які осіли на краплі води, стають важчими, і їх можна легко видалити за допомогою краплевідокремлювача, встановленого у цьому мокрому пиловловлювачі з трубою Вентурі.</p>

4.7.2 Викиди SO<sub>x</sub>

	Технологія	Опис
a	Технологія додавання абсорбентів	Ця технологія полягає у додаванні абсорбента в сухому або мокрому вигляді (напівсухе очищення газу) у димові гази для видалення викидів SO <sub>x</sub> . Для досягнення високоефективної абсорбції дуже важливо забезпечити достатній час перебування газу між точкою вприскування та пиловловлювачем. У якості ефективних абсорбентів SO <sub>2</sub> для галузі виробництва магnezії можна використовувати реактивні сорти MgO. Незважаючи на свою малу ефективність у порівнянні з іншими абсорбентами, використання реактивних сортів MgO має дві переваги: інвестиційні витрати знижуються, а пил у фільтрі не забруднюється іншими речовинами, тож його можна повторно використати замість сировини у виробництві магnezії або застосувати як добриво (сульфат магнію), і таким чином мінімізувати утворення відходів.
b	Мокрий скруббер	У технології мокрого очищення в скруббері оксиди сірки SO <sub>x</sub> абсорбуються рідиною/шламом, що розбризкується назустріч потоку димових газів у зрошувальній колоні. Ця технологія потребує води в об'ємі від 5 до 12 м <sup>3</sup> /тону продукту, а отже, виникає потреба в очищенні стічних вод.

## 5 ЗАКЛЮЧНІ ЗАУВАЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МАЙБУТНЬОЇ РОБОТИ

### Графік процесу перегляду Довідкового документа з найкращих доступних технологій та методів управління (BREF) для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію (CLM) і його перетворення у рамках Директиви щодо промислових викидів (IED)

Установче засідання з перегляду документа BREF для виробництва цементу та вапна відбулося у вересні 2005 року в рамках Директиви про комплексне запобігання і контроль забруднень (IPPC). Технічна робоча група (TRG) домовилася про розширення сфери застосування цього документа та додавання до BREF, присвяченого виробництву цементу та вапна, інформації про додатковий промисловий сектор – виробництво оксиду магнію (MgO/магнезії). Після періоду збору інформації та даних у лютому 2007 року було проведене друге засідання TRG з метою перевірки і погодження інформації та даних, які потрібно було використати для переробки документа BREF. Крім того, TRG звернулася с проханням про процедурний виняток для процесу перегляду цього документа з метою розбиття обговорень щодо розділів 1 – 4 та розділів з НДТМ для трьох частин, присвячених цементу, вапну та оксиду магнію.

За запитом TRG і з урахуванням загального графіку перегляду документів BREF (грудень 2005 року), Форум з обміну інформацією (IEF) погодився розбити обговорення щодо розділів 1 – 4 та розділів з НДТМ для трьох частин, присвячених цементу, вапну та оксиду магнію.

Перший ескіз переглянутого документа BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію був випущений для проведення консультацій у вересні 2007 року. Друга частина першого ескізу, яка охоплювала розділи з технологій, які потрібно розглянути при визначенні НДТМ, та висновків щодо НДТМ, була випущена для проведення консультацій у травні 2008 року. Заключне засідання TRG було проведене у вересні 2008 року.

З огляду на загальний графік перегляду документів BREF (грудень 2005 року), редакція документа BREF для виробництва цементу та вапна не передбачала повної переробки першого документа, прийнятого у грудні 2001 року, а оновлювала існуючий документ і доповнювала його додатковою інформацією (наприклад, стосовно технологій), яка була переглянута, оскільки могла вплинути на висновки щодо НДТМ. Обмін інформацією та збирання даних було здійснено на базі побажань TRG та висновків, погоджених на другому засіданні TRG (січень 2007 року).

Документ BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію був прийнятий і опублікований у 2010 році в рамках Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень (2008/1/EC). У лютому 2012 року Європейська комісія вирішила продовжити роботу над BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію і перетворити його в документ, зроблені за яким висновки про НДТМ можна буде використовувати для реалізації Директиви щодо промислових викидів. Ескізні висновки щодо НДТМ були випущені для проведення консультацій з TRG у лютому 2012 року. У травні 2012 року було проведене засідання TRG, метою якого було обговорити ескізні висновки щодо НДТМ і переконатися, що вони точно відображають технічний зміст висновків, погоджених TRG на заключному засіданні TRG у вересні 2008 року в рамках Директиви з комплексного запобігання та контролю забруднень. Поточний документ містить висновки щодо НДТМ, перетворені таким чином, щоб їх можна було впровадити у рамках Директиви 2010/75/EU. Під час адаптації BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію до положень Директиви щодо промислових викидів (IED) висновки щодо НДТМ для всіх трьох секторів були зведені у нову Частина 4, а існуючі заключні зауваження – в нову Частина 5.

## 5.1 Цементний сектор

### Джерела інформації та інформаційні прогалини

Переглянута частина, присвячена цементній промисловості, базується на великій кількості документів та більш ніж 50 джерелах інформації, отриманої як від представників галузі, так і від країн-членів ЄС. Звіти були надані Європейською асоціацією виробників цементу (CEMBUREAU) – галузевою асоціацією, у якій представлена більшість європейських виробників цементу та ряд країн-членів ЄС: Німеччина, Австрія, Швеція, Франція, Велика Британія, Ірландія, Нідерланди, Італія, Угорщина, Естонія, Іспанія, Португалія, Фінляндія та Чехія. Крім того, інформація була надана Європейським об'єднанням відповідального спалювання та переробки спеціальних відходів (EURITS) – галузевою асоціацією, у якій представлена більшість підприємств ЄС в галузі спалювання небезпечних відходів, та постачальником з Норвегії. Ці документи можна вважати складовими блоками переглянутих місць цієї частини, присвяченої цементній промисловості.

Додаткова корисна інформація була отримана шляхом відвідування об'єктів з виробництва цементу у Великій Британії, Австрії, Німеччині, Бельгії, Іспанії, Фінляндії та Угорщині.

Незважаючи те, що була отримана велика кількість дуже корисної інформації та багато коментарів щодо ряду різних питань, необхідно відзначити деякі проблеми з даними та відповідні наслідки для цієї частини, присвяченої цементній промисловості:

- відсутня інформація про частоту вимірювань, тобто у випадку періодичних вимірювань;
- відсутня інформація щодо питання викидів ртуті та зв'язку між викидами ртуті та варіантами технічних засобів, доступних для зниження рівнів ртуті;
- певною мірою відсутня узгоджена інформація про технології моніторингу та системи вимірювання викидів – наприклад, викидів ртуті;
- інформація та дані щодо використання активованого вугілля були надані лише для зниження викидів  $SO_x$ , проте ця технологія не розглядалася як технологія зниження викидів кількох забруднюючих речовин для кількох інших викидів у повітря;
- надані вхідні дані щодо використання відходів – це дані для конкретних заводів, а тому вони різняться для різних країн ЄС-27, наприклад, за характеристиками та параметрами. Дані, надані у цьому контексті, містять багато конкретних подробиць, проте приводять до висновку, що за ними важко сформулювати загальні кількісні судження щодо цього питання, і відповідні висновки щодо НДТМ базуються на якісному підході;
- технологія псевдозріженого шару для виробництва цементу описана як перспективна технологія (див. розділ 1.5.1); проте ТРГ не надала інформації про те, як цю технологію слід/можна надалі розвивати.

Під час заключного засідання ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію» було детально обговорено джерело та можливі технологія зниження викидів ртуті. Обговорення показало, що:

- рівень викидів ртуті залежить головним чином від складу сировини. Стосовно наданих даних про викиди було виявлено, що їх рівні можна знизити до менш ніж  $0,05 \text{ мг/м}^3$  н. у., однак не було жодних свідчень про те, як досягаються ці знижені рівні. Європейська асоціація виробників цементу (CEMBUREAU) погодилася провести дослідження на цю тему, щоб отримати глибше розуміння цих викидів ртуті та визначити зв'язок між цим питанням і всіма заводами. CEMBUREAU намагатиметься підготувати повний набір даних щодо цього питання до наступного перегляду даного документа BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію;
- безперервний моніторинг викидів ртуті проводиться у Німеччині та Австрії, оскільки у цих країнах діють юридично обов'язкові вимоги до безперервного

моніторингу рівнів ртуті (у Німеччині – з 2000 року). У 2008 році в німецькій цементній промисловості працювало 34 системи безперервного моніторингу викидів (SEM) для ртуті. Пристрої контролю на той час досліджувалися, і у цілому до 2008 року робочі характеристики систем безперервного моніторингу викидів були вдосконалені достатньою мірою, щоб ці системи належним чином працювали і надавали надійні результати. Загалом було виявлено, що у деяких випадках потрібно проводити додаткове технічне обслуговування. У деяких інших випадках, згідно з вимогами уповноважених органів влади, доступні на ринку пристрої необхідно було модифікувати, щоб вони підходили для окремих випадків застосування. Лише у рідкісних випадках (10 %) системи безперервного моніторингу викидів неможливо було належним чином використовувати. Остаточні висновки щодо довготермінової стійкості цих пристроїв поки що відсутні. Інтервали періодичного обслуговування систем безперервного моніторингу викидів потрібно буде відрегулювати з урахуванням майбутнього досвіду. У жовтні 2007 року Німецьке агентство охорони навколишнього середовища (UBA) запитало постачальників цих пристроїв вимірювання рівнів ртуті та пов'язаних з ними послуг про їх досвід. Як результат, тепер наявні методичні вказівки з забезпечення якості, які також встановлюють вимоги до процедури технічного обслуговування більшості систем безперервного моніторингу викидів. Крім того, складним завданням є належне калібрування систем безперервного моніторингу викидів згідно з Європейським стандартом EN 14181. У випадку систем безперервного моніторингу викидів ртуті ця процедура потребує більших зусиль, ніж калібрування систем безперервного моніторингу інших викидів – наприклад, викидів пилу чи NO<sub>x</sub>. Періодичні процедури контролю якості повинні проводитися лише досвідченим персоналом. Необхідно слідкувати за процесом розробки, який постійно провадиться. Отримані результати слід врахувати у наступному перегляді цього документа BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію, а крім того, слід зібрати інформацію та дані на цю тему, щоб сформулювати загальні кількісні судження щодо безперервного вимірювання викидів ртуті.

Необхідно слідкувати за процесом розробки, який постійно провадиться, та проводити дослідження у рамках вдосконалень та подальших розробок. Отримані результати слід врахувати у наступному перегляді цього документа BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію, а крім того, слід зібрати інформацію та дані на цю тему, щоб сформулювати загальні кількісні судження щодо безперервного вимірювання викидів ртуті.

#### **Рівень згоди під час обміну інформацією**

Висновки з роботи над частиною, присвяченою цементній промисловості, були погоджені на заключному засіданні ТРГ у вересні 2008 року на та засіданні ТРГ у травні 2012 року. Було досягнуто високого рівня згоди щодо висновків, зроблених стосовно НДТМ (найкращих доступних технологій та методів управління) для цементної промисловості, і розбіжностей у точках зору не було зафіксовано.

#### **Рекомендації для майбутньої роботи**

Обмін інформацією та його результат для цементної промисловості, тобто частина цього документа, присвячена цементній промисловості, став важливим кроком вперед у забезпеченні комплексного запобігання та контролю забруднень, що виникають у результаті виробництва цементу. Цей процес можна продовжити шляхом роботи над такими питаннями:

- зібрати дані шляхом урахування вказівок, викладених у Виконавчому рішенні Комісії 2012/119/EU щодо збору даних та складання довідкових документів щодо НДТМ, щоб отримати змогу оцінити роботу певних технологій – особливо потенційних НДТМ – на рівні заводу;
- зібрати інформацію щодо зв'язку між типом технологічного процесу, відходами (типами, кількостями), які в ньому використовуються, та викидами;
- зібрати дані про витрати (наприклад, інвестиційні, експлуатаційні витрати) на всі технології, які потрібно розглянути при визначенні НДТМ;



- зібрати дані про витрати разом з показниками ефективності зниження викидів за допомогою технологій зниження викидів;
- зібрати інформацію та дані щодо варіантів мінімізації споживання енергії або збільшення енергоефективності;
- зібрати дані про споживання енергії разом з даними про найкращі робочі показники за типами печей, що використовуються;
- зібрати інформацію та дані щодо зниження викидів NO<sub>x</sub> – особливо для технологій СКВ та СНКВ;
- зібрати дані про викиди NH<sub>3</sub>;
- зібрати більше інформації про використання активованого вугілля, яке вважається заходом/технологією для зниження викидів багатьох забруднюючих речовин, – наприклад, для зниження викидів SO<sub>x</sub>;
- зібрати інформацію про моніторинг викидів та частоту моніторингу – наприклад, для періодичних вимірювань, щоб органи влади могли перевіряти виконання зобов'язань у рамках дозволів / умов надання дозволів;
- дослідити перегляд Довідкового документа щодо загальних принципів моніторингу;
- зібрати інформацію та дані про викиди ЗОВ;
- зібрати дані та дослідити технології, які можна використовувати для зниження рівнів металів (ртуті);
- зібрати інформацію та дані про всі вхідні речовини технологічного процесу, а особливо ртуть;
- зібрати інформацію та дані про вхідні критерії для відходів;
- зібрати інформацію про технології безперервного моніторингу викидів ртуті, що використовуються в цементній промисловості;
- зібрати інформацію про технологію виготовлення цементу з використанням псевдозрідженого шару;
- зібрати інформацію про технологію зниження викидів за допомогою напівсухих скрубєрів у цементній промисловості;
- внести стандартні методи (наприклад, стандарти EN, стандарти ISO), що використовуються для моніторингу конкретних забруднюючих речовин у цементній промисловості.

### Рекомендовані теми для майбутніх науково-дослідницьких робіт

Для використання СКВ для зниження викидів NO<sub>x</sub> у цементній промисловості все ще необхідно виконати деяку подальшу роботу з розробки належних каталізаторів та подальшої розробки технологічного процесу (див. НДТМ 19 d у розділі 4.2.6.1).

Деякі майбутні науково-дослідницькі роботи досі необхідні і будуть корисними – зокрема, стосовно технологій, описаних у розділі «Перспективні технології» (розділі 1.5), щоб ці технології можна було врахувати у визначенні НДТМ для цементної промисловості.

У рамках своїх науково-дослідницьких та дослідно-конструкторських програм Європейська комісія запускає і підтримує серію проєктів, присвячених екологічно чистим технологіям, перспективним технологіям очищення та переробки стоків і стратегіям керування. Ці проєкти потенційно здатні зробити корисний внесок у майбутні редакції довідкових документів з найкращих доступних технологій та методів управління (BREF). Тому Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень (EIPPCB) запрошує читачів цього документа повідомляти про будь-які результати досліджень, що стосуються змісту цього документа (також див. п'ятий розділ Передмови до цього документа).

### Джерела інформації та інформаційні прогалини

Переглянута частина, присвячена вапну, розроблена на основі 35 документів, у яких міститься інформація як від представників галузі, так і від країн-членів ЄС. Звіти були надані Європейською асоціацією виробників вапна (EuLA) – галузевою асоціацією, у якій представлена більшість європейських виробників вапна та ряд країн-членів ЄС: Німеччина, Австрія, Франція, Фінляндія, Португалія, Італія, Іспанія, Угорщина та Чехія. Ці звіти можна вважати складовими блоками переглянутої частини цього документа,

присвяченої вапняній промисловості.

Додаткова корисна інформація була отримана шляхом відвідування об'єктів з виробництва вапна у Австрії, Німеччині та Фінляндії.

Незважаючи те, що була отримана велика кількість дуже корисної інформації та багато коментарів щодо ряду різних питань, необхідно відзначити деякі проблеми з даними та деякі з їх відповідних наслідків для цієї частини, присвяченої вапняній промисловості:

- відсутня інформація про споживання енергії, а також дані про найкращі робочі показники за типами печей та різними типами продукції; проте питання споживання енергії було винесене на розгляд для формулювання за ним висновків щодо НДТМ;
- відсутня інформація щодо моніторингу викидів та частоти моніторингу, яка застосовується, наприклад, для періодичних вимірювань;
- для зниження та боротьби з викидами  $\text{NO}_x$  використовуються первинні технології. Крім цього, у 2008 році СНКВ застосовувалося лише в печах Леполя (одна установка з чотирма печами). Ця технологія СНКВ перебуває на етапі випробування і працює у сумі 2 роки. Стосовно використання СНКВ у вапняній промисловості, відсутня інформація та дані про довготривалий досвід використання цієї технології – наприклад, про ефективність відновлення разом з даними про викиди  $\text{NO}_x$  за найкращих робочих показників, просок  $\text{NH}_3$ .  
У 2008 році була відсутня інформація про те, чи СНКВ можна застосовувати для зниження викидів  $\text{NO}_x$  в інших типах обертових печей, що використовуються для виробництва вапна, крім печей Леполя;
- стосовно викидів  $\text{CO}$  відсутня інформація про те, у яких типах інших шахтних печей (ШП) викиди  $\text{CO}$  наразі перевищують ВАТ-АЕЛ. Деякі з цих типів шахтних печей можуть мати специфічні технічні характеристики, які перешкоджають досягненню погоджених ВАТ-АЕЛ за  $\text{CO}$ . Такі технічні характеристики могли б враховуватися уповноваженими органами влади при встановленні умов надання дозволів;
- відсутня інформація про частоту та тривалість відключень за рівнем  $\text{CO}$  у випадках застосування електрофільтрів, тож відповідні висновки щодо НДТМ базуються на якісному підході;
- певною мірою відсутня інформація щодо питання викидів металів та зв'язку між викидами металів (ртуті) та доступними варіантами технічних засобів, які мають цінність і могли б використовуватися для зниження цих викидів;
- відсутня інформація про викиди ЗОВ та їх зниження у шахтних печах зі змішаним живленням (ШПЗЖ). Крім того, повідомлялося про високі викиди  $\text{CO}$  – близько  $2\ 500\ \text{мг/м}^3$  н. у. – з ШПЗЖ, на які впливають і які визначають кілька чинників (наприклад, реакція Будуа, див. Рисунок 2.40). Цим викидам може бути складно, а певною мірою навіть неможливо запобігти. У якості перспективної технології можна було б використовувати допалювання димових газів, проте ця технологія потребує додаткової розробки та дослідження;
- кальцинування у псевдозрідженому шарі для виробництва вапна описане як перспективна технологія (див. розділ 2.5.1); проте ТРГ не надала інформації про те, як цю технологію можна (було б) надалі розвивати.

### Рівень згоди на заключному засіданні ТРГ

Висновки з роботи над частиною, присвяченою вапняній промисловості, були погоджені на заключному засіданні ТРГ у вересні 2008 року на та засіданні ТРГ у травні 2012 року. Було досягнуто високого рівня згоди щодо висновків, зроблених стосовно НДТМ (найкращих доступних технологій та методів управління) для вапняної промисловості, і розбіжностей у точках зору не було зафіксовано.

### Рекомендації для майбутньої роботи

Обмін інформацією та його результат для вапняної промисловості, тобто частина цього документа, присвячена вапняній промисловості, став важливим кроком вперед у забезпеченні комплексного запобігання та контролю забруднень, що виникають у результаті виробництва вапна. Цей процес можна продовжити шляхом роботи над такими питаннями:

- зібрати дані шляхом урахування вказівок, викладених у Висновку рішення Комісії 2012/119/EU щодо збору даних та складання довідкових документів щодо НДТМ, щоб отримати змогу оцінити роботу певних технологій – особливо потенційних НДТМ – на рівні заводу;
- зібрати інформацію щодо зв'язку між типом технологічного процесу, відходами (типами, кількостями), які в ньому використовуються, та викидами;
- зібрати дані про витрати (наприклад, інвестиційні, експлуатаційні витрати) на всі технології, які потрібно розглянути при визначенні НДТМ;
- зібрати дані про витрати разом з показниками ефективності зниження викидів за допомогою технологій зниження викидів;
- зібрати інформацію та дані щодо варіантів мінімізації споживання енергії або збільшення енергоефективності;
- зібрати інформацію про споживання енергії разом з даними про найкращі робочі показники за типами печей, що використовуються, та різними типами продукції, що виготовляється;
- зібрати інформацію про моніторинг викидів та частоту моніторингу – наприклад, дослідити періодичний моніторинг викидів, щоб органи влади могли перевіряти виконання зобов'язань у рамках дозволів / умов надання дозволів;
- дослідити перегляд Довідкового документа щодо загальних принципів моніторингу;
- зібрати інформацію та дані про використання відходів (наприклад, склад, вхідні критерії);
- зібрати інформацію та дані про використання СНКВ у вапняній промисловості для зниження викидів  $\text{NO}_x$  – наприклад, ефективність відновлення, просок  $\text{NH}_3$ ;
- зібрати повніші та детальніші дані про викиди металів і дослідити технології, які можна використовувати для зниження рівнів металів (особливо ртуті);
- дослідити та зібрати дані про частоту та тривалість відключень за рівнем  $\text{CO}$  у випадках застосування електрофільтрів;
- для ПРП потрібно провести додаткові дослідження, щоб віднайти рішення для проблеми викидів  $\text{ZOV}$ ;
- для ШПЗЖ потрібно зібрати додаткову інформацію про викиди  $\text{CO}$  та  $\text{ZOV}$  (особливо пов'язану з розробкою технології допалювання, як описано у розділі 2.5.4);
- зібрати інформацію про технологію виготовлення вапна з використанням псевдозріженого шару;
- внести стандартні методи (наприклад, стандарти EN, стандарти ISO), що використовуються для моніторингу конкретних забруднюючих речовин у вапняній промисловості.
- Зібрати інформацію про виробництво спеченого вапна та доломітового вапна з використанням біомаси у якості палива (рівні викидів та споживання ресурсів).

### Рекомендовані теми для майбутніх науково-дослідницьких робіт

Деякі майбутні науково-дослідницькі роботи досі необхідні і будуть корисними – зокрема, стосовно технологій, описаних у розділі «Перспективні технології» (розділі 2.5), щоб ці технології можна було врахувати у визначенні НДТМ для цементної промисловості.

У рамках своїх науково-дослідницьких та дослідно-конструкторських програм Європейська комісія запускає і підтримує серію проєктів, присвячених екологічно чистим технологіям, перспективним технологіям очищення та переробки стоків і стратегіям керування. Ці проєкти потенційно здатні зробити корисний внесок у майбутні редакції довідкових документів з найкращих доступних технологій та методів управління (BREF). Тому Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень (EIPPCB) запрошує читачів цього документа повідомляти про будь-які результати досліджень, що стосуються змісту цього документа (також див. п'ятий розділ Передмови до цього документа).

## 5.2 Сектор виробництва оксиду магнію

### Джерела інформації та інформаційні прогалини

Частина, присвячена MgO, була розроблена з нуля і базується на шести документах і п'яти джерелах інформації як від представників галузі, так і від країн-членів ЄС. Звіти були надані Європейською асоціацією гірничодобувної промисловості, металевих руд та промислових мінералів (EUROMINES) – галузевою асоціацією, у якій представлені європейські виробники MgO та країна-член ЄС – Австрія. Ці документи можна вважати складовими блоками частини цього документа, присвяченої MgO.

Додаткова корисна інформація була отримана шляхом відвідування одного об'єкта з виробництва MgO в Австрії.

Слід зазначити, що станом на 2008 рік у країнах ЄС-27 за наявною інформацією було відомо лише дев'ять виробників оксиду магнію, у яких працювало 14 заводів, тож заводів, які виготовляють спечений оксид магнію, відповідно, теж мало.

Незважаючи на те, що була отримана велика кількість дуже корисної інформації та багато коментарів щодо ряду питань, необхідно відзначити деякі проблеми з інформацією та даними та деякі з їх відповідних наслідків для цієї частини, присвяченої MgO:

- відсутня інформація про споживання енергії різними типами печей разом з даними про конкретну продукцію та найкращі робочі показники. У висновку щодо НДТМ для споживання енергії (НДТМ 56, розділ 4.4.2) наведений діапазон відображає лише інформацію, надану для цього документа BREF. Більш конкретна інформація про найефективніші технології у поєднанні з виготовленою продукцією не надавалася;
- відсутня інформація щодо моніторингу та частоти моніторингу, наприклад, для періодичних вимірювань;
- для зниження та боротьби з викидами NO<sub>x</sub> у 2008 році використовувалися лише первинні технології. Вторинні технології – наприклад, СКВ, СНКВ – поки що не застосовні в галузі виробництва MgO з різних технічних причин; проте це питання потребує дослідження;
- відсутня інформація щодо викидів SO<sub>x</sub>, які утворюються, з одного боку, з сировини, а з іншого боку, з палива, разом з інформацією про технології зниження цих викидів;
- відсутня інформація про частоту та тривалість відключень за рівнем CO у випадках застосування електрофільтрів, тож відповідні висновки щодо НДТМ базуються на якісному підході;
- немає інформації про перспективні технології.

### Рівень згоди на заключному засіданні ТРГ

Висновки з роботи над частиною, присвяченою MgO, були погоджені на заключному засіданні ТРГ у вересні 2008 року на та засіданні ТРГ у травні 2012 року.

Ще один предмет обговорення полягав у тому, щоб у розділі висновків та рекомендацій явно вказати на труднощі в обробці інформації, отриманої дуже пізно – під час заключного засідання ТРГ та після заключного засідання. Це особливо актуально для інформації та даних щодо використання нафтового коксу (нафтококсу) з високим вмістом сірки, відповідних початкових викидів SO<sub>x</sub> та доступності і застосовності технологій зниження рівня SO<sub>x</sub>. ТРГ відзначила і зробила висновок, що НДТМ для зниження рівнів газоподібних сполук загалом полягає в тому, щоб застосовувати загальні первинні технології окремо або у поєднанні (див. розділ 4.4.4.1 НДТМ 61). Крім того, ТРГ зробила висновок, що НДТМ для зниження викидів SO<sub>x</sub> полягає у тому, щоб застосовувати поєднання первинних та вторинних технологій (див. розділ 4.4.4.4, НДТМ 65).

На заключному засіданні також було проведено детальне обговорення ВАТ-АЕЛ для викидів SO<sub>x</sub>, особливо у випадку, коли вміст сірки у сировині >0,25 % (див. НДТМ 65 у розділі 4.4.4.4). Кілька членів ТРГ, які представляли галузь виробництва оксиду магнію,

були тієї думки, що цього BAT-AEL неможливо досягти через дуже високі початкові рівні  $SO_x$ , зумовлені головним чином використанням палива з великим вмістом сірки. Проте детальна переконлива технічна аргументація показала, що, поєднуючи первинні та вторинні технології (див. НДТМ 61 та НДТМ 65), – зокрема, за допомогою мокрого скрубера – можна досягти викидів  $SO_x$  у  $400 \text{ мг/м}^3$  н. у. (у перерахунку на середньодобове значення). Члени ТРГ не змогли надати вагомих доводів на користь BAT-AEL для  $SO_x$  вище  $400 \text{ мг/м}^3$  н. у. Проте ТРГ погодилася, що у виняткових випадках, продиктованих складом сировини, викиди  $SO_2$  можуть бути вищими, ніж  $400 \text{ мг/м}^3$  н. у. Члени ТРГ, які представляли галузь виробництва оксиду магнію, посилалися на дуже високі початкові рівні  $SO_x$  перед зниженням викидів, зумовлені використанням нафтового коксу з великим вмістом сірки як єдиного палива.

Було відзначено, що на ринку доступно кілька типів нафтового коксу. Інформація про вибір палива, а також про порівняння палива за питомими витратами та вмістом сірки, наведена у документі BREF (див. розділ 3.4.5, Рисунок 3.13). Проте інформація про різні типи нафтового коксу, які містять різну кількість сірки, не була надана. Крім того, перехід на інший вид палива, відмінний від нафтового коксу, або навіть на інший тип нафтового коксу, який містить менше сірки, міг би зменшити початковий рівень  $SO_x$  (див. розділ 4.4.4.1, НДТМ 61). Також, як встановлено у висновку щодо НДТМ 65 (див. розділ 4.4.4.4), потрібно застосовувати поєднання первинних та вторинних технологій. Крім того, щоб оцінити найкраще поєднання НДТМ для зниження викидів  $SO_x$ , потрібно враховувати міжсередовищні наслідки. Статтю 15<sup>(4)</sup> Директиви про промислові викиди (2010/75/EU) можна застосовувати в аспекті місцевих міркувань, які можуть обґрунтовувати умови надання дозволу.

На заключному засіданні ТРГ у вересні 2008 року було досягнуто загального рівня згоди стосовно НДТМ (найкращих доступних технологій та методів управління) для галузі виробництва  $MgO$ , і розбіжностей у точках зору не було зафіксовано.

Проте після заключного засідання ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію» асоціація EUROMINES та представники галузі виробництва  $MgO$  висловили занепокоєність стосовно BAT-AEL для викидів  $SO_x$ , застосовності доступних технологій зниження викидів та відповідних міжсередовищних наслідків (загального захисту навколишнього середовища). Це питання було детально обговорене на засіданні ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію» у травні 2012 року. Було досягнуто остаточного висновку щодо НДТМ для викидів  $SO_x$  у галузі виробництва  $MgO$  з високим рівнем згоди.

### Рекомендації для майбутньої роботи

Обмін інформацією та його результат для галузі виробництва оксиду магнію, тобто частина цього документа, присвячена оксиду магнію, став важливим кроком вперед у забезпеченні комплексного запобігання та контролю забруднень, що виникають у результаті виробництва оксиду магнію. Цей процес можна продовжити шляхом роботи над такими питаннями:

- зібрати дані шляхом урахування вказівок, викладених у Виконавчому рішенні Комісії 2012/119/EU щодо збору даних та складання довідкових документів щодо НДТМ, щоб отримати змогу оцінити роботу певних технологій – особливо потенційних НДТМ – на рівні заводу;
- зібрати дані про витрати (наприклад, інвестиційні, експлуатаційні витрати) на всі технології, які потрібно розглянути при визначенні НДТМ;
- зібрати дані про витрати разом з показниками ефективності зниження викидів за допомогою технологій зниження викидів;
- зібрати інформацію та дані щодо варіантів мінімізації споживання енергії або збільшення енергоефективності;
- зібрати інформацію про моніторинг та частоту моніторингу і глибше її дослідити – наприклад, для періодичних вимірювань, щоб органи влади могли перевіряти виконання зобов'язань у рамках дозволів / умов дозволів;

- дослідити перегляд Довідкового документа щодо загальних принципів моніторингу;
- зібрати інформацію про споживання енергії різними типами печей разом з інформацією про конкретну продукцію;
- виконати дослідження та подальшу розробку первинних технологій для зниження викидів  $\text{NO}_x$ ;
- виконати дослідження та розробку з метою застосування СНКВ або СКВ для зниження викидів  $\text{NO}_x$  у галузі виробництва оксиду магнію та зібрати інформацію і дані стосовно цього питання;
- зібрати інформацію стосовно вмісту сірки у сировині та паливі разом з економічними даними;
- детальніше дослідити та зібрати детальнішу інформацію про застосування технологій зниження викидів  $\text{SO}_x$  (первинних та вторинних технологій), їх потенційні міжсередовищні наслідки, доступність видів палива з низьким вмістом сірки, застосування переходу на вид палива з низьким вмістом сірки, і зібрати інформацію про викиди  $\text{SO}_x$  за рахунок сировини та/або палива;
- дослідити та зібрати дані про частоту та тривалість відключень за рівнем  $\text{CO}$  у випадках застосування електрофільтрів;
- дослідити, чи наявні перспективні технології;
- внести стандартні методи (наприклад, стандарти EN, стандарти ISO), що використовуються для моніторингу конкретних забруднюючих речовин у галузі виробництва оксиду магнію.

### Рекомендовані теми для майбутніх науково-дослідницьких робіт

Для галузі виробництва оксиду магнію можуть бути корисними деякі науково-дослідницькі роботи з дослідження перспективних технологій, яких наразі не існує для цього сектору.

У рамках своїх науково-дослідницьких та дослідно-конструкторських програм Європейська комісія запускає і підтримує серію проєктів, присвячених екологічно чистим технологіям, перспективним технологіям очищення та переробки стоків і стратегіям керування. Ці проєкти потенційно здатні зробити корисний внесок у майбутні редакції довідкових документів з найкращих доступних технологій та методів управління (BREF). Тому Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень (EIPPCB) запрошує читачів цього документа повідомляти про будь-які результати досліджень, що стосуються змісту цього документа (також див. п'ятий розділ Передмови до цього документа).

### 5.3 Консультація з Форумом та наступна процедура офіційного прийняття Висновків щодо НДТМ

25 червня 2012 року була проведена консультація з Форумом з обміну інформацією, започаткованим на підставі Статті 13 Директиви 2010/75/EU щодо промислових викидів (IED) (і загалом відомим як Форум за Статтею 13 IED), стосовно запропонованого змісту цього довідкового документа з НДТМ, і під час свого засідання 13 вересня 2012 року Форум надав свій висновок.

У висновку Форуму за Статтею 13 IED розмежовано дві групи коментарів. По-перше, у висновку перелічені ті коментарі, за якими форум дійшов згоди стосовно їх внесення в остаточну редакцію довідкового документа з НДТМ. По-перше, у висновку перелічені коментарі, які відображають точки зору певних членів Форуму, проте за якими не вдалося дійти згоди стосовно їх внесення в остаточну редакцію довідкового документа з НДТМ.

Повний текст висновку Форуму доступний тут:

[http://circa.europa.eu/Public/irc/env/ied/library?l=/ied\\_art\\_13\\_forum/opinions\\_article/productio n\\_13092012&vm=detailed&sb=Title](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/ied/library?l=/ied_art_13_forum/opinions_article/productio n_13092012&vm=detailed&sb=Title)

Надалі Комісія враховувала висновок Форуму за Статтею 13 IED при підготовці ескізного Виконавчого рішення Комісії, що встановлює висновки щодо НДТМ для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію.

На своєму засіданні 20 листопада 2012 року Комітет за Статтею 75 Директиви про промислові викиди зробив позитивний висновок щодо ескізного Виконавчого рішення.

У ході цього процесу в документ не було внесено суттєвих змін.

## 6 ДОДАТКИ

### 6.1 Законодавство ЄС щодо охорони навколишнього середовища, застосовне до виробництва цементу та вапна у країнах ЄС-27

- Європейський каталог відходів (EWC), розроблений на підставі Статті 1 (а) Директиви Ради Європи 75/442/ЕЕС щодо відходів:
  - Рішення Комісії 2000/532/ЕС від 3 травня 2000 року на заміну Рішення 94/3/ЕС, що встановлює перелік відходів на підставі Статті 1(а) Директиви Ради Європи 75/442/ЕЕС щодо відходів, та Рішення Ради Європи 94/904/ЕС, що встановлює перелік небезпечних відходів на підставі Статті 1 (4) Директиви Ради Європи 91/689/ЕЕС щодо небезпечних відходів (повідомлено за номером документа С(2000) 1147) (текст, який поширюється на Європейську економічну зону)
- Директива Ради Європи 2004/8/ЕС щодо сприяння комбінованому виробництву тепла та електроенергії з урахуванням попиту на корисне тепло на комплексному ринку енергоресурсів, та Директива 92/42/ЕЕС, що вносить в неї зміни (11 лютого 2004 року).



## 6.2 Додатки: виробництво цементу

### 6.2.1 Класифікація палива з відходів за групами CEMBUREAU, зіставлена з класифікацією Європейського каталогу відходів (EWC)

Таблиця 6.1. Класифікація палива з відходів за групами CEMBUREAU, зіставлена з класифікацією Європейського каталогу відходів (EWC)

Група 1: Деревина, папір, картон		
Категорія відходів	Опис відходів	Небезпечні
Категорія 02	Відходи сільського господарства, садівництва, аквакультури, лісівництва, полювання та рибальства, підготовки та обробки харчових продуктів	
02 01 07	Відходи лісівництва	
Категорія 03	Відходи деревообробки та виробництва панелей і меблів, целюлози, паперу та картону	
03 01 04	Тирса, стружка, обрізки, деревина, деревостружкові плити та фанера, що містять небезпечні речовини	*
03 01 05	Тирса, стружка, обрізки, деревина, деревостружкові плити та фанера, окрім згаданих у категорії 03 01 04	
03 03 07	Механічно відділені відходи, відбраковані у процесі виготовлення целюлози з паперової та картонної макулатури	
Категорія 15	Відходи упаковки; абсорбенти, обтиральні ганчірки, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, для яких не зазначено інше	
15 01 01	Паперова та картонна упаковка	
15 01 03	Дерев'яна упаковка	
Категорія 17	Будівельні відходи та відходи від зносу будівель (у тому числі ґрунт, вийнятий з забруднених ділянок)	
17 02 01	Деревина	
Категорія 20	Комунально-побутові відходи (побутові відходи та подібні відходи гуртово-роздрібної торгівлі, промислові відходи та відходи громадських установ), у тому числі окремо зібрані фракції	
20 01 01	Папір та картон	
20 01 37	Деревина, що містить небезпечні речовини	*
Група 2: Текстиль		
Категорія відходів	Опис відходів	Небезпечні
Категорія 04	Відходи шкіряної, хутряної та текстильної промисловості	
04 02	Відходи текстильної промисловості	
Категорія 15	Відходи упаковки; абсорбенти, обтиральні ганчірки, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, для яких не зазначено інше	
15 01 09	Текстильна упаковка	
Категорія 19	Відходи з установок оброблення відходів, установок очищення стічних вод за межами об'єктів та від підготовки води, призначеної для споживання людиною та для промислового використання	
19 12 08	Текстиль	
Категорія 20	Комунально-побутові відходи (побутові відходи та подібні відходи гуртово-роздрібної торгівлі, промислові відходи та відходи громадських установ), у тому числі окремо зібрані фракції	
20 01 10	Одяг	
Група 3: Пластмаси		
Категорія відходів	Опис відходів	Небезпечні
Категорія 02	Відходи сільського господарства, садівництва, аквакультури, лісівництва, полювання та рибальства, підготовки та обробки харчових продуктів	
02 01 04	Пластмасові відходи (крім упаковки)	
Категорія 12	Відходи формування та фізичної і механічної обробки поверхні металів та пластмас	
12 01 05	Пластмасові обрізки та стружка	
Категорія 15	Відходи упаковки; абсорбенти, обтиральні ганчірки, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, для яких не зазначено інше	

**Додатки**

15 01 02	Пластмасова упаковка	
Категорія 20	Комунально-побутові відходи (побутові відходи та подібні відходи гуртово-роздрібної торгівлі, промислові відходи та відходи громадських установ), у тому числі окремо зібрані фракції	
<b>Група 4: Паливо з твердих побутових відходів</b>		
<b>Категорія відходів</b>	<b>Опис відходів</b>	<b>Небезпечні</b>
Категорія 15	Відходи упаковки; абсорбенти, обтиральні ганчірки, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, для яких не зазначено інше	
15 01 06	Змішана упаковка	
Категорія 19	Відходи з установок оброблення відходів, установок очищення стічних вод за межами об'єктів та від підготовки води, призначеної для споживання людиною та для промислового використання	
19 02 10	Горючі відходи, окрім згаданих у категоріях 19 02 08 та 19 02 09	
19 12 10	Горючі відходи (паливо з твердих побутових відходів)	
19 12 04	Пластмаса та гума	
Категорія 20	Комунально-побутові відходи (побутові відходи та подібні відходи гуртово-роздрібної торгівлі, промислові відходи та відходи громадських установ), у тому числі окремо зібрані фракції	
20 03 01	Змішані відходи	
<b>Група 5: Гума/покришки</b>		
<b>Категорія відходів</b>	<b>Опис відходів</b>	<b>Небезпечні</b>
Категорія 16	Відходи, не позначені в переліку інакше	
16 01 03	Відпрацьовані покришки	
16 02 16	Компоненти, зняті зі списаного обладнання, окрім згаданих у категорії 16 02 15	
<b>Група 6: Промисловий шлам (фільтраційні кеки, відділений на центрифугі, висушений, тощо)</b>		
<b>Категорія відходів</b>	<b>Опис відходів</b>	<b>Небезпечні</b>
Категорія 03	Відходи деревообробки та виробництва панелей і меблів, целюлози, паперу та картону	
03 03 02	Шлами зеленого луку (отримані в результаті регенерації варильної рідини)	
Категорія 04	Відходи шкіряної, хутряної та текстильної промисловості	
04 02 19	Шлами, що були отримані в результаті очищення стоків безпосередньо на об'єктах і містять небезпечні речовини	*
04 02 20	Шлами, отримані в результаті очищення стоків безпосередньо на об'єктах, окрім згаданих у категорії 04 02 19	
Категорія 05	Відходи нафтопереробки, очищення природного газу та піролізу вугілля	
05 01 09	Шлами, що були отримані в результаті очищення стоків безпосередньо на об'єктах і містять небезпечні речовини	*
05 01 10	Шлами, отримані в результаті очищення стоків безпосередньо на об'єктах, окрім згаданих у категорії 05 01 09	
Категорія 06	Відходи процесів неорганічної хімії	
06 05	Шлами, отримані в результаті очищення стоків безпосередньо на об'єктах	
Категорія 07	Відходи процесів органічної хімії	
07 01 11	Шлами, що були отримані в результаті очищення стоків безпосередньо на об'єктах і містять небезпечні речовини	*
07 01 12	Шлами, отримані в результаті очищення стоків безпосередньо на об'єктах, окрім згаданих у категорії 07 01 11	
Категорія 08	Відходи виробництва, приготування, збуту та використання (ВПЗВ) лакофарбових матеріалів (фарби, лаків та склоподібних емалей), клеїв, герметиків та друкарської фарби	
Категорія 10	Відходи теплових процесів	
Категорія 11	Відходи хімічної обробки поверхонь і покриття металів та інших матеріалів; кольорова гідрометалургія	
Категорія 12	Відходи формування та фізичної і механічної обробки поверхні металів та пластмас	
Категорія 13	Відходи масел та рідкого палива (окрім харчових масел та масел, наведених у частинах 05, 12 та 19)	
Категорія 14	Відпрацьовані органічні розчинники, холодильні агенти та ракетне паливо (окрім категорій 07 та 08)	

<b>Група 7: Шлам з комунально-побутових стічних вод</b>		
<b>Категорія відходів</b>	<b>Опис відходів</b>	<b>Небезпечні</b>
Категорія 19	Відходи з установок оброблення відходів, установок очищення стічних вод за межами об'єктів та від підготовки води, призначеної для споживання людиною та для промислового використання	
19 03 07	Затверділі відходи, окрім згаданих у категорії 19 03 06	
19 02 05	Шлами, що були отримані в результаті фізико-хімічної обробки і містять небезпечні речовини	*
19 02 06	Шлами, отримані в результаті фізико-хімічної обробки, окрім згаданих у категорії 19 02 05	
19 08 05	Шлами, отримані в результаті очищення міських стічних вод	
<b>Група 8: Тваринна мука, жири</b>		
<b>Категорія відходів</b>	<b>Опис відходів</b>	<b>Небезпечні</b>
Категорія 02	Відходи сільського господарства, садівництва, аквакультури, лісівництва, полювання та рибальства, підготовки та обробки харчових продуктів	
02 01 02	Відходи тваринних тканин	
02 02 02	Відходи тваринних тканин	
<b>Група 9: Відходи вугілля / вуглецеві відходи</b>		
<b>Категорія відходів</b>	<b>Опис відходів</b>	<b>Небезпечні</b>
Категорія 05	Відходи нафтопереробки, очищення природного газу та піролізу вугілля	
05 01 09	Шлами, що були отримані в результаті очищення стоків безпосередньо на об'єктах і містять небезпечні речовини	*
05 01 10	Шлами, отримані в результаті очищення стоків безпосередньо на об'єктах, окрім згаданих у категорії 05 01 09	
05 01 17	Бітум	
05 06 01	Кислі смоли	*
05 06 03	Інші смоли	*
Категорія 19	Відходи з установок оброблення відходів, установок очищення стічних вод за межами об'єктів та від підготовки води, призначеної для споживання людиною та для промислового використання	
19 01 10	Відпрацьоване активоване вугілля від очищення димових газів	
19 01 17	Відходи піролізу, що містять небезпечні речовини	*
19 09 04	Відпрацьоване активоване вугілля	
<b>Група 10: Сільськогосподарські відходи</b>		
<b>Категорія відходів</b>	<b>Опис відходів</b>	<b>Небезпечні</b>
Категорія 02	Відходи сільського господарства, садівництва, аквакультури, лісівництва, полювання та рибальства, підготовки та обробки харчових продуктів	
02 01 03	Відходи рослинних тканин	
02 01 08	Агрохімічні відходи, що містять небезпечні речовини	*
02 01 09	Агрохімічні відходи, окрім згаданих у категорії 02 01 08	
02 01 07	Відходи лісівництва	
Категорія 03	Відходи деревообробки та виробництва панелей і меблів, целюлози, паперу та картону	
03 01 01	Відходи кори та пробки	
03 03 01	Відходи кори та деревини	
<b>Група 11: Тверде паливо з відходів (просочена тирса)</b>		
<b>Категорія відходів</b>	<b>Опис відходів</b>	<b>Небезпечні</b>
Категорія 03	Відходи деревообробки та виробництва панелей і меблів, целюлози, паперу та картону	
03 01 04	Тирса, стружка, обрізки, деревина, деревостружкові плити та фанера, що містять небезпечні речовини	*
Категорія 19	Відходи з установок оброблення відходів, установок очищення стічних вод за межами об'єктів та від підготовки води, призначеної для споживання людиною та для промислового використання	
19 12 11	Інші відходи (у тому числі суміші матеріалів), отримані в результаті механічної обробки відходів, які містять небезпечні речовини	*

<b>Група 12: Розчинники та пов'язані з ними відходи</b>		
<b>Категорія відходів</b>	<b>Опис відходів</b>	<b>Небезпечні</b>
Категорія 02	Відходи сільського господарства, садівництва, аквакультури, лісівництва, полювання та рибальства, підготовки та обробки харчових продуктів	
02 03 03	Відходи екстракції за допомогою розчинників	
Категорія 07	Відходи процесів органічної хімії	
07 01 04	Інші органічні розчинники, промивальні рідини та маточні розчини	*
07 01 08	Інші кубові залишки та залишки від реакцій	*
07 03 04	Інші органічні розчинники, промивальні рідини та маточні розчини	*
07 03 07	Галогенізовані кубові залишки та залишки від реакцій	*
07 03 08	Інші кубові залишки та залишки від реакцій	*
07 04 03	Галогенізовані органічні розчинники, промивальні рідини та маточні розчини	*
07 04 04	Інші органічні розчинники, промивальні рідини та маточні розчини	*
07 04 07	Галогенізовані кубові залишки та залишки від реакцій	*
07 04 08	Інші кубові залишки та залишки від реакцій	*
07 05 03	Галогенізовані органічні розчинники, промивальні рідини та маточні розчини	*
07 05 04	Інші органічні розчинники, промивальні рідини та маточні розчини	*
07 05 07	Галогенізовані кубові залишки та залишки від реакцій	*
07 05 08	Інші кубові залишки та залишки від реакцій	*
07 06 03	Галогенізовані органічні розчинники, промивальні рідини та маточні розчини	*
07 06 04	Інші органічні розчинники, промивальні рідини та маточні розчини	*
07 06 07	Галогенізовані кубові залишки та залишки від реакцій	*
07 06 08	Інші кубові залишки та залишки від реакцій	*
07 07 03	Галогенізовані органічні розчинники, промивальні рідини та маточні розчини	*
07 07 04	Інші органічні розчинники, промивальні рідини та маточні розчини	*
07 07 07	Галогенізовані кубові залишки та залишки від реакцій	*
07 07 08	Інші кубові залишки та залишки від реакцій	*
Категорія 08	Відходи виробництва, приготування, збуту та використання (ВПЗВ) лакофарбових матеріалів (фарби, лаків та склоподібних емалей), клеїв, герметиків та друкарської фарби	
08 01 11	Відходи фарби та лаків, що містять органічні розчинники або інші небезпечні речовини	*
08 01 12	Відходи фарби та лаків, окрім згаданих у категорії 08 01 11	
08 01 21	Відпрацьовані засоби для зняття фарби та лаку	*
08 03 12	Відпрацьоване чорнило, що містить небезпечні речовини	*
08 03 13	Відпрацьоване чорнило, окрім згаданого у категорії 08 03 12	
08 04 09	Відпрацьовані клеї та герметики, що містять органічні розчинники або інші небезпечні речовини	*
08 05 01	Відпрацьовані ізонітрили	*
Категорія 09	Відходи фотопромисловості	
09 01 03	Проявні розчини на основі розчинників	*
Категорія 14	Відпрацьовані органічні розчинники, холодильні агенти та ракетне паливо (окрім категорій 07 та 08)	
14 06 02	Інші галогенізовані розчинники та суміші розчинників	*
14 06 03	Інші розчинники та суміші розчинників	*
Категорія 19	Відходи з установок оброблення відходів, установок очищення стічних вод за межами об'єктів та від підготовки води, призначеної для споживання людиною та для промислового використання	
19 02 08	Рідкі горючі відходи, що містять небезпечні речовини	*
Категорія 20	Комунально-побутові відходи (побутові відходи та подібні відходи гуртово-роздрібною торгівлі, промислові відходи та відходи громадських установ), у тому числі окремо зібрані фракції	
20 01 13	Розчинники	*
20 01 27	Фарба, чорнило, клеї та смоли, що містять небезпечні речовини	*
20 01 28	Фарба, чорнило, клеї та смоли, окрім згаданих у категорії 20 01 27	
<b>Група 13: Нафта та нафтовмісні стічні води</b>		
<b>Категорія відходів</b>	<b>Опис відходів</b>	<b>Небезпечні</b>
Категорія 01	Відходи, утворені в результаті розвідувальних робіт, видобування в шахтах і кар'єрах та фізично-хімічної обробки мінералів	
Категорія 04	Відходи шкіряної, хутряної та текстильної промисловості	

Категорія 05	Відходи нафтопереробки, очищення природного газу та піролізу вугілля	
Категорія 12	Відходи формування та фізичної і механічної обробки поверхні металів та пластмас	
Категорія 13	Відходи масел та рідкого палива, окрім харчових масел та масел, наведених у частинах 05, 12 та 19)	
13 01 01	Гідравлічні мастила, що містять поліхлоровані біфеніли (ПХБ)	*
13 01 04	Хлоровані емульсії	*
13 01 05	Нехлоровані емульсії	*
13 02 04	Хлоровані моторні, трансмісійні та змащувальні мастила на мінеральній основі	*
13 02 05	Нехлоровані моторні, трансмісійні та змащувальні мастила на мінеральній основі	*
13 02 08	Інші моторні, трансмісійні та змащувальні мастила	*
13 03 01	Ізоляційні мастила або мастильні теплоносії, що містять ПХБ	*
13 03 06	Хлоровані ізоляційні мастила та масляні теплоносії на мінеральній основі, окрім згаданих у категорії 13 03 01	*
13 03 07	Нехлоровані ізоляційні мастила та мастильні теплоносії на мінеральній основі	*
13 03 08	Синтетичні ізоляційні мастила та мастильні теплоносії	*
13 04 01	Трюмна нафта від судноплавства на внутрішніх водних шляхах	*
13 04 02	Трюмна нафта з причальної каналізації	*
13 04 03	Трюмна нафта від інших видів судноплавства	*
13 05 01	Тверді речовини з пісковловлювачів та масловіддільників / водовіддільників	*
13 08	Нафтові відходи, не позначені інакше	*
Категорія 16	Відходи, не позначені в переліку інакше	
16 01 13	Гальмівні рідини	*
<b>Група 14: Інше</b>		
<i>Джерело: [192, СЕМБUREAU, 2012].</i>		

## 6.2.2 Виробництво цементу – дані для конкретних заводів

### 6.2.2.1 Приклади типів відходів, що використовуються, їх вплив на динаміку викидів та діапазони концентрацій речовин у відходах (вхідні критерії)

Приклади типів та кількостей відходів, що використовуються в німецьких цементних печах, наведені у Таблиці 6.2. Ці типи відходів часто містять небезпечні компоненти.

Таблиця 6.2. Типи та кількості відходів та палива з відходів, що використовувалися в німецьких цементних печах у 2004 році

Тип палива з відходів	Кількість, що використовувалася у 2004 році (тис. т/рік)
Покришки/гума	290
Відпрацьоване мастило	100
Перероблені фракції промислових відходів / відходів гуртово-роздрібною торгівлі	863
Перероблені фракції побутових відходів	157
Тваринна мука та жир	439
Відходи деревини	42
Розчинники	72
Підзол <sup>(1)</sup>	11
Шлам зі стічних вод	48
Інше	20
Усього	2 042
<sup>(1)</sup> відбілювальна глина Джерело: [76, Німеччина, 2006]	

Ці різні типи твердого та рідкого палива з відходів, які використовуються, часто також містять шкідливі компоненти, як показано в Таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Кількості різних типів палива з відходів, що використовуються в німецькій цементній промисловості

Типи палива		Кількість (тис. т/рік)	
		2003	2004
Рідке паливо з відходів			
Відпрацьоване мастило	Суміш відходів (небезпечних)	116	100
Використані розчинники	Суміш відходів; однотипні відходи, що входять до їх складу, повинні бути заявлені з зазначенням коду відходів (небезпечні)	48	72
Тверде паливо з відходів			
Відпрацьовані покриття	Однотипні відходи	247	290
Деревина	Змішані відходи; однотипні відходи, що входять до їх складу, повинні бути заявлені з зазначенням коду відходів (можуть бути небезпечними)	48	42
Тваринна мука	Однотипні відходи	452	439
Шлам зі стічних вод	Однотипні відходи	4	48
Відбілювальна земля	Однотипні відходи (небезпечні)	20	11
Відходи конкретного виробництва	Змішані відходи; однотипні відходи, що входять до їх складу, повинні бути заявлені з зазначенням коду відходів	626	862
Відділені фракції змішаних комунально-побутових відходів	Якість палива залежить від застосованих операцій обробки	155	157
Джерело: [76, Німеччина, 2006]			

У 2006 році взяті для прикладу цементні заводи у Німеччині вже досягли коефіцієнта заміни викопного палива відходами понад 80 %, і до 100 % споживання енергії можна задовольнити за рахунок палива з відходів. У пічній системі, що працює за сухим процесом і обладнана обертовою піччю з чотириступеневим двохгілковим підігрівачем та планетарним холодильником, паливо з відходів використовується вже багато років. У якості палива використовуються головним чином покришки, відпрацьоване мастило, деревина, перероблені фракції промислових відходів, таких як пластмаси, папір або текстиль, та розчинники. У Таблиці 6.4 в якості прикладу перелічено значення рівнів різних елементів, що допускаються при використанні промислових відходів та розчинників на цьому заводі.

**Таблиця 6.4. Приклади допустимих значень різних параметрів при використанні промислових відходів та розчинників**

Параметр	Одиниця вимірювання	Допустимі значення у промислових відходах	Допустимі значення у розчинниках
S	%	2	3 <sup>(1)</sup>
Cl	%	1	1
Cd	мг/кг	10	10 <sup>(2)</sup>
Pb	мг/кг	1	0,5
Hg	мг/кг	0,5	1
Sb	мг/кг	75	5
As	мг/кг	10	20
Pb	мг/кг	100	700 <sup>(3)</sup>
Cr	мг/кг	100	100
Co	мг/кг	20	300
Cu	мг/кг	300	5
Mn	мг/кг	100	1 000
Ni	мг/кг	100	10
V	мг/кг	25	0,5
Sn	мг/кг	75	1

<sup>(1)</sup> Середньорічне значення 1 мг/кг  
<sup>(2)</sup> Середньорічне значення 5 мг/кг  
<sup>(3)</sup> Середньорічне значення 300 мг/кг  
Джерело: [76, Німеччина, 2006]

Умови та результати щорічного моніторингу викидів наведені в Таблиці 6.5 та Таблиці 6.6. Під час вимірювань на паливо з відходів припадало понад 80 % енергії. Викиди можна знизити до рівнів, що задовольняють жорстким вимогам.

Таблиця 6.5. Експлуатаційні параметри німецької цементної печі, що працює на паливі з відходів (середні значення даних за триденний період)

Параметр	Одиниця вимірювання	Кількість та період вимірювань		
		1	2	3
		08:00 – 18:00	08:00 – 18:00	08:00 – 18:00
<b>Викопні види палива</b>				
Основне випалювання (вугільний пил)	т/год.	2,9	3,3	2,4
<b>Паливо з відходів</b>				
Покришки	т/год.	3,4	3,4	3,4
Розчинники – лінія 1	т/год.	3,0	3,0	3,0
Розчинники – лінія 2	т/год.	3,0	3,0	3,0
Пластмаса/деревина	т/год.	6,3	6,3	6,3
<b>Матеріал, що завантажується в піч</b>				
Сировинна мука	т/год.	200	200	200
<b>Теплота згорання</b>				
Вугілля	МДж/кг	26,8	26,8	26,8
Покришки	МДж/кг	26,0	26,0	26,0
Розчинники – лінія 1 (1)	МДж/кг	27,7	27,7	27,7
Розчинники – лінія 2 (2)	МДж/кг	26,6	26,6	26,6
Пластмаса/деревина	МДж/кг	19,0	19,0	19,0
<b>% споживання енергії</b>				
Вугілля	%	17	19	15
Покришки	%	20	19	20
Розчинники – лінія 1 (1)	%	19	18	19
Розчинники – лінія 2 (2)	%	18	17	18
Пластмаса/деревина	%	27	28	27
Усього для палива з відходів	%	83	81	85
Усього	%	100	100	100
<b>Продукт</b>				
Клінкер	т/год.	121	121	121
Потужність	%	97	97	97

Джерело: [76, Німеччина, 2006]



Таблиця 6.6. Результати моніторингу викидів з німецької цементної печі, у якій використовувалося паливо з відходів

Компонент	Одиниця вимірювання	Результати <sup>(1)</sup>	
		Середнє значення з увімкненим млином	Середнє значення з вимкненим млином
Температура	°C	106	151
Вологість	об'ємний %	17	17
Об'ємна витрата	м <sup>3</sup> /год.	275 900	2 391 000
Пил	мг/м <sup>3</sup> н.у.	3 <sup>(2)</sup>	
NO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	385 <sup>(2)</sup>	
SO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	18 <sup>(2)</sup>	
HCl	мг/м <sup>3</sup> н.у.	н/в <sup>(3)</sup>	н/в <sup>(3)</sup>
HF	мг/м <sup>3</sup> н.у.	0,09 <sup>(4)</sup>	0,06 <sup>(4)</sup>
Hg	мг/м <sup>3</sup> н.у.	0,009 <sup>(4)</sup> <0,01 <sup>(2)</sup>	0,033 <sup>(3)</sup> <0,002 <sup>(2)</sup>
∑ (Cd, Ti)	мг/м <sup>3</sup> н.у.	н/в <sup>(3)</sup>	н/в <sup>(3)</sup>
∑ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn)	мг/м <sup>3</sup> н.у.	0,055 <sup>(4)</sup>	0,071 <sup>(4)</sup>
∑ (As, бензопірен, Cd, Co, Cr)	мг/м <sup>3</sup> н.у.	н/в <sup>(3)</sup>	н/в <sup>(3)</sup>
ЗОВ	мг/м <sup>3</sup> н.у.	8	9
ПХДД/Ф	нг I-TEQ/м <sup>3</sup> н. у.	н/в <sup>(3)</sup>	н/в <sup>(3)</sup>
Бензол	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<1 <sup>(4)</sup>	

<sup>(1)</sup> Стандартні умови за тиску 1013 гПа та температури 273 К; після віднімання вмісту води; з вмістом кисню у димових газах 10 об'ємних %  
<sup>(2)</sup> Середньорічне значення, отримане у результаті безперервних вимірювань  
<sup>(3)</sup> Не виявлено  
<sup>(4)</sup> Середнє значення за період відбору проб 0,5 год.  
Джерело: [76, Німеччина, 2006]

На естонському цементному заводі, взятому при прикладу, використовується паливо з відходів на основі відпрацьованих масел у вигляді однорідної суміші рідких горючих небезпечних відходів. Якщо така суміш задовольняє технічним вимогам, наведеним у Таблиці 6.7, така суміш називається паливом з відходів зі спеціальною назвою і передбачена лише для використання у якості допоміжного палива в цементних печах. Порція палива з відходів є фіксованим об'ємом рідкого палива з відходів, що переробляється в певних умовах як одна партія перед доставкою кінцевому користувачу і постачається з технічними вимогами до якості. Приклад аналізу характеристик наведено у Таблиці 6.8. Приклади вимог до якості відходів наведені у Таблиці 6.9 нижче.

Таблиця 6.7. Специфікація якості на паливо з відходів, що виготовляється в Естонії

Специфікація якості на паливо з відходів VA <sup>(1)</sup>				
№	Параметр	Одиниця вимірювання	Граничне значення; зауваження	Вимірює значення
<b>Постачальник аналізує кожну партію</b>				
1	Теплота згорання у стані постачання	МДж/кг	<17	
2	Вміст води у стані постачання	масовий %	<35; при отриманні надлишок води у відходах відсутній	
3	Вміст золи	масовий %	<15	
4	Температура спалахування	°C	> 60	
5	Тверді частки <5 мм у паливі VA <sup>(1)</sup>	мм	Відсутні	
6	Густина за 15 °C	кг/м <sup>3</sup> н. у.	Норми відсутні	
7	В'язкість палива VA <sup>(1)</sup> за 40 °C	сСт	Гарантується можливість розвантаження вантажу на приймальному майданчику без використання зовнішніх засобів	
8	Випробування на реакцію при змішуванні з паливами на основі бітумного сланцю (коагуляція, газу, екзотермічна реакція)		Негативний результат	
<b>Аналізи, що проводяться постачальником для кожних 500 м<sup>3</sup> н. у. палива VA<sup>(1)</sup> або принаймні раз на рік</b>				
8	Сірка (S)	масовий %	<2	
9	Загальний вміст галогенів Cl+Br+I+I	масовий %	<1	
10	Метали: Cd+Pb Hg Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	млн <sup>-1</sup>	<15 <5 <2 500	
<b>Аналізи, що проводяться постачальником для кожних 2 000 м<sup>3</sup> н. у. відходів або принаймні раз на рік</b>				
11	ПХБ <sup>(2)</sup>	млн <sup>-1</sup>	<50	
<sup>(1)</sup> Спеціально приготоване паливо з відходів VA – це однорідна суміш рідких горючих небезпечних відходів на основі відпрацьованих масел <sup>(2)</sup> Поліхлоровані біфеніли Джерело: [75, Естонія, 2006]				

Таблиця 6.8. Аналіз характеристик на естонському цементному заводі

Аналіз палива		
Параметр	Одиниця вимірювання	Результати аналізу
Вища теплота згорання	кДж/кг	15 072
Нижча теплота згорання	кДж/кг	9 211
Тверді речовини <sup>(1)</sup>	%	24,3 (100)
Вугілля <sup>(2)</sup> (С)	%	24,7
Сірка (S)	%	5,3
Інші горючі тверді речовини	%	20,6
Зола (негорюча)	%	49,4
Рідини <sup>(3)</sup>	%	36,6 (100)
Бензин	%	30,3
Мазут	%	69,4
Феноли	%	0,3
ПХБ <sup>(4)</sup>	%	0,5 <sup>(5)</sup>
Вміст води	%	39,1
Густина	кг/л	1,15
Температура спалахування	°С	70
<b>Зола (негорюча), окиснена:</b>		
Хлор (Cl)	%	слідова кількість
Натрій (Na+K)	%	2
Калій (K)	%	
Кальцій (Ca)	%	38,5
Кремній (Si)	%	28,8
Мідь (Cu)	%	слідова кількість
Манган (Mg)	%	6,5
Залізо (Fe)	%	6,1
Фосфор (P)	%	0,2
Алюміній (Al)	%	7,7
Кадмій (Cd)	%	слідова кількість
Ванадій (V)	%	слідова кількість
Свинець (Pb)	%	слідова кількість
Цинк (Zn)	%	слідова кількість
Хром (Cr)	%	слідова кількість
Нікель (Ni)	%	слідова кількість
Сірка (S)	%	8,7
Титан (Ti)	%	0,4
Інше	%	1,1
<sup>(1)</sup> Сухі речовини, вода = 0 % <sup>(2)</sup> Вуглець <sup>(3)</sup> Органічні речовини <sup>(4)</sup> Поліхлоровані біфеніли Джерело: [75, Естонія, 2006]		

Таблиця 6.9. Вимоги до якості відходів на естонському цементному заводі

Вимоги до якості відходів		
Параметр	Одиниця вимірювання	Вимога
Температура подавання	°С	90
В'язкість за температури 80 °С	сСт <sup>(1)</sup>	5,5 – 6,0
В'язкість за температури 100 °С	сСт <sup>(1)</sup>	3,6 – 4,2
Теплота згорання, нижча	МДж/кг	не нижче 26
Насипна вага	кг/м <sup>3</sup>	1 130 – 1 140
Температура спалахування у відкритому ковші	°С	не нижче 130
Температура плавлення	°С	до 50
Вміст золи	%	до 0,5
Механічні добавки <sup>(2)</sup>	%	до 2,0
Вміст води	%	до 4,0
Показник/коефіцієнт кислотності	мг КОН <sup>(3)</sup> /г	до 260
<b>Хімічний склад:</b>		
Сірка (S)	%	до 0,2
Хлор (Cl)	%	до 0,1
Важкі метали: Na, K, Mn, V, Co, Ni, Cu, Pb, Zn	%	до 0,005
<sup>(1)</sup> сСт = сантистокси <sup>(2)</sup> Розмір зерен не більше 3 мм <sup>(3)</sup> КОН = гідроксид калію Джерело: [75, Естонія, 2006]		

З Таблиці 6.10 видно, як зростало використання відходів та палива з відходів на естонському цементному заводі з 2000 по 2005 рік.

Таблиця 6.10. Споживання палива з відходів, що використовується на естонському цементному заводі

Рік	Споживання палива з відходів (т/рік)				
	Рідина				Тверда речовина
	Бітумний сланець	Відпрацьоване мастило	Матеріал на основі бензойної кислоти	Усього	Напівкокс з бітумного сланцю
2000	-	365	-	365	-
2001	4 415	1 223	-	5 638	9 366
2002	16 809	3 322	-	20 131	10 013
2003	16 304	4 020	-	20 324	27 503
2004	19 921	5 643	1 500	27 064	15 300
2005	19 242	4 552	3 312	27 106	-
Джерело: [75, Естонія, 2006]					

### 6.2.2.1.1 Приклади діапазонів концентрацій речовин у відходах / вхідних критеріїв для відходів

У Таблицях 6.11 – 6.13 наведено приклади типових діапазонів концентрацій металів та типових вхідних критеріїв для різних речовин у складі належних відходів, що використовуються у якості палива та/або сировини на різних цементних заводах у кількох країнах.

**Таблиця 6.11. Граничні значення для відходів, що використовуються, встановлені різними дозволами та нормами в Австрії, Швейцарії та Німеччині**

Параметр	Австрія <sup>(1,10)</sup>			Швейцарія <sup>(2)</sup>		Німеччина <sup>(3)</sup>	
	Горючі відходи <sup>(4,9)</sup> загалом	Фракції універсальних відходів – пластмасові, паперові, текстильні відходи, деревина, тощо – з високою теплоотою згорання	Розчинники, відпрацьоване мастило, відходи лаків	Горючі відходи <sup>(5,9)</sup> загалом	Інші відходи, призначені для оброблення	Фракції універсальних відходів – пластмасові, паперові, текстильні відходи, деревина, тощо – з високою теплоотою згорання <sup>(6)</sup>	Розчинники, відпрацьоване мастило
Максимальні значення (мг/кг)							
As	15	15	20	15	-	13	15
Sb	5	20 (200) <sup>(7)</sup>	100	5	800 <sup>(4)</sup>	120	20
Be	5	-	-	5	-	2	2
Pb	200	500	800	200	500	400	150
Cd	2	27	20	2	5	9	4
Cr	100	300	300	100	500	250	50
Cu	100	500	500	100	600	700	180
Co	20	100	25	20	60	12	25
Ni	100	200	-	100	80	160	30
Hg	0,5	2	2	0,5	5 <sup>(8)</sup>	1,2	1
Tl	3	10	5	3	-	2	2
V	100	-	-	100	-	25	10
Zn	400	-	-	400	-	-	-
Sn	10	70	100	10	-	70	30
Cl (усього)	1 %	2 %	-	-	-	1,5 %	-
ПХБ	50	-	100	-	-	-	-

(1) Добровільні самозобов'язання підприємств цементної промисловості перед органами влади та відповідними міністерствами  
(2) Федеральне управління Швейцарії з навколишнього середовища, лісів та ландшафту (BUWAL), методичні вказівки з сумісної переробки, розроблені у Швейцарії  
(3) Добровільні самозобов'язання підприємств у галузі оброблення відходів та норми Уряду Північного Рейну-Вестфалії (NRW), Німеччина  
(4) Нижча теплота згорання 25 МДж/кг  
(5) Середня нижча теплота згорання 18 МДж/кг  
(6) Поліетилентерефталат (ПЕТ)  
(7) Поліетилентерефталат (ПЕТ), поліестер  
(8) Особливий випадок, очищення димових газів від Hg  
(9) Інші горючі відходи загалом (не застосовується до вибраних затверджених потоків відходів)  
(10) Актуальніші значення можна знайти у «Керівництві щодо палива з відходів», випущеному Федеральним міністерством Австрії і доведеному до загального відома Європейською комісією  
Джерело: [104, HOLSIM/Німецьке агентство технічної співпраці (GTZ), 2006], [168, TRF «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007]

Таблиця 6.12. Приклади граничних значень для палива з відходів у різних країнах/регіонах за індивідуальними дозволами

Параметр	Одиниця вимірювання	Іспанія <sup>(1)</sup>	Бельгія <sup>(1)</sup>	Франція <sup>(1)</sup>
Теплота згорання	МДж/кг	-	-	-
Галогени (у перерахунку на Cl)	%	2	2	2
Cl	%	-	-	-
F	%	0,20		
S	%	3	3	3
Ba	мг/кг	-	-	-
Ag	мг/кг	-	-	-
Hg	мг/кг	10	5	10
Cd	мг/кг	50/100 <sup>(2)</sup>	70	-
Pb	мг/кг	50/100 <sup>(2)</sup>	30	-
∑ Hg+Cd+Pb	мг/кг	100	-	100
Sb	мг/кг	-	200	-
∑ Sb+As+Co+Ni+Pb+Sn+V+Cr	мг/кг	0,50 %	2 500	2 500
As	мг/кг	-	200	-
Co	мг/кг	-	200	-
Ni	мг/кг	-	1 000	-
Cu	мг/кг	-	1 000	-
Cr	мг/кг	-	1 000	-
V	мг/кг	-	1 000	-
Pb	мг/кг	-	1 000	-
Sn	мг/кг	-	-	-
Mn	мг/кг	-	2 000	-
Be	мг/кг	-	50	-
Se	мг/кг	-	50	-
Te	мг/кг	-	50	-
Zn	мг/кг	-	5 000	-
ПХБ	мг/кг	30	30	25
ПХДД/ПХДФ	мг/кг	-	-	-
Bг+I	мг/кг	-	2 000	-
Ціанід	мг/кг	-	100	-

<sup>(1)</sup> Граничні значення встановлені органами влади в індивідуальних дозволах для цементних заводів у Іспанії, Бельгії та Франції

<sup>(2)</sup> Оновлено для Іспанії за 2007 рік

Джерело: [104, HOLCIM/GTZ, 2006], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008]

Таблиця 6.13. Приклади граничних значень для відходів, які планується використовувати у якості сировини в різних країнах/регіонах

Параметр	Одиниця вимірювання	Іспанія (1)	Бельгія (1)	Франція (1)	Швейцарія (2)
ЗОВ	мг/кг	2 %	5 000	5 000	-
Загальний вміст галогенів (у перерахунку на Cl)	%	0,25	0,5	0,5	-
F	%	0,1	-	-	-
S	%	3	1	1	-
Hg	мг/кг	10	-	-	0,5
Cd	мг/кг	100	-	-	0,8
Pb	мг/кг	100	-	-	1
∑ Hg+Cd+Pb	мг/кг	100	-	-	-
Sb	мг/кг	-	-	-	1
∑ Sb+As+Co+Ni+Pb+Sn+V+Cr	мг/кг	0,50 %	-	-	-
As	мг/кг	-	-	-	20
Co	мг/кг	-	-	-	30
Ni	мг/кг	-	-	-	100
Cu	мг/кг	-	-	-	100
Cr	мг/кг	-	-	-	100
V	мг/кг	-	-	-	200
Pb	мг/кг	-	-	-	50
Sn	мг/кг	-	-	-	50
Mn	мг/кг	-	-	-	-
Be	мг/кг	-	-	-	3
Se	мг/кг	-	-	-	1
Te	мг/кг	-	-	-	-
Zn	мг/кг	-	-	-	400
ПХБ	мг/кг	30	-	-	1
pH	мг/кг	-	-	-	-
Bг+I	мг/кг	-	-	-	-
Ціанід	мг/кг	-	-	-	-

(1) Граничні значення встановлені органами влади в індивідуальних дозволах для цементних заводів у Іспанії, Бельгії та Франції

(2) Граничні значення для відходів, що використовуються у якості сировини, BUWAL 1998 (Швейцарія), Керівництво з оброблення відходів на цементних заводах

Джерело: [104, HOLCIM/GTZ, 2006]

У Таблиці 6.14 та Таблиці 6.15 наведено приклади типових вхідних критеріїв для речовин у відходах, що використовуються на німецьких цементних заводах.

Таблиця 6.14. Приклади типових діапазонів концентрацій металів у паливі з відходів

Елемент	Концентрація (мг/МДж)
Свинець	0,09 – 25
Кадмій	0,01 – 0,7
Хром	0,09 – 21
Нікель	0,1 – 25
Ртуть	0,01 – 0,1
Талій	<0,01 – 0,1
Цинк	0,5 – 625

Джерело: [60, VDI 2094, Німеччина, 2003]

Таблиця 6.15. Приклади вхідних критеріїв для використання належних відходів, що застосовуються в німецьких цементних печах

Параметр	Концентрація (мг/кг)
Арсен	13
Кадмій	9
Кобальт	12
Хром	250
Мідь	700 <sup>(1)</sup>
Ртуть	0,5 – 1
Манган	500
Нікель	100
Свинець	400
Стибій	120
Талій	1 – 2
Ванадій	25
Олово	70

<sup>(1)</sup> Вищі значення можуть траплятися в окремих відібраних пробах  
Джерело: [76, Німеччина, 2006]

У Таблиці 6.16 та Таблиці 6.17 наведені дозвільні критерії за різними речовини у типах відходів, що використовуються на австрійських цементних заводах. У деяких випадках вибір типів відходів та вхідних критеріїв для них базується на так званому «позитивного переліку», який є самостійно встановленим зобов'язанням підприємств цементної промисловості. Крім того, у деяких випадках місцеві органи влади встановлюють жорсткіші вхідні критерії. У всіх дозволах вказані максимальні значення – деякі за теплою згорання, а інші за типами палива з відходів. Окрім максимальних значень, один із дозволів також містить медіанне значення та значення 80-ого перцентила, залежно від типу палива з відходів. Один із дозволів був випущений у 2005 році.

Таблиця 6.16. Приклади дозвільних критеріїв (максимальні значення) для речовин у відходах, що використовуються на австрійських цементних заводах

Параметр	Паливо з відходів, окрім шламу зі стічних вод <sup>(3)</sup> (теплота згорання = 25 МДж/кг)	Паперовий шлам та шлам зі стічних вод	Відпрацьоване мастило, розчинники, відходи лаку	Пластмаси, фракції з високою теплою згорання	Відходи деревини	Використані покрішки	Папір	Гума	Тваринна мука
As	15	5 – 10	10 – 20	15	15	-	0,5	36	0,3
Sb	200	20	10 – 100	20 – 30 (800 <sup>(1)</sup> )	20	-	0,5	8,4	1
Pb	150	100 – 500	250 – 800	500	300 – 800	-	500	33,8	2
Cd	5	3 – 5	1 – 20	25 – 27	10 – 15	-	5	8	0,1
Cr	150	100 – 500	50 – 300	300	70	-	300	97	5
Co	50	50 – 60	3 – 25	20 – 100	14	-	60	128	1
Cu	700	350 – 600	500	500	100 – 400	-	600	748	15
Mn	500	700	70 – 100		150	-	300	4 250	30
Ni	100	60	40 – 100	200	100	-	80	200	1,5
Hg	0,5	2 – 3	1 – 2	0,86 – 2	1	-	0,6	0,4	0,2
Tl	3	3	1 – 5	3 – 10	2	-	5	1	0,6
V	100	100	10 – 100	70	60	-	15	40	1
Zn	-	1 000 – 2 000	300 – 3 000	-	1 000	20 000	2 000	11 400	150
Sn	50	10 – 50	-	70	-	-	10	20	1,5
Cl	1 % за вагою <sup>(2)</sup>	0,8 % за вагою	1 % за вагою	2 % за вагою	0,5 % за вагою	-	-	-	-
S	3 % за вагою	-	-	-	-	-	-	-	-

<sup>(1)</sup> Лише для поліетилентерефталату (ПЕТ)  
<sup>(2)</sup> Cl, F  
<sup>(3)</sup> За одним дозволом  
Джерело: [161, Австрія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [170, Австрія, 2007]



Таблиця 6.17. Приклади дозвільних критеріїв (медіана та значення 80-ого перцентіля) для речовин у відходах, що використовуються на австрійських цементних заводах

Параметр	Паперовий шлам та шлам зі стічних вод	Відпрацьоване мастило	Розчинники	Пластмаси	Відходи деревини	Папір	Гума	Тваринна мука
	Медіана та значення 80-ого перцентіля (мг/кг сухої речовини)							
	Медіана	Медіана	Медіана	80-ий перцентиль	80-ий перцентиль	Медіана	Медіана	80-ий перцентиль
As	3,78	12	6	10	10	0,46	16,4	0,2
Sb	4,97	67	6	20	20	0,37	5,72	0,6
Pb	25,5	59	180	150	150	31,85	28	1,5
Cd	1,02	0,5	0,6	15	5	0,63	3,9	0,05
Cr	28	8	30	150	50	12,2	26	3
Co	6,6	1	1,8	15	10	3,6	80	0,4
Cu	160,5	52	300	300	50	10,75	300	12
Mn	350	0,1	42	200	150	287	28,6	25
Ni	22	1	24	100	100	11,1	77	1
Hg	1,2	0,47	0,6	0,6	0,5	0,26	0,02	0,1
Tl	6,69	0,05	0,6	1,5	1	1,11	0,4	0,3
V	16,05	1	6	30	60	6,11	12	0,5
Zn	40,6	390	30	30	20	1,76	10	1
Sn	877	1 000	180	-	-	34,9	8 597	120
Cl	-	0,4 % за вагою	-	-	-	-	-	-
S	-	2 % за вагою	-	-	-	-	-	-
Поліхлоровані біфеніли/терфеніли (ПХБ/ПХТ)	-	50	-	-	-	-	-	-

Медіанне значення: значення 50-ого перцентіля  
Максимальне значення: значення 100-ого перцентіля  
80-ий перцентиль: значення 80-ого перцентіля  
Джерело: [161, Австрія, 2006], [168, TRG «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [170, Австрія, 2007]

Приклади вхідних критеріїв для речовин у належних відходах, що використовуються на цементних заводах у Франції (мінімальні та максимальні граничні значення), Іспанії та Польщі, наведені у Таблиці 6.18 та Таблиці 6.19.

Таблиця 6.18. Приклади вхідних критеріїв для речовин у належних видах палива з відходів, що використовуються на цементних заводах, за французькими дозволами

Параметр	Одиниця вимірювання	Максимальне значення	Мінімальне значення	Зауваження
Hg	млн <sup>-1</sup>	<10	<10	( <sup>1</sup> )
Hg+Cd+Tl	млн <sup>-1</sup>	<1 000	<100	( <sup>2</sup> )
Cr	млн <sup>-1</sup>	<10 000	<250	( <sup>3</sup> )
Cu	%	<2	<1	
Zn	%	<15	<1	
Co	%	<1	-	
Ni	%	<1	-	
Mn	%	<1	-	
Pb	%	<0,6	<0,1	
∑ As+Ni+Co+Se+Te+Cr+Pb+Sb+Sn+V	млн <sup>-1</sup>	<10 000	<2 500	
∑ As+Ni+Co+Se+Te+Cr+Pb+Sb+Sn+V+Cu	млн <sup>-1</sup>	-	<3 500	
∑ Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V+Cd+Tl+Hg	%	-	<1	
∑ As+Ni+Co+Se+Te+Cr+Pb+Sb+Sn+V+Cu+Zn+Mn	%	-	<2	
∑ Cd+Hg+Cr+Pb+Sn+V+Co+As+Cu+Mn+Mo+Tl+Ni	%	-	<1	
Сірка	%	<12	<0,5	
ПХБ/ПХБ+ПХТ( <sup>8</sup> )	млн <sup>-1</sup>	<50	<50	( <sup>5</sup> )
ПХФ( <sup>9</sup> )	млн <sup>-1</sup>	<50	-	( <sup>6</sup> )
Загальний хлор	%	<4	<1	( <sup>7</sup> )
Інші галогени (броміди + йодиди + фториди)	%	-	<0,5	-
Луги (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)	%	<15	0,8	( <sup>4</sup> )
Фосфати (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	<15	<0,75	( <sup>4</sup> )

(<sup>1</sup>) Значення у 10 млн<sup>-1</sup> дійсне для ртуті у всіх дозволах на цементні заводи  
(<sup>2</sup>) У багатьох дозволах на цементні заводи вказане граничне значення у 100 млн<sup>-1</sup> для летких речовин  
(<sup>3</sup>) Різна ситуація у кожному окремому випадку залежно від місцевих органів влади. Для трьох цементних заводів не встановлено обмежень на вміст металів, у 10 дозволах значення базуються на попередньому законодавству ЄС, деякі заводи отримали дозволи з конкретними переліками для металів чи конкретними обмеженнями на конкретні метали  
(<sup>4</sup>) Великий діапазон допустимих значень цього параметра  
(<sup>5</sup>) Лише одне граничне значення для ПХБ/ПХТ  
(<sup>6</sup>) Лише одне граничне значення для ПХФ  
(<sup>7</sup>) Великий діапазон допустимих значень цього параметра; можуть існувати більш суворі обмеження на подавання відходів у піч, залежно від конкретної печі  
(<sup>8</sup>) ПХБ: поліхлорований біфеніл; ПХТ: поліхлорований терфеніл  
(<sup>9</sup>) ПХФ: пентахлорфенол

Джерело: [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007] [174, Європейська асоціація сумісної переробки (EUCOPRO), 2007]

Таблиця 6.19. Приклади вхідних критеріїв для речовин у належних видах палива з відходів, що використовуються на цементних заводах в Іспанії та Польщі

Параметр	Одиниця вимірювання	Іспанія			Польща		
		Національне законодавство	Завод 1	Завод 2	Національне законодавство	Завод 1	Завод 2
Hg	млн <sup>-1</sup>	н/к	10	-	н/к	н/к	н/к
∑ Hg+Cd+Tl	млн <sup>-1</sup>	н/к	100	100	н/к	н/к	н/к
∑ Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Ni+Mn+V	млн <sup>-1</sup>	н/к	5 000	10 000	н/к	н/к	н/к

н/к: немає вхідних критеріїв  
Джерело: [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007] [174, EUCOPRO, 2007]

Таблиця 6.20. Технічні вимоги до вхідних критеріїв для зразка відходів

Параметр	Одиниця вимірювання	Максимальне значення
Сірка	% за вагою	1,5
Хлор	% за вагою	2,0
Фтор	% за вагою	0,5
Бром	% за вагою	0,5
Йод	% за вагою	0,2
Ртуть	млн <sup>-1</sup>	10
ΣКадмій + Талій (усього)	млн <sup>-1</sup>	30
Стибій	млн <sup>-1</sup>	300
Арсен	млн <sup>-1</sup>	60
Хром	млн <sup>-1</sup>	200
Кобальт	млн <sup>-1</sup>	100
Мідь	млн <sup>-1</sup>	300
Свинець	млн <sup>-1</sup>	500
Манган	млн <sup>-1</sup>	250
Нікель	млн <sup>-1</sup>	500
Олово	млн <sup>-1</sup>	200
Ванадій	млн <sup>-1</sup>	50
Поліхлоровані біфеніли (ПХБ)	млн <sup>-1</sup>	10
Пентахлорфенол (ПХФ)	млн <sup>-1</sup>	20
Тверді речовини	% за вагою	15
Зола	% за вагою	10
Вода	% за вагою	20

*Джерело:* [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007] [174, EUCOPRO, 2007]

### 6.2.2.2 Приклади споживання енергії

На австрійських цементних заводах споживання викопних видів палива, а також палива з відходів, для задоволення потреби у тепловій енергії постійно зростало протягом періоду з 1997 по 2004 рік, як видно з Таблиці 6.21.

Таблиця 6.21. Споживання палива в австрійській цементній промисловості

Паливо	1997 (т/рік)	1998 (т/рік)	1999 (т/рік)	2000 (т/рік)	2001 (т/рік)	2002 (т/рік)	2003 (т/рік)	2004 (т/рік)
Вугілля	200 241	159 331	131 580	166 965	149 354	76 504	70 523	72 218
Лігніт	7 434	4 335	11 774	35 023	38 855	62 908	69 786	62 551
Мазут	53 423	46 762	45 081	17 574	11 004	11 714	12 363	14 909
Газ <sup>(1)</sup>	12 618	11 595	12 394	13 438	11 343	10 735	8 727	8 528
Нафтовий кокс	3 275	11 692	24 021	10 367	8 648	51 882	50 089	57 147
Інші викопні види палива	0	0	0	0	0	0	82	1 028
Усього викопного палива	273 347	233 171	221 271	239 486	215 928	210 643	209 050	213 916
Вторинне паливо	101 063	121 719	135 065	169 888	218 048	238 959	267 822	274 032
Усього палива	374 411	354 890	356 336	409 374	433 976	449 602	476 872	487 948

<sup>(1)</sup> 1 000 м<sup>3</sup> (Вн.у./рік)  
*Джерело:* [92, Австрія, 2006]

## 6.2.2.3 Приклади даних про викиди

Дані про викиди з естонського цементного заводу за 2006 рік наведені у Таблиці 6.22.

**Таблиця 6.22. Приклади різних рівнів викидів з естонського цементного заводу за 2006 рік у порівнянні з допустимими рівнями викидів**

Назва та джерело забруднюючої речовини		Допустимі рівні (т/рік)	Фактичні рівні викидів у 2006 році (т/рік)
Загальні викиди пилу		542,98	245,5
Загальні викиди пилу з таких джерел:	Обертові печі у спеціальному режимі	420,0	89,84
	Обертові печі у звичайному режимі	149,60	71,11
	Млини для бітумного сланцю	21,60	8,66
	Клінкерні холодильники	178,60	63,23
	Клінкерні конвеєри	5,76	1,85
	Дробарки для вапняку	5,04	0,86
	Цементні млини	7,56	2,25
	Цементні млини з сепаратором	2,52	0,80
	Машини для пакування цементу	1,08	0,44
	Вапняковий кар'єр	50,96	2,5
	Звалище для промислових відходів	4,32	1,02
	Кар'єр бітумного сланцю	1,44	0,35
	Порт (різні матеріали)	114,50	2,85
SO <sub>2</sub>		5 762,70	1 696,63
SO <sub>2</sub> з таких джерел:	Обертові печі	5 760,00	1 696,63
	Млини для бітумного сланцю	2,70	-
NO <sub>x</sub> (у перерахунку на NO <sub>2</sub> )		3 072,6	576,57
NO <sub>x</sub> з таких джерел:	Обертові печі	2 880,00	534,37
	Млини для бітумного сланцю	43,2	15,76
	Електростанція	149,4	26,44
CO		3 072,60	510,43
CO з таких джерел:	Обертові печі	4 608,00	460,00
	Млини для бітумного сланцю	10,8	7,72
	Електростанція	149,40	42,71
CO <sub>2</sub>		787 333	745 620
Хлороводень		247,60	5,03
Фтороводень		12,68	-
ЛОС		307,44	26,17
Важкі метали		20,32	0,08

Джерело: [75, Естонія, 2006]

Дрібнодисперсний пил фракцій  $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$ 

Приклади дрібнодисперсних фракцій пилу  $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$ , що викидалися з ірландських цементних заводів, наведені у Таблиці 6.23.

**Таблиця 6.23. Приклади викидів дрібнодисперсного пилу фракцій  $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$ , виміряних на цементних заводах в Ірландії**

Джерело	Фракція (PM)	Концентрації			Масова витрата викидів (кг/год.)
		В умовах викиду (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	Приведено до 10 % кисню (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	Стандартні умови (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	
Завод 1 ( <sup>6</sup> )	Сировинний млин (електрофільтр)	$PM_{10}$	2,67 ( <sup>1</sup> )	2	0,7684
		$PM_{10}$	2,65 ( <sup>1</sup> )	2	0,7237
	Колосниковий холодильник (електрофільтр)	$PM_{10}$	7 ( <sup>2</sup> )		1,4782
		$PM_{10}$	7 ( <sup>2</sup> )		1,6866
	Вугільний млин (рукавний фільтр)	$PM_{10}$	9,33 ( <sup>3</sup> )	9	0,2979
		$PM_{10}$	10,1 ( <sup>3</sup> )	10	0,3085
	Цементний млин (рукавний фільтр)	$PM_{10}$	107 ( <sup>4</sup> )		4,38
		$PM_{10}$	73 ( <sup>4</sup> )		3,00
Сепаратор для цементного млина (рукавний фільтр)	$PM_{10}$	3 ( <sup>5</sup> )		0,4095	
	$PM_{10}$	0 ( <sup>5</sup> )		0	
Витяжні вентиляційні канали рукавного фільтра	$PM_{10}$		0,007 – 0,302		
Завод 2 ( <sup>7</sup> )	Цементний млин (рукавний фільтр)	$PM_{10}$		3,33	
		$PM_{2,5}$		<1,1	
	Вугільний млин (рукавний фільтр)	$PM_{10}$		3,33	
		$PM_{2,5}$		3,33	
	Сировинний млин та цементний млин (електрофільтр)	$PM_{10}$		2,22	
		$PM_{2,5}$		5,56	
	Живильник печі (рукавний фільтр)	$PM_{10}$		1,11	
		$PM_{2,5}$		2,22	
	Клінкерний конвеєр (рукавний фільтр)	$PM_{10}$		1,11	
		$PM_{2,5}$		1,11	
	Рукавний фільтр	$PM_{10}$		1,11 – 7,78	
		$PM_{2,5}$		1,11 – 2,22	
	Цементний млин	$PM_{10}$		5,56 – 3,33	
		$PM_{2,5}$		1,11 – 2,22	
	Силоси	$PM_{10}$		1,11	
		$PM_{2,5}$		<1,1 – 3,33	
Подавальний конвеєр вугільного млина	$PM_{10}$		4,44		
	$PM_{2,5}$		3,33		
Вторинна дробарка	$PM_{10}$		1,11		
	$PM_{2,5}$		<1,1		

(<sup>1</sup>) 7 % кисню, температура 139 °С, середня витрата газу 280 397 м<sup>3</sup> н. у./год., 3 925 558 м<sup>3</sup> н. у./добу  
(<sup>2</sup>) 20,9 % кисню, температура 216 °С, середня витрата газу 225 272 м<sup>3</sup> н. у./год., 2 703 269 м<sup>3</sup> н. у./добу  
(<sup>3</sup>) 10 % кисню, температура 86 °С, середня витрата газу 31 241 м<sup>3</sup> н. у./год., 656 063 м<sup>3</sup> н. у./добу  
(<sup>4</sup>) 20,9 % кисню, температура 110 °С, середня витрата газу 40 901 м<sup>3</sup> н. у./год., 940 739 м<sup>3</sup> н. у./добу  
(<sup>5</sup>) 20,9 % кисню, температура 86 °С, середня витрата газу 136 940 м<sup>3</sup> н. у./год., 2 191 046 м<sup>3</sup> н. у./добу  
(<sup>6</sup>) Вимірювання за 2001 рік  
(<sup>7</sup>) Вимірювання за 2004 рік

Джерело: [113, Ірландія, 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008]

## Скиди у воду

На взятому для прикладі заводі в Естонії, що працює за мокрим способом, у 2005 році було використано 602 000 м<sup>3</sup> води у грязе- та маслоуловлювачі. Викиди в воду виникають у технічному процесі виготовлення шламу, а також надходять з маслоуловлювача. Скиди у воду та кількості забруднюючих речовин у стічних водах, що надходять з естонського цементного заводу, наведені у Таблиці 6.24.

**Таблиця 6.24. Кількість забруднюючих речовин у стічних водах від естонського цементного заводу**

Кількість забруднюючих речовин у стічних водах			
Забруднююча речовина	Одиниця вимірювання	Шламо- та маслоуловлювач	
		2004	2005
Біологічна потреба в кисні	мг/л	5	7
Зважені тверді частки	мг/л	8,3	11
Загальний вміст азоту	мг/л	1,8	1,4
Загальний вміст фосфору	мг/л	0,08	0,057
Сульфати	мг/л	-	-
Феноли I, основні	мкг/л	0,019	<0,5
Феноли II, основні	мкг/л	0,0053	<0,5
Мастило	мг/л	0,03	0,01
Хімічна потреба в кисні	мг/л	54	-

*Джерело:* [75, Естонія, 2006]

### 6.2.3 Виробництво цементу – комбіноване виробництво тепла та електроенергії / регенерація надлишкового тепла

#### 6.2.3.1 Комбіноване виробництво електроенергії за допомогою традиційного процесу на основі паросилового циклу – цементний завод у поселенні Сліте, Швеція

Цементний завод (дві печі) у поселенні Сліте (острів Готланд/Швеція) спочатку був розрахований на виробництво 6 000 т клінкеру/добу, проте його потужність постійно зростала і зараз у сумі складає 7 000 т/добу. Температура відпрацьованих газів, що виходять з башти циклонного підігрівача для підігрівання у зваженому стані, становить приблизно 440 °С. Крім того, для сировини, що використовується на цьому заводі, властива сприятлива низька вологість – у межах 2 – 3 %. З тепла, що виділяється піччю, лише частина потрібна для сухого помелу.

Тепло, що регенерується, передається на існуючу електростанцію, яка розташована поруч із цементним заводом і експлуатується третьою стороною. Там воно повторно використовується у паровій турбіні для виробництва електроенергії. Пара виробляється у двоступеневій системі утилізаційних парових котлів – один з них знаходиться у клінкерному холодильнику, а інший у низхідному каналі печі. За допомогою установки, показаної на Рисунку 6.1, завод здатен постачати водяну пару достатньої якості:

- клінкерний холодильник, відхідні гази якого є джерелом відхідного тепла (приблизно 330 °С);
- електрофільтр на шляху потоку газу з клінкерного холодильника;
- котли-утилізатори – на клінкерному холодильнику – з контуром водяної пари;
- другий котел-утилізатор, що працює на відпрацьованих газах башти підігрівача, у якості установки для роботи в умовах високих рівнів пилу;
- турбіна та генератор, які генерують електроенергію;
- конденсатор, що працює на морській воді, для повторного охолодження водяної пари.

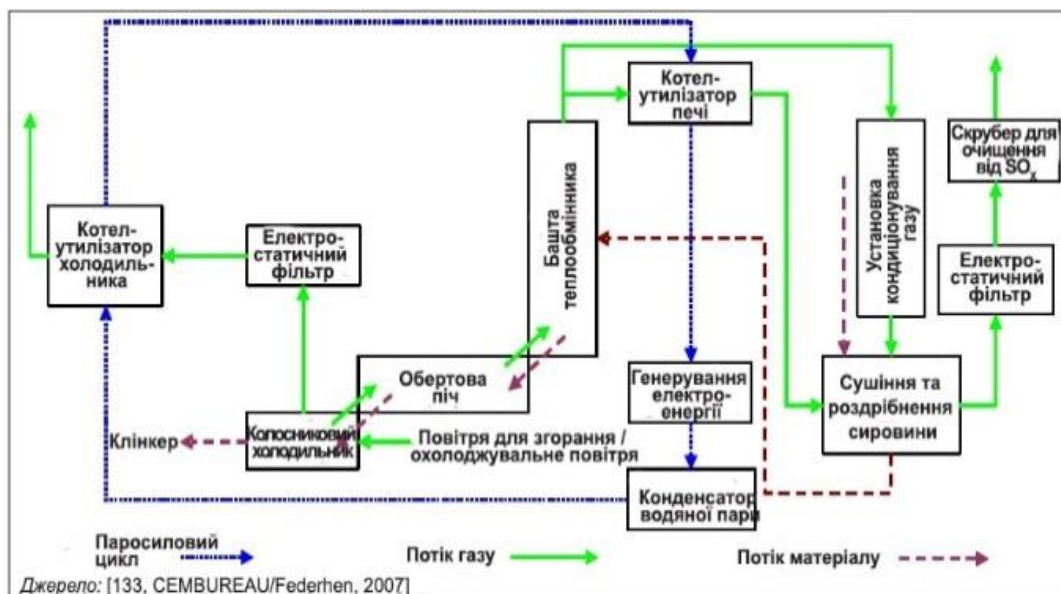


Рисунок 6.1. Схема двоетапної водяної системи регенерації тепла для комбінованого виробництва тепла та електроенергії на цементному заводі у поселенні Сліте, Швеція

На першому етапі котли-утилізатори клінкерного холодильника працюють з очікуваними параметрами. Проте котел для відпрацьованих газів підігрівача не виробляє такої пари, на яку початково був розрахований – навіть після модифікацій. Можна вважати, що ця відмова зумовлена відкладенням дрібнодисперсного пилу, що утворює ізоляційний шар на трубках теплообмінника. Для подолання проблеми з неефективністю котла потрібна більш ефективна система видування пилу. Вишукування, проведене на самому заводі, показало,

що традиційна технологія очищення трубок за допомогою пари економічно неефективна. Замість цього потрібно використовувати котел-утилізатор з розширеними теплообмінними поверхнями. Цей варіант, однак, призведе до значно більшого перепаду тиску та збільшить внутрішню потребу в енергії.

У 2007 році ця установка відбирала з системи приблизно 30 МВт тепла; вона була початково розрахована на 9 МВт, а тепер, після оптимізації, постачає близько 6 МВт. Інвестиційні витрати, розраховані у 1999 році, склали  $8 \times 10^6$  євро за котел та систему розподілу пару, з яких 25 % були надані у вигляді субсидії. При цьому, однак, не були зазначені витрати для повторно використаної існуючої парової турбіни, яка зробила значний внесок в економіку установки. Річне виробництво електроенергії зараз становить приблизно 50 ГВт·год. – це  $\frac{1}{4}$  загальної потреби заводу в електроенергії.

### **6.2.3.2 Комбіноване виробництво тепла та електроенергії за допомогою органічного циклу Ренкіна (ORC) – цементний завод у поселенні Ленгфурт, Німеччина**

На заводі у Ленгфурті використовується процес на основі так званого низькотемпературного органічного циклу Ренкіна (ORC). Цей процес, по суті, полягає в тому, щоб у якості рухомого теплоносія використовувати не воду, а органічний рухомий теплоносії (пентан), який випаровується за значно нижчих температур, ніж вода. Основні принципи цієї технології довгий час успішно використовувалися у холодильних технологіях. Технологія на основі органічного циклу Ренкіна використовується головним чином для виробництва електроенергії з геотермальних джерел тепла; це перший у світі випадок, коли цей процес використовується на цементному заводі. На Рисунку 6.2 показана схема цього процесу.

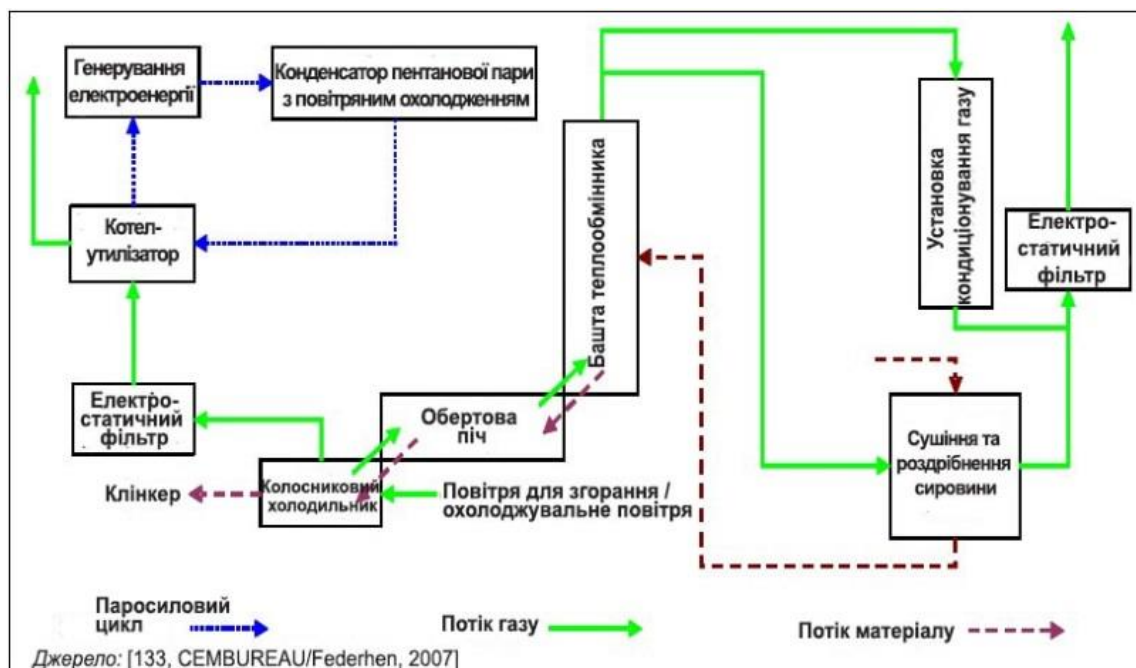
Процес на основі органічного циклу Ренкіна для генерування електроенергії з низькотемпературного відхідного тепла, що застосовується на цементному заводі у Ленгфурті, у 2007 році, після 7 років досвіду його застосування, вже міг розцінюватися як технічно доцільна альтернатива енергетичним установкам, що працюють на парі, та, з огляду на фінансування регіональним урядом, міг вважатися економічно вигідним для власника.

Найбільш помітними його перевагами є стабільна та надійна робота, компактна конструкція та порівняно високий ККД, якого можна досягти з використанням джерел тепла, температура яких менша, ніж 275 °С. Проте цей процес не типовий для цементних заводів, тож персонал, який займається його експлуатацією та технічним обслуговуванням, потребує спеціального навчання.

Сама енергетична установка, що виробляє електроенергію з відхідного тепла на основі органічного циклу Ренкіна, складається, по суті, з кількох підсистем:

- клінкерний холодильник, відхідні гази якого є джерелом відхідного тепла;
- електрофільтр для зниження викидів пилу:
  - примітка: рукавні фільтри не підходять для цього рівня температури за такого компонування;
- котел-утилізатор з пентановим контуром;
- турбіна та генератор, які генерують електроенергію;
- установка конденсації повітря для повторного охолодження пентанового контура.





**Рисунок 6.2.** Схема пентанової системи регенерації відхідного тепла для комбінованого виробництва тепла та електроенергії на заводі у поселенні Ленгфурт, Німеччина

Результати показали, що в заданому режимі роботи можна генерувати 1,0 МВт електроенергії (корисна потужність). Ступінь готовності, якого вдалося досягти, склав 97 % часу роботи цементної печі. Клінкерний холодильник виділяє 14 МВт відхідного тепла, що виходить з відпрацьованим повітрям клінкерного холодильника, а температура відхідних газів становить 300 – 350 °С. З цього тепла відбирається у середньому 9 МВт.

Іноді, через певні умови роботи печі та колосникового клінкерного холодильника печі, турбіна може виробляти менше електроенергії порівняно з вихідною потужністю, на яку вона початково була розрахована. У 2007 році установка для генерування електроенергії з відхідного тепла задовольняла до 9 % потреби цементного заводу в електроенергії, проте в майбутньому за допомогою цієї установки можна буде задовольнити до 12 % потреби заводу в електроенергії. Таким чином, викиди CO<sub>2</sub>, що утворюються в результаті спалювання палива для виробництва електроенергії, можна скоротити на величину від приблизно 3000 до 7620 т/рік.

Загальні капітальні витрати склали 4 мільйони євро. З цих загальних витрат 2 мільйони євро припадали на установку, що працює за органічним циклом Ренкіна, з пентановим охолоджувальним контуром і з урахуванням витрат на встановлення. Решта коштів були витрачені на котел-утилізатор, теплообмінну установку, монолітну конструкцію, електрику, проектно-конструкторські роботи, введення в експлуатацію, решту пристроїв та оплату послуг. У результаті питомі капітальні витрати склали приблизно 4 000 євро/кВт (корисної потужності), або 1 300 євро/т CO<sub>2</sub> на рік. Виробництво електричної енергії становило близько 6 000 МВт· год./рік, а експлуатаційні витрати склали 50 000 євро на рік. Проте в експлуатаційних витратах не враховано резерв на капітальні ремонти, які знадобляться, коли установка постаріє [78, Е. Баатц + Дж. Хайдт, 2000], [79, Німеччина, 2001], [133, CEMBUREAU/Federhen, 2007].

## 6.2.4 Виробництво цементу – приклади зниження викидів $\text{NO}_x$ за допомогою високоефективної технології СНКВ

Технологія СНКВ застосовується в цементних печах вже понад 25 років. Перші експлуатаційні випробування технології СНКВ продемонстрували її принципову придатність для застосування в обортових цементних печах, якщо тільки в них наявне температурне вікно від 900 до 1 000°C. У 1990-х роках випробування поширилися на численні цементні печі у різних країнах (Німеччина, США, Австрія, Швеція, Швейцарія, тощо). У більшості випадків можна досягти ступенів відновлення  $\text{NO}_x$  на більш ніж 50 %. Зараз СНКВ використовується у цементній промисловості для зниження рівнів  $\text{NO}_x$  і успішно застосовується в численних цементних печах у Європі та США.

### 6.2.4.1 Приклад технології СНКВ, що використовується у Швеції

#### Технологічний процес

У Швеції компанія Cemente AB використовує високоефективне СНКВ з 1997 року для зниження рівнів  $\text{NO}_x$  у трьох цементних печах – в одній печі потужністю 1 900 т/добу (п'ятиступенева піч з підігрівачем та рекуператорним холодильником) на своєму цементному заводі в місті Шведе та у двох печах потужністю 1 200 та 5 800 т/добу на своєму заводі у поселенні Сліте. На Рисунку 6.3 зображена схема такої системи для печі з підігрівачем та рекуператорним холодильником у поселенні Сліте.

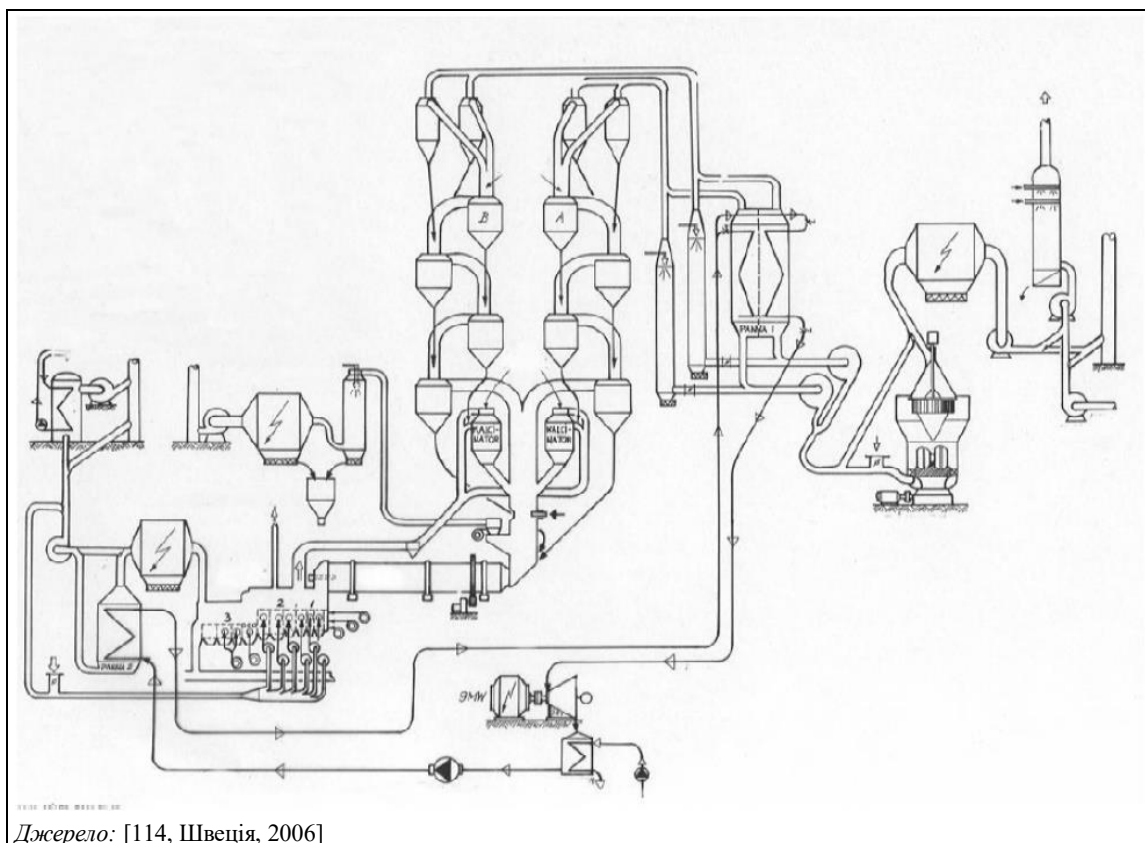


Рисунок 6.3. Схема процесу виготовлення цементу на заводі у поселенні Сліте (Швеція)

Для вприскування аміаку у газовий потік використовується різна кількість пар форсунок. На цементному заводі у поселенні Сліте зазвичай використовується від трьох до чотирьох пар форсунок, як показано на Рисунку 6.4, а схема розподілу форсунок для вприскування розчину аміаку зображена на Рисунку 6.5.

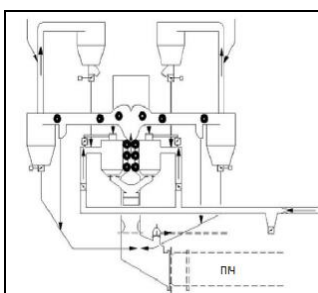


Рисунок 6.4. Схема вприскування розчину  $\text{NH}_3$  для СНКВ на цементному заводі у поселенні Сліте, Швеція

Джерело: [114, Швеція, 2006]

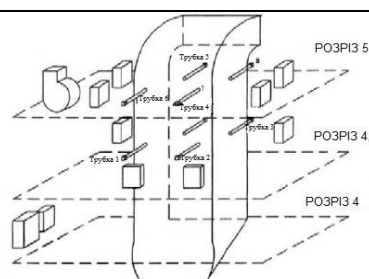


Рисунок 6.5. Схема та план розташування форсунок для вприскування розчину  $\text{NH}_3$  для СНКВ на цементному заводі у місті Шведе, Швеція

Джерело: [114, Швеція, 2006]

На обох заводах початковий рівень  $\text{NO}_x$  становив від 800 до 1 100  $\text{мг/м}^3$  н. у., тож ступінь відновлення залишився близьким до 80 %, як і було визначено початково. З 1998 року довготермінові викиди  $\text{NO}_x$  вдалося знизити приблизно до 200  $\text{мг/м}^3$  н. у., а на заводі Шведе – до менш ніж 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. (рівні вимірювалися як середньорічні значення). З 1997 року для запобігання викидам приблизно 45 000 т  $\text{NO}_x$  було спожито близько 63 500 т аміаку. На цементному заводі у Сліте споживання водоаміачного розчину (25 %-ого) стабілізувалося в межах близько 3,5 – 4,5 л/т виготовленого клінкеру. На цементному заводі у Шведе це значення коливалося від 2,5 до 3,5 л/т. На Рисунку 6.6 показано рівні споживання водоаміачного розчину та викидів  $\text{NO}_x$ , яких було досягнуто на цих заводах з 1995 по 2005 рік. Коливання споживання аміаку, найімовірніше, зумовлене зміною в умовах спікання клінкеру, а також, хоча й меншою мірою, зношуванням форсунок у системі. Варто відзначити, що за період з 1997 по 2005 рік форсунки не довелося замінити, і час простоювання трьох печей був меншим, ніж 200 годин.

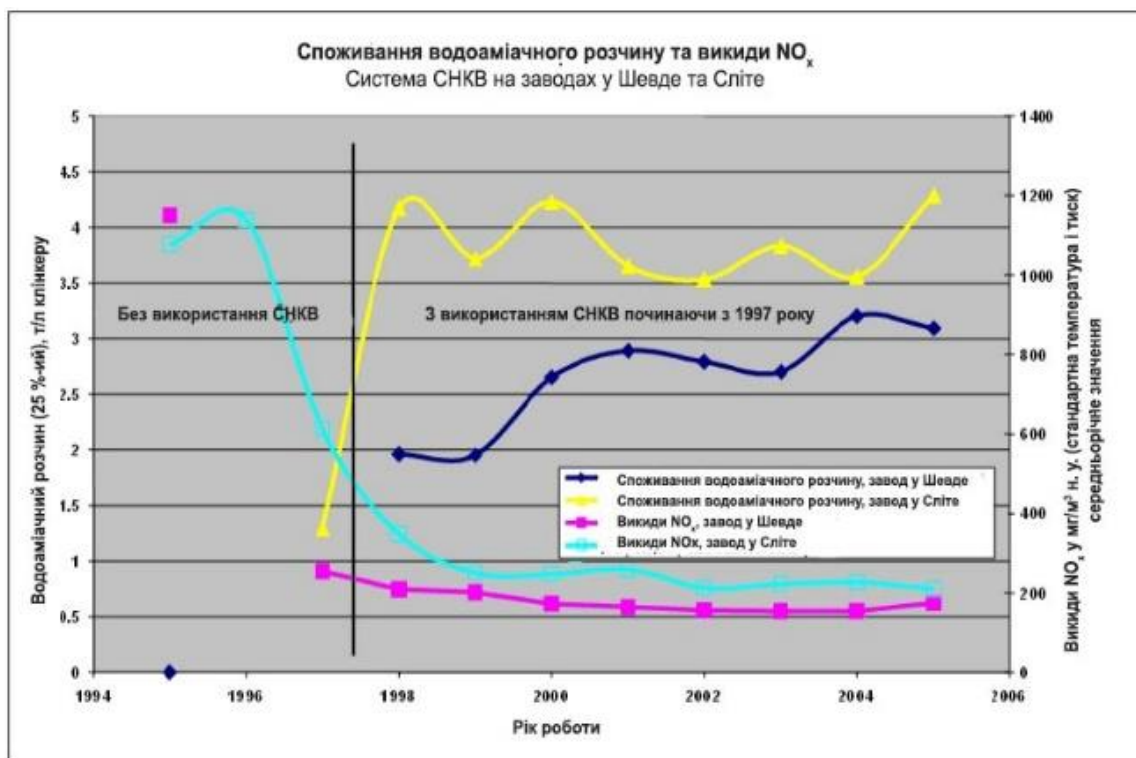


Рисунок 6.6. Викиди  $\text{NO}_x$  та споживання водоаміачного розчину на цементних заводах у Сліте та Шведе, що в Швеції, з 1995 по 2005 рік

### *Молярне відношення*

У 2001 році було виявлено, що початкове молярне відношення на заводі в Шевде становило 1 – 1,2 (молі  $\text{NH}_3$  на присутній моль  $\text{NO}_x$ ). За середньої ефективності видалення  $\text{NO}_x$  у 80 %, для видалених оксидів  $\text{NO}_x$  було розраховано значення від 1,2 до 1,4. На заводі в Шевде було виявлено, що відношення аміаку початково знаходилося в районі, знову ж таки, 1,2 – 1,4 моля/моль (присутні молі  $\text{NO}_x$  до вбризнутих молів  $\text{NH}_3$ ) або 1,5 – 1,8 (відновлені молі  $\text{NO}_x$  до вбризнутих молів  $\text{NH}_3$ ).

### *Проскок аміаку*

Випробування проскоку аміаку та викидів, проведені з 1994 по 1996 рік, показали, що для обох заводів були властиві природні викиди аміаку, що утворювався з сировини: від 10 до 30  $\text{мг/м}^3$  н. у. на заводі в Шевде та від 15 до 20  $\text{мг/м}^3$  н. у. на заводі у Сліте.

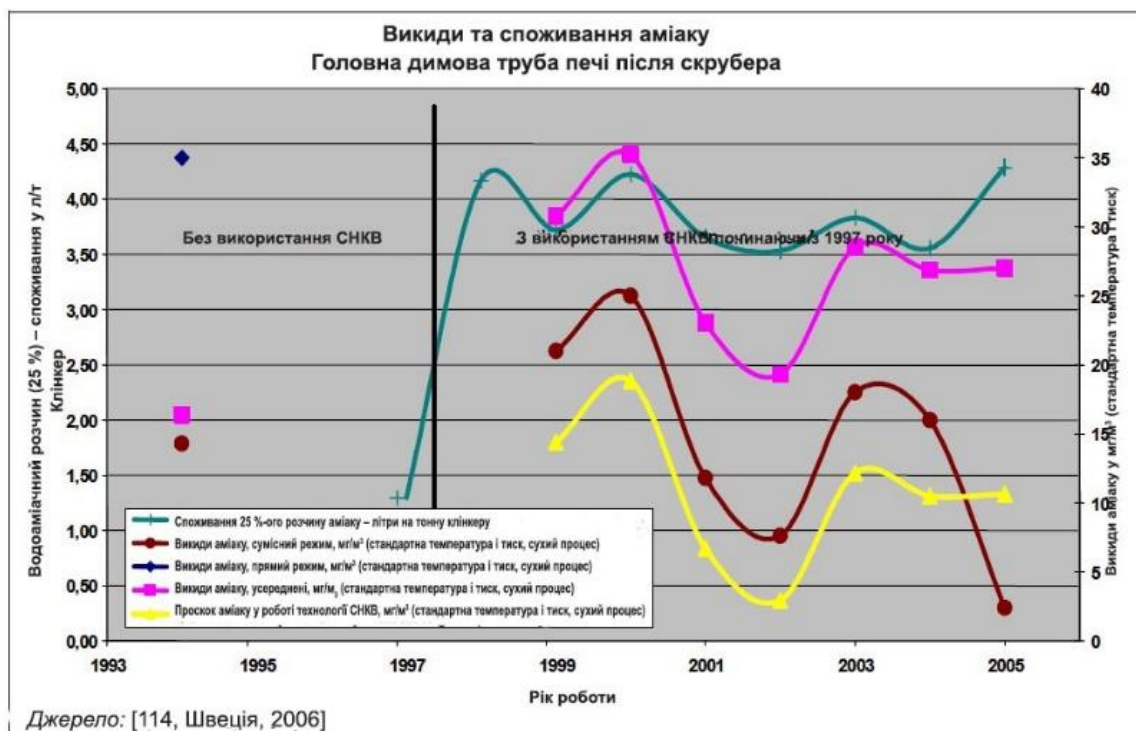
У Шевде проскок аміаку після введення СНКВ в експлуатацію склав 5 – 10  $\text{мг/м}^3$  н. у. У Сліте проскок аміаку на додачу до природних викидів становив приблизно 5 – 20  $\text{мг/м}^3$  н. у.

У 2003 році повторні вимірювання на заводі в Шевде показали, що викиди аміаку без використання СНКВ були меншими, ніж 5  $\text{мг/м}^3$  н. у., а у разі використання СНКВ становили 20  $\text{мг/м}^3$  н. у.

Суттєвою особливістю обох заводів є те, що на них використовувалися сировинні млини. Аміак уловлювався в цих роздрібнювальних системах. У Шевде роздрібнювальні системи (сировинні та вугільні млини) працювали протягом майже 98 % усього часу експлуатації. Тому викиди аміаку, виявлені на цьому заводі у сумісному режимі (млин у роботі / млин вимкнений), відображали середні дані.

На відміну від Шевде, на цементному заводі у Сліте є скруббер який буферизує аміак у скрубберній рідині, а отже, вирівнює піки та провали. Лише невелика частка аміаку передається на установки роздрібнення цементу разом з гіпсовим продуктом (3 кг/год). Цементний млин працює за низьких температур як замкнений контур, і запах аміаку лише зрідка було чутно з цементного силоса. Крім того, з 1998 року у димовій трубі скрубера проводилися безперервні вимірювання викидів аміаку. Виміряні дані про викиди аміаку та споживання водоаміачного розчину на заводі і Сліте показані на Рисунку 6.7. У періоди роботи без скрубера  $\text{SO}_2$  викиди аміаку склали від 15 до 35  $\text{мг/м}^3$  н. у.

Оскільки скруббер до цього працював, короточасні піки були вищими і досягали навіть 125  $\text{мг/м}^3$  н. у. Це зумовлено тим, що температура скрубберної рідини при цьому збільшується з 53 до 59 °С, рівноважний стан зсувається, і деяка кількість накопиченого аміаку знову вивільняється. При використанні скрубера на заводі у Сліте усереднений рівень аміаку, що становить 20 – 35  $\text{мг/м}^3$  н. у., переважно повторює динаміку споживання водоаміачного розчину. Цей ефект демонструє, що, незважаючи на високу ефективність систем СНКВ, основна увага, як і раніше, повинна бути зосереджена на первинних засобах контролю  $\text{NO}_x$  – зокрема, на створенні оптимізованих умов процесу згорання.



**Рисунок 6.7. Викиди  $\text{NH}_3$  та споживання водоаміачного розчину для двох цементних печей на цементному заводі у поселенні Сліте, що в Швеції, з 1994 по 2005 рік**

На шведських цементних заводах застосовувалося спеціальне обладнання. Завдяки цьому обладнанню та використанню конструктивних рішень з низьким виділенням  $\text{NO}_x$ , додаткові викиди аміаку знаходилися на рівні 5 – 20  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. Проте проскок аміаку все рівно коливається з огляду на характер процесу виготовлення цементу.

#### *Вартість експлуатації*

Вартість експлуатації системи СНКВ залежить головним чином від споживання водоаміачного розчину. Для роботи насосів потрібна лише невелика кількість енергії, а згорання аміаку у зоні відновлення з температурою 900 – 1 100 °С компенсує витрати тепла на випаровування води (носія аміаку).

З урахуванням того, що 25 %-ий водоаміачний розчин коштував приблизно 100 євро на тонну у 1996 році та 130 євро на тонну у 2006 році, вартість відновлення  $\text{NO}_x$  на тонну виготовленого клінкеру у Швеції помірно зросла – від початкової вартості у 0,30 євро до 0,35 євро. Сукупні витрати при цьому становили від 0,40 до 0,45 євро на тонну клінкеру.

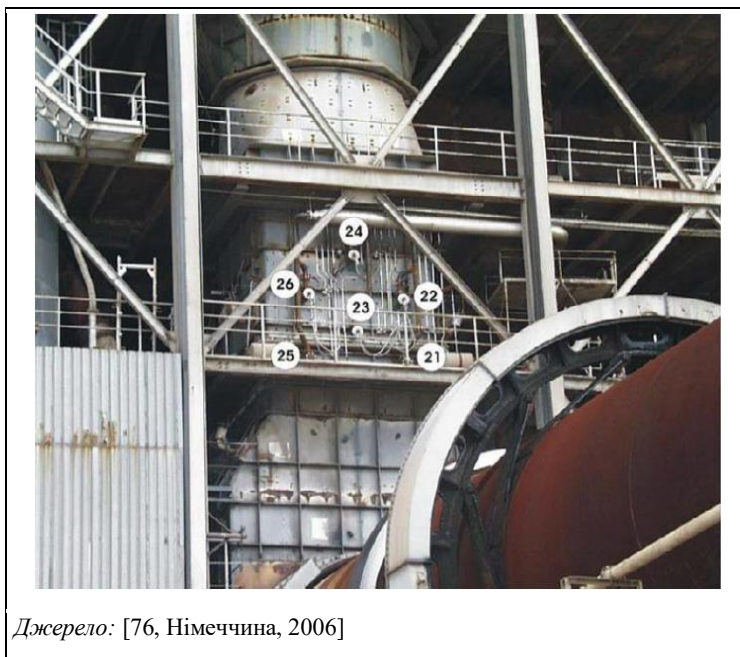
У Сліте, оскільки витрати на перевезення до острова Готланд більші, ніж у разі перевезення по материку (у 2007 році ці витрати становили 140 євро на тонну), витрати коливалися в межах від 0,40 до 0,50 євро на тонну клінкеру. Витрати на електроенергію, технічне обслуговування та амортизацію у сукупності складають ще 0,10 євро на тонну клінкеру у складі собівартості виробництва. Як було початково розраховано, загальні витрати на тонну клінкеру залишилися в межах близько 0,50 – 0,60 євро на тонну клінкеру.

За період з 1997 по 2005 рік витрати на відновлення у сумі склали приблизно 11 мільйонів євро. Водночас вдалося запобігти викидам близько 45 000 т  $\text{NO}_x$ . Загальні витрати з урахуванням амортизації, капітальних витрат, витрат на енергію та витрат на аміак відносно кількості оксидів  $\text{NO}_x$ , викидам яких вдалося запобігти, склали 250 євро на тонну  $\text{NO}_x$ .

#### 6.2.4.2 Приклад технології СНКВ, що використовується у Німеччині

На взятому для прикладу німецькому цементному заводі з пічною системою, яка працює за сухим способом, вже багато років використовується процес СНКВ. На цьому заводі використовується обертова піч діаметром 5,5 м і довжиною 89 м з чотириступеневим двофазним підігрівачем та планетарним холодильником. Її потужність – близько 3 000 т клінкеру/добу. Піч може працювати на паливі з відходів протягом 100 % часу. Належне температурне вікно для застосування процесу СНКВ створюється у каналі стояка. Початковий рівень викидів  $\text{NO}_x$  досить низький – приблизно 400 – 600  $\text{мг/м}^3$  н. у. на добу. Проте він також може досягати 1 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. і вище.

Водоаміачний розчин (25 %-ий розчин аміаку) зберігається у баку об'ємом 100  $\text{м}^3$ . З цього бака водоаміачний розчин перекачується насосом у менший контейнер; вприскування водоаміачного розчину, кероване належним пристроєм, здійснюється через вісім трубок, як показано на Рисунку 6.8. Компонування трубок визначається температурним профілем каналу стояка.



Джерело: [76, Німеччина, 2006]

**Рисунок 6.8. Високоєфективне СНКВ та місце вприскування водоаміачного розчину через трубки у позиціях №21 – 26**

За допомогою високоєфективного процесу СНКВ можна досягти постійного рівня викидів у 500  $\text{мг NO}_2/\text{м}^3$  н. у. без будь-якого суттєвого проскоку аміаку. Були проведені експлуатаційні випробування для дослідження оптимізації установки СНКВ, яка дасть змогу знизити викиди  $\text{NO}_x$  до менш ніж 500  $\text{мг/м}^3$  н. у. Найновіші результати шестимісячного випробування експлуатаційних показників, проведеного у 2007 році показали, що значень викидів  $\text{NO}_x$  у 350  $\text{мг/м}^3$  н. у. (середньодобові значення) вдалося досягти шляхом застосування молярного відношення  $\text{NH}_3:\text{NO}$  у 0,7 (сумісний режим роботи / млин увімкнений) – 0,8 (прямий режим роботи / млин вимкнений). Крім того, вдалося досягти значень викидів  $\text{NO}_x$  у 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. (середньодобові значення) шляхом застосування молярного відношення  $\text{NH}_3:\text{NO}$  у 1,4 (сумісний режим роботи / млин увімкнений) – 1,5 (прямий режим роботи / млин вимкнений). Проте при застосуванні великих молярних відношень  $\text{NH}_3:\text{NO}$  потрібно ретельно враховувати викиди аміаку. Під час випробувань експлуатаційних показників викиди  $\text{NH}_3$  вимірювалися безперервно. Проте вимірювання рівня  $\text{NH}_3$  продемонстрували значний проскок аміаку при підтриманні рівня у 200  $\text{мг NO}_x/\text{м}^3$  н. у., особливо під час роботи з вимкненим млином (макс. 50 – 200  $\text{мг/м}^3$  н. у.). У цілому при досягненні рівня викидів у 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. проскок аміаку виявився вдвічі більшим ( $\text{NH}_3$ : середнє значення за три місяці – 11  $\text{мг/м}^3$  н. у.), ніж для рівня 350  $\text{мг/м}^3$  н. у. ( $\text{NH}_3$ : середнє значення за три місяці – 21  $\text{мг/м}^3$  н. у.). Частка роботи з вимкненим млином у цьому випадку складала близько 10 – 20%.

Під час випробувань експлуатаційних показників не було виявлено значимого насичення сировинної муки аміаком. Випробування показали, що викиди аміаку слід ретельно враховувати. Проскок аміаку, що виникає в описаному вище процесі, обмежує кількість відновлювальних реагентів, які можна додавати понад стехіометричне відношення [76, Німеччина, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007], [173, Німеччина, 2007], [182, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2008].

## 6.2.5 Виробництво цементу – приклад зниження викидів $\text{NO}_x$ за допомогою технології СКВ

### Опис

Перша повномасштабна демонстраційна установка СКВ була побудована в Німеччині за державного фінансування. Цей завод («Зольнхофер Портланд-Цементверке» – завод з виробництва портландцементу у громаді Зольнхофен) експлуатується з 2001 року. На заводі «Зольнхофер Портланд-Цементверке» вирішили реалізувати систему СКВ для високих концентрацій пилу, оскільки:

- ця система споживає менше  $\text{NH}_3$  у порівнянні з СНКВ, а це означає менші експлуатаційні витрати;
- у верхній частині чотириступеневого підігрівача відхідний газ має температуру 320 – 350 °С, яка підходить для СКВ і не потребує повторного нагрівання (як у випадку конфігурації між рукавним фільтром та димовою трубою), а отже, зменшує витрати на електроенергію.

Реактор СКВ у Зольнхофені дає змогу встановити шість шарів каталітичних елементів, проте з цих шарів наразі використовується тільки три. Кожен шар складається з шести модулів, а кожен модуль – з 72 каталітичних елементів. Каталітичні елементи, розміром 15 x 15 x 90 см кожен, мають гребінчасту конструкцію і спеціальний склад на основі  $\text{TiO}_2$  та  $\text{V}_2\text{O}_5$ . Вони розташовані з кроком 13 мм (проте 10 мм у серединному шарі) – такий крок був вибраний для запобігання засміченню. Вбудована система знепилення видаляє пил, що накопився на поверхні каталізатора, за допомогою підігрітого повітря під високим тиском. Повітряні форсунки безперервно рухаються над кожним шаром каталізатора, тож для видалення пилу з каталізатора не потрібно переривати роботу системи. Завдяки оптимізації системи знепилення споживання повітря під високим тиском було знижено від початкового об'єму у 100 м<sup>3</sup> до 18 м<sup>3</sup> на тонну цементного клінкеру, а відтак витрати на енергію, потрібну для роботи каталізатора, склали приблизно 0,098 євро на тонну цементного клінкеру [76, Німеччина, 2006].

Процес СКВ, що застосовується на зразковій установці СКВ у Зольнхофені, показаний на Рисунок 6.9.

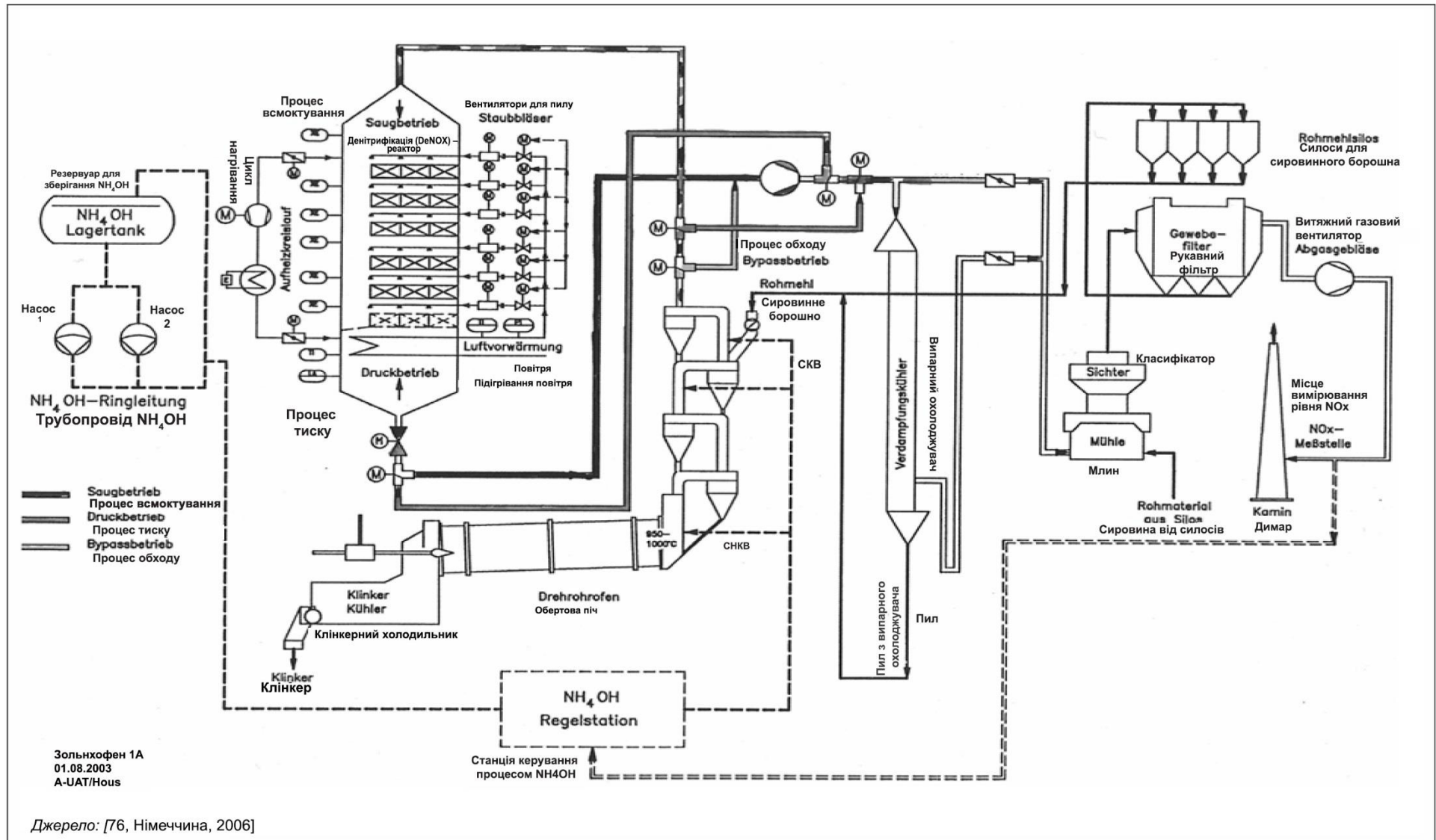


Рисунок 6.9. Схема зразкової установки СКВ у Німеччині («Зольнхофер Портланд-Цементверке»)



Щоб забезпечити максимальний термін служби реактора СКВ, його було спроектовано таким чином, щоб він міг працювати як перед системою знепилення по ходу потоку, так і після неї, як показано на Рисунку 6.9. Відповідно, вбудована система знепилення здатна здувати накопичений пил з верхньої або з нижньої поверхні кожного шару каталізатора. Оскільки тривалий досвід роботи у Зольнхофені не підтвердив очікуваних переваг роботи перед системою знепилення по ходу потоку, потреби змінити напрямок потоку газу не виникало. Відповідно, майбутні реалізації СКВ для високих концентрацій пилу можна проектувати лише для роботи далі по ходу потоку за системою знепилення, і таким чином зменшити інвестиційні витрати.

Відновлювальний реагент – 25 %-ий водний розчин  $\text{NH}_3$  – додається до відпрацьованих газів на верхніх ступенях підігрівача з молярним відношенням від 0,8 до 0,9 необхідної стехіометричної кількості, залежно від витрати відхідних газів, початкової концентрації  $\text{NO}_x$  та цільового значення.

Перший набір каталізаторів пропрацював 40 000 годин без надто інтенсивного використання чи втрати активності. У ході пізніших експлуатаційних випробувань з пластинчастими каталізатори спостерігалось більш інтенсивне механічне використання та неочікувані втрати активності. Для того, щоб забезпечити дотримання граничної величини викидів (ГВВ) в умовах штатної роботи, у 2006 році на заводі у Зольнхофені було встановлено систему СНКВ для роботи у режимі резерву.

### **Переваги для навколишнього середовища, яких вдається досягти, та експлуатаційні параметри**

Ефективність зниження викидів  $\text{NO}_x$  за допомогою установки СКВ у Зольнхофені зазвичай знаходиться у діапазоні від 59 до 67 %. За нестандартних умов експлуатації та концентрацій в неочищених газах 3 000  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. і вище спостерігалися випадки, коли ефективність зниження викидів  $\text{NO}_x$  перевищувала 80 %. Під час нормальної роботи СКВ знижує викиди  $\text{NO}_x$  з концентрацій у неочищених газах на рівні 1 000 – 1 600  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. до приблизно 400 – 550  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. Слід зазначити, що установка у Зольнхофені була розрахована на дотримання граничної величини викидів  $\text{NO}_x$  у 500  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. і експлуатувалася відповідним чином, проте іноді траплялися перевищення граничної величини викидів у 500  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у.

За молярного відношення від 0,8 до 0,9 споживання  $\text{NH}_3$  значно менше, ніж у разі застосування СНКВ. Слід зазначити, що  $\text{NH}_3$ , який виділяється з сировини, також використовується як відновлювальний реагент у реакторі, тож рівень викидів залишкового  $\text{NH}_3$  дуже низький. На установці у Зольнхофені СКВ зазвичай знижувало викиди  $\text{NH}_3$  до менш ніж 1  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у.

У одній із кампаній дозування  $\text{NH}_3$  було збільшене відповідно до цільового рівня  $\text{NO}_x$  у 200  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. У цій кампанії рівень викидів вдалося знизити приблизно до 300  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у. Ці результати можуть вказувати на потенційні можливості цієї технології, особливо з урахуванням того, що їх було досягнуто лише з трьома каталітичними рівнями, а рівень викидів залишкового  $\text{NH}_3$  все рівно становив близько 1  $\text{mg}/\text{m}^3$  н. у.

### **Міжсередовищні наслідки**

Єдиним несприятливим міжсередовищним наслідком є незначне збільшення потреби в електроенергії, зумовлене роботою внутрішньої системи знепилення реактора СКВ та додатковими втратами тиску.

### **Застосування**

Станом на 2008 рік, СКВ було випробуване лише на пічних системах з підігрівачами, що працюють за напівсухим способом (печі Леполя), проте може бути застосовним і для інших пічних систем.

### **Економіка**

Загальні інвестиційні витрати на проєкт СКВ у Зольнхофені склали приблизно 3,5 мільйона євро, включно з додатковими витратами на перспективу майбутньої розробки, як-от можливість використання шести шарів каталізатора та здатність працювати як перед системою знепилення по ходу потоку, так і після неї. Інвестиційні витрати на нову установку, що буде створена на базі досвіду установки у Зольнхофені, за оцінками складають приблизно 2,2 мільйона євро на реактор СКВ, у тому числі приблизно 250 000

євро на каталізатори, які потрібно розраховувати з урахуванням витрат на заміну кожні 5 – 6 років. У цій сумі не враховані витрати на резервуар для зберігання аміаку та систему каналів для аміаку, оскільки вони значно різняться залежно від конкретного майданчика. Витрати на зниження викидів  $\text{NO}_x$  за допомогою СКВ чи СНКВ оцінені Німецьким федеральним агентством охорони навколишнього середовища (UBA) для потужності печі 1 500 т/добу та зниження викидів  $\text{NO}_x$  з 1 000 до 500  $\text{мг/м}^3$  н. у. на основі практичного досвіду роботи установки у Зольнхофені. Як показано в останніх двох стовпцях Таблиці 6.26, кошторис екстрапольований на зниження рівня  $\text{NO}_x$  до 200  $\text{мг/м}^3$  н. у.

За розрахунками Німецького агентства охорони навколишнього середовища (UBA), експлуатаційні витрати на СНКВ та СКВ – включно з витратами на заміну каталізатора – приблизно однакові для цільового рівня  $\text{NO}_x$  у 500  $\text{мг/м}^3$  н. у., в той час як загальні питомі витрати для СКВ приблизно на 50 % більші, ніж для СНКВ. За цільового рівня  $\text{NO}_x$  у 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. СКВ, вочевидь, є більш ефективною технологією з точки зору експлуатаційних витрат, однак загальні питомі витрати залишаються величиною того ж порядку, що й для СНКВ. При порівнянні цих цифр слід зазначити, що досвід роботи на рівні  $\text{NO}_x$  у 200  $\text{мг/м}^3$  н. у. поки що відсутній як для СКВ, так і для СНКВ. У випадку СНКВ також потрібно враховувати більші викиди  $\text{NH}_3$  [76, Німеччина, 2006]

Таблиця 6.25. Базові припущення за установкою СКВ у Німеччині

Базовий параметр	Одиниця вимірювання	Коефіцієнт
Продуктивність за клінкером	т/рік	480 000
Продуктивність за клінкером	т/добу	1 500
Час роботи	год./рік	7 680
Витрата відхідних газів	$\text{м}^3$ н. у./т	2 300
Початковий рівень $\text{NO}_x$	$\text{мг/м}^3$ н.у.	1 000
Початковий рівень $\text{NO}_x$	кг/т	2,3
Витрати на $\text{NH}_3$ (25 %-ий розчин)	євро/т	90,00
Витрати на каталізатор	євро/ $\text{м}^3$ н. у.	7 500
Термін корисної служби каталізатора	год.	40 000
Термін корисної служби інвестицій	роки	20
Рівень інфляції	%	3,0

Джерело: [76, Німеччина, 2006]

Таблиця 6.26. Порівняння витрат на технології зниження викидів  $\text{NO}_x$  – СНКВ та СКВ – за розрахунками Німецького агентства охорони навколишнього середовища (UBA) для німецького заводу

Порівняння витрат на СНКВ та СКВ					
Параметр	Одиниця вимірювання	СНКВ	СКВ	СНКВ	СКВ
Цільове значення $\text{NO}_x$	$\text{мг/м}^3$ н.у.	500	500	200	200
Еквівалент $\text{NH}_3$	кг/т	0,44	0,44	0,71	0,71
Стехіометричний коефіцієнт		1,7	0,8	2,5	1,0
Споживання $\text{NH}_3$ (25 %-ий розчин)	кг/т	3,02	1,42	7,11	2,84
Споживання $\text{NH}_3$ (25 %-ий розчин)	кг/добу	4,550	2,150	10,650	4,250
Кількість каталітичних шарів			3		4
<b>Експлуатаційні витрати</b>					
Споживання $\text{NH}_3$	євро/т	0,27	0,13	0,64	0,26
Споживання електроенергії	євро/т	0,03	0,10	0,06	0,11
Витрати на заміну каталізаторів	євро/т		0,10		0,13
УСЬОГО	євро/т	0,30	0,33	0,70	0,50
<b>Інвестиційні витрати</b>					
Аміачна система	євро	600 000	250 000	1 000 000	350 000
Реактор СКВ (крім каталізаторів)	євро		1 950 000		2 350 000
УСЬОГО	євро	600 000	2 200 000	1 000 000	2 700 000
Питомі інвестиційні витрати <sup>(1)</sup>	євро/т	0,08	0,30	0,14	0,37
Загальні інвестиційні витрати <sup>(2)</sup>	євро/т	0,38	0,62	0,83	0,87
Витрати на зниження викидів $\text{NO}_x$	EUR/т $\text{NO}_x$	330,00	540,00	450,00	470,00

<sup>(1)</sup> Питомі інвестиції

<sup>(2)</sup> Загальні експлуатаційні витрати та питомі інвестиційні витрати

Джерело: [76, Німеччина, 2006]

У розрахунку витрат для німецької цементної промисловості, виконаному Асоціацією німецьких інженерів (VDZ), представлений детальний підхід до витрат на технологій СКВ. Окрім інвестиційних витрат, у цьому дослідженні також розглядаються всі експлуатаційні витрати, у тому числі витрати на водоаміачний розчин, споживання електроенергії внаслідок використання стисненого повітря для очищення каталізатора та перепад тиску, створений самим каталізатором, а також інші типові показники економічної оцінки для цементного заводу.

Тут було показано, що витрати на СНКВ завжди нижчі, ніж на СКВ, якщо за основу взяті європейські ціни на енергію та  $\text{NH}_3$ . Теоретично, СКВ може стати менш витратним, ніж СНКВ, лише за дуже високих ступенів відновлення, якщо ціни на  $\text{NH}_3$  значно зростуть, а ціни на енергію знизяться. Проте у регіоні ЄС така ситуація, схоже, неможлива, оскільки витрати на аміак та енергію не протиставляються одне одному, а зазвичай збільшуються або зменшуються одночасно. Також можна продемонструвати, що заходи зі зниження викидів  $\text{NO}_x$  за допомогою первинних технологій ( $\sim 800 \text{ мг/м}^3$ , що становило середнє значення у Німеччині в 2007 році) покращили економічні аспекти використання СНКВ, оскільки витрати на СНКВ великою мірою визначаються витратами на аміак.

Результати, отримані для СКВ, передбачають рівні витрат в межах від 1,25 до 2,00 євро на тону, залежно від розміру заводу та необхідної ефективності видалення  $\text{NO}_x$ . На відміну від СНКВ, у технології СКВ переважають інвестиційні витрати – вони у чотири-дев'ять разів вищі, ніж для системи СНКВ. Крім того, спожита енергія витрачається головним чином на подолання перепаду тиску та підготовку повітря для очищення каталізатора. Найновіші питомі цифри для системи СКВ відображають розвиток цієї технології. Як показало більш раннє дослідження, виконане Асоціацією німецької цементної промисловості (VDZ), питомі витрати для СКВ склали 3 євро на тону клінкеру, хоча це значення зменшилося до приблизно 1,75 євро у 2006 році [76, Німеччина, 2006].

Витрати, розраховані Асоціацією німецької цементної промисловості для повномасштабної установки з потужністю печі 1 500 т/клінкеру/добу, початковими викидами  $1\,200 \text{ мг/м}^3$  н. у. та остаточним рівнем 200, 500 і  $800 \text{ мг/м}^3$  н. у., наведені у Таблиці 6.27.

**Таблиця 6.27. Розрахунки витрат для зниження викидів  $\text{NO}_x$  за допомогою СКВ на німецькому цементному заводі потужністю 1 500 т/добу**

Технологія	Застосування у пічних системах	Ефективність зниження викидів	Повідомлені витрати	
			Інвестиційні витрати (мільйони євро)	Експлуатаційні витрати (євро)
СКВ	Можливо, всі	85 – 95 %	3,2 – 4,2	0,54 – 0,94

*Джерело:* [76, Німеччина, 2006]

## 6.2.6 Виробництво цементу – вказівки щодо керування відключеннями за рівнем CO

Під час виробництва цементу сухим методом гарячі відхідні гази у більшості випадків надають тепло для сировинного млина (робота у сумісному режимі). Якщо сировинний млин не працює (пряма робота), гази зазвичай охолоджуються шляхом розбризкування води у колоні-кондиціонері, а потім очищаються у пиловловлювачі – як для зменшення їх об'єму газу, так і для покращення їх осадних характеристик, які є особливо важливими для електрофільтрів.

Відхідні гази печі / сировинного млина складаються з різних сполук, таких як CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, водяна пара та кисень. У набагато менших кількостях вони містять NO та SO<sub>x</sub>, а також CO. CO міститься в димових газах з концентраціями до 0,1 % і додатково утворюється з вуглецю, що міститься в сировині.

Термін «відключення за рівнем CO» застосовується до електрофільтрів та певною мірою до комбінованих фільтрів, оскільки вони з міркувань безпеки повинні вимикатися на час підвищених рівнів CO у димових газах. Таке вимкнення, у свою чергу, призводить до збільшення викидів пилу, тривалість якого буває порядку від кількох секунд до кількох хвилин. Автоматичний пристрій для моніторингу рівня CO повинен безперервно здійснювати моніторинг димових газів. Якщо цей пристрій оптимізований за часом реагування, а також за процедурою вимкнення, і отримує належне технічне обслуговування, електрофільтр працюватиме згідно з його технічними характеристиками. Застосовуючи такий пристрій у печах з вторинним випалюванням, можна забезпечити додаткову експлуатаційну надійність фільтрів шляхом послідовного вимкнення системи випалювання під час відключення за рівнем CO.

### 6.2.6.1 Цілі скорочення перебоїв у роботі – відключення за рівнем CO

Монооксид вуглецю, що утворюється з будь-яких органічних речовин у сировині, викидається з пічними газами. Однак, на додачу до фонових рівнів CO, можливі додаткові відключення за рівнем CO – вони виникають, якщо подавання палива та/або регулювання частки повітря для згорання не виконується належним чином. Відключення за рівнем CO можуть траплятися з інтервалом у кількох хвилин або навіть секунд, швидко досягаючи граничного рівня перебоїв у роботі (див. розділи 1.3.4.1.1 ).

Таким чином, основна ціль полягає в тому, щоб заздалегідь мінімізувати перебої у роботі – і, зрештою, не допустити вибухів в електрофільтрі – організаційними методами. Відповідно, важливо керувати рівнем CO у цементній печі, особливо якщо для зниження викидів твердих часток використовуються електрофільтри. Якщо відключення за рівнем CO неможливо придушити, необхідно звернути особливу увагу на будь-які джерела займання, особливо на обладнання електрофільтрів, що працює під високою напругою. Відключення обладнання високої напруги як таке є крайнім заходом, до якого вдаватися небажано. Іншими потенційними джерелами займання можуть бути статичні заряди, зумовлені тертям твердих тіл між собою, або також роботою вентиляторів, які можуть виникати в будь-якій системі пилоуловлювання.

Критична межа загалом становить >8 % CO – або CH<sub>4</sub> – у присутності >6 % O<sub>2</sub>. На практиці сигнал відключення за рівнем CO швидко проходить через газовий тракт і досягне критичної зони для джерела займання до того, як система аналізу зможе вивести аварійний сигнал. Тому рівень спрацювання повинен бути значно нижчим, ніж теоретичний рівень, а крім того, залежить від концентрацій CH<sub>4</sub> та H<sub>2</sub>, особливо у випадку, коли в якості палива використовується природний газ. У деяких випадках відключення електрофільтра трапляється значно нижче критичної межі, а в інших випадках системи електрофільтрів можуть бути неналежно захищені.

Рівень відключення обладнання високої напруги залежить від часу нечутливості, який, у свою чергу, залежить від розташування, типу та компонування обладнання для аналізу. Чим довший час реагування обладнання, яке виконує аналіз, і чим коротший час витримки від точки аналізу до джерела займання, тим нижчим повинен бути рівень спрацювання.

Вишукування показують, що перебої трапляються головним чином на етапі пуску в експлуатацію. Тому для безпечної роботи вкрай важливо, щоб газоаналізатори для захисту електрофільтрів перебували в роботі на всіх етапах експлуатації, а не лише в нормальному

режимі роботи. Для зниження часу простоювання заводу також може бути корисно тримати в робочому стані резервну систему.

#### **6.2.6.2 Стратегія проєктно-конструкторських робіт з мінімізації рівнів CO**

Для скорочення часу простоювання електрофільтрів потрібно застосовувати систематичний покроковий підхід, як описано нижче:

- встановити цілі та оцінити ситуацію з основними факторами, що впливають на відключення за рівнем CO, такими як причини відключення за рівнем CO внаслідок неправильного подавання палива чи поганого згорання;
- порівняти та оцінити поточну і оптимальну ситуації; виявити потенційні можливості для оптимізації та встановити пріоритети – аналіз прогалин (gap-аналіз);
- оптимізувати технологічний процес і систему аналізу таким чином, щоб забезпечити їх експлуатаційну готовність, надійність та швидкість; оптимізувати технології реагування.

На етапі оцінки, крім статистики утворення CO, потрібно знати розташування, надійність, ступінь готовності та динамічну поведінку обладнання, яке виконує аналіз, а також мати інформацію про паливо та технологічний процес. Ці дані можна зіставляти для виявлення причин та розробки технологій протидії.

Відключення за рівнем CO може бути спричинене роботою системи згорання в неусталеному режимі. Це можливо у разі використання будь-якого палива, проте особливо характерно для твердого палива. Тому системи подавання палива повинні бути сконструйовані таким чином, щоб не допускати різкого викидання палива в пічну систему у жодний момент. З цієї точки зору особливо важливими факторами є властивості твердого палива, що визначають його рух через систему: їх необхідно ретельно контролювати, щоб уникнути затримок у роботі чи забивання систем підготовки та подавання палива. Проте не менш важливо підтримувати якомога нижчий рівень викидів CO у нормальному режимі, щоб збільшити відстань до рівня спрацювання, а відтак залишити більше часу для реагування. Це робиться шляхом удосконалення згорання – наприклад, шляхом оптимізації та забезпечення якості палива, що подається в піч, властивостей та конфігурації паливників, пічної тяги, температури згорання та часу перебування в печі.

#### **6.2.6.3 Система моніторингу рівнів CO**

Ідеальна система моніторингу рівнів CO повинна мати короткий час реакції та бути розташованою поблизу джерела CO – наприклад, на виході башти підігрівача, або на завантажувальному кінці печі, якщо піч працює за мокрим способом. При цьому все рівно потрібно провести аналіз часу нечутливості всієї системи – у тому числі часу витримки за рахунок об'єму каналу. Час нечутливості, потрібний для того, щоб газова проба CO пройшла від точки всмоктування до аналізатора, в ідеалі повинен бути в районі 20 – 30 секунд (час запізнення аналізу). Якщо до цього значення додати ще 10 – 30 секунд часу запізнення для урахування часу реакції аналізатора, отримаємо максимальний загальний час нечутливості, який проходить до моменту досягнення 85 % максимального значення. Від загального часу нечутливості залежить, коли система повинна спрацювати – так, щоб це було не занадто рано і не занадто пізно. Більш детальний аналіз нахилу кривої сигналу CO дає змогу точніше спрогнозувати, коли повинна вимикатися система високої напруги електрофільтра, і коли її знову можна повернути в роботу на повній потужності – а отже, врахувати момент, коли процес відключення за рівнем CO виходить з критичної зони.

Час запізнення моніторингу рівня CO можна зменшити шляхом збільшення витрати проб, скорочення відстані від точки відбору проб до аналізатора, зменшення внутрішнього об'єму системи аналізу та забезпечення швидкого сигналу електронного звітування. На ринку доступні швидкі системи для аналізу на місці з часом реакції <3 секунд, проте для них існують обмеження на роботу в умовах сильно насичених пилом газів. Загалом вкрай важливо дотримуватися суворого режиму технічного обслуговування та калібрування. Проте діапазони та компоненти аналізаторів повинні бути такими, щоб аналізатор правильно працював з критичними межами – до 5 % для CO та 3 % для CH<sub>4</sub> відповідно.

#### 6.2.6.4 Заходи, яких потрібно вживати у випадку відключення за рівнем CO

Приклади первинних технологій, які можна використовувати для запобігання відключенням за рівнем CO в електрофільтрах, описані у Таблиці 6.28. Стандартні поетапні дії можуть передусім полягати у зменшенні кількості палива, що подається в піч, та зниженні рівня високої напруги. Після цього подавання палива повністю перекривається, і трансформатори високої напруги автоматично вимикаються. Далі систему потрібно продути: для цього вентилятори повинні продовжувати працювати. Необхідний час продування можна визначити таким же чином, як і час запізнення.

Таблиця 6.28. Приклади первинних технологій для запобігання відключенням за рівнем CO в електрофільтрах

Первинні технології для запобігання відключенням за рівнем CO		
Точка вимірювання	Рівень CO (%)	Захід
У башті підігрівача	0,5	Аварійний сигнал, вимкнення системи випалювання у попередньому кальцинаторі / у завантажувальному кінці печі
	1,2	Вимкнення основної системи випалювання
	2,5	Вимкнення електрофільтра високої напруги
Після башти підігрівача	0,5	Аварійний сигнал, вимкнення системи випалювання у попередньому кальцинаторі / у завантажувальному кінці печі
	0,8	Вимкнення основної системи випалювання
	1,5	Вимкнення електрофільтра високої напруги
	0,5	Повторний пуск обладнання високої напруги електрофільтра

*Джерело:* [60, VDI 2094, Німеччина, 2003], [83, SEMBUREAU, 2006]

#### 6.2.6.5 CO та CH<sub>4</sub> у рукавних фільтрах

З рукавними фільтрами, що експлуатуються в надкритичних атмосферах, також можуть виникати проблеми. Тому робочий рівень CO також слід підтримувати якомога нижчим. Як і в випадку з електрофільтрами, наявність додаткових займистих газоподібних сполук, таких як CH<sub>4</sub> і H<sub>2</sub>, знижує критичний рівень, тобто якщо в системі є приблизно 2 % водню, критичний рівень знижується до 5 %.

Потенційними джерелами займання, специфічними для рукавних фільтрів, можуть бути статичні заряди, спричинені тертям у штучних фільтрах або, у випадку комбінованих фільтрів (поєднання електрофільтра з рукавним фільтром), накопиченим статичним зарядом на мішках. Для запобігання перебоєм у роботі, особливо вугільних млинів, мішки обладнуються сіткою з волокон, виготовлених з нержавіючої сталі, або провідною поверхнею і заземлюються на комірчасту пластину мішкової камери. Аналогічним чином, у комбінованих пиловловлювачах також рекомендується заземлювати опорну клітку мішків на комірчасту пластину.

Як і у випадку з системою електрофільтра, CO потрібно видувати. Вугільні млини бажано продувати інертним газом, таким як пічний газ, CO<sub>2</sub> або N<sub>2</sub> [83, SEMBUREAU, 2006].

### 6.3 Додатки: виробництво вапна

#### 6.3.1 Виробництво вапна – розподіл концентрацій металів у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

На наведених нижче рисунках (Рисунок 6.10 – Рисунок 6.25) показано відповідний розподіл концентрацій різних металів у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27 (також див. розділ 2.3.3.9) [56, EuLA, 2006].

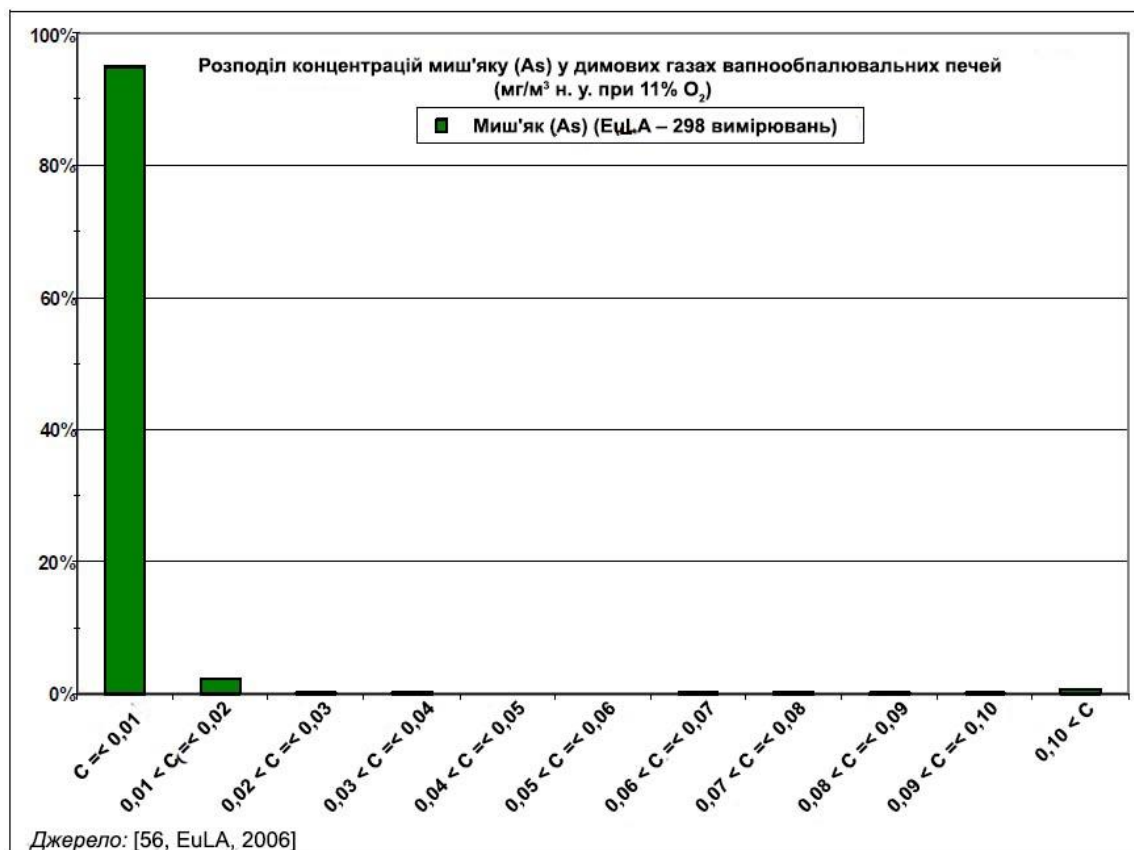


Рисунок 6.10. Розподіл концентрацій арсену у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

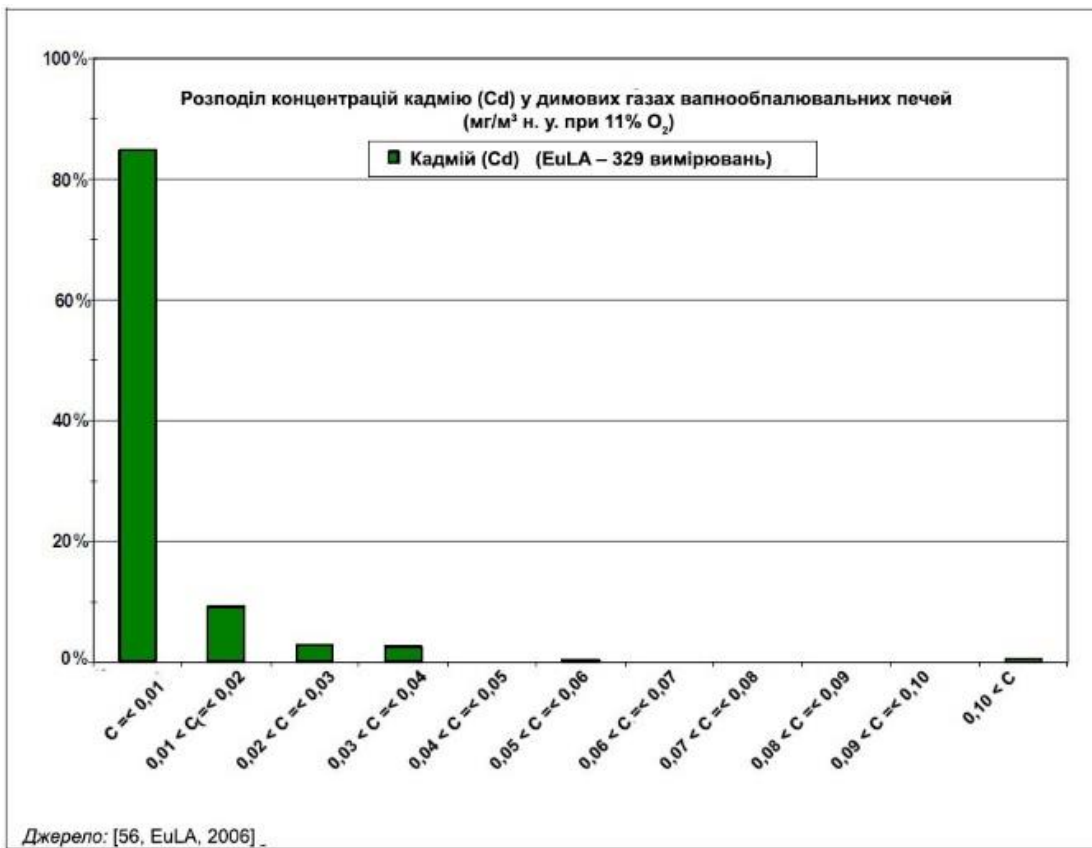


Рисунок 6.11. Розподіл концентрацій кадмію у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

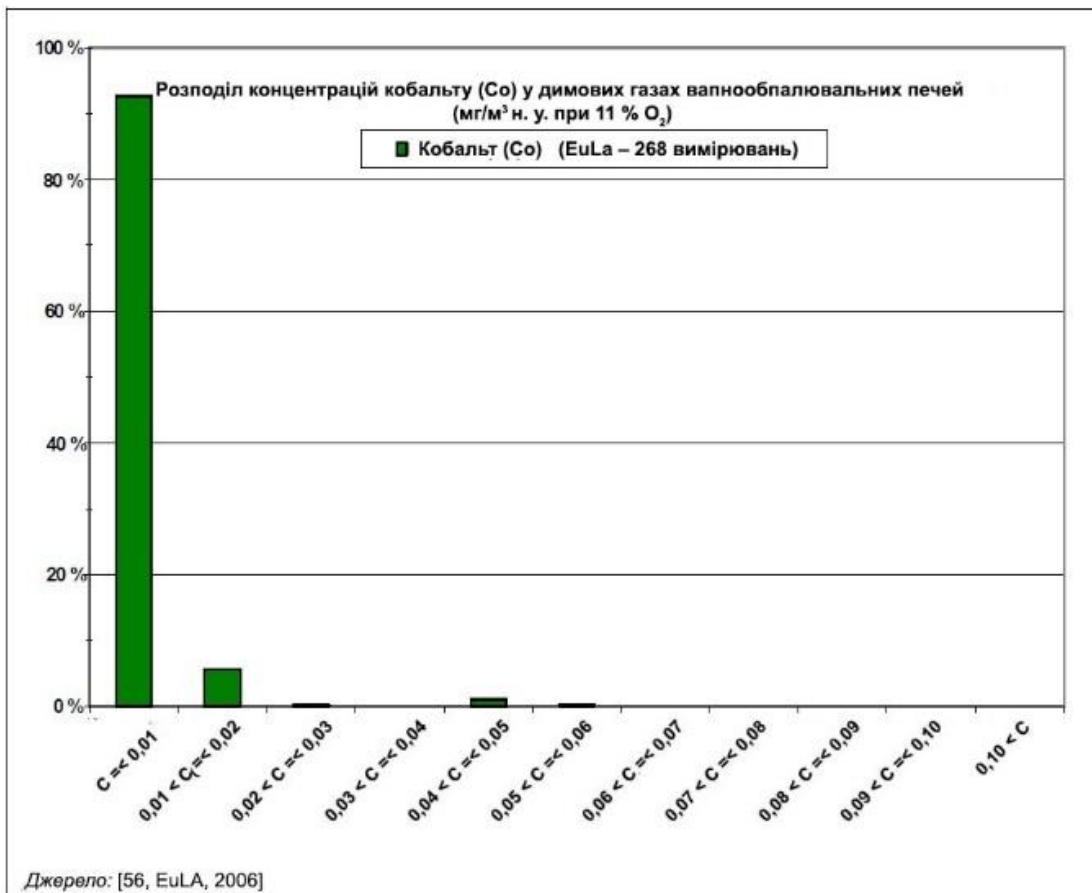


Рисунок 6.12. Розподіл концентрацій кобальту у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27



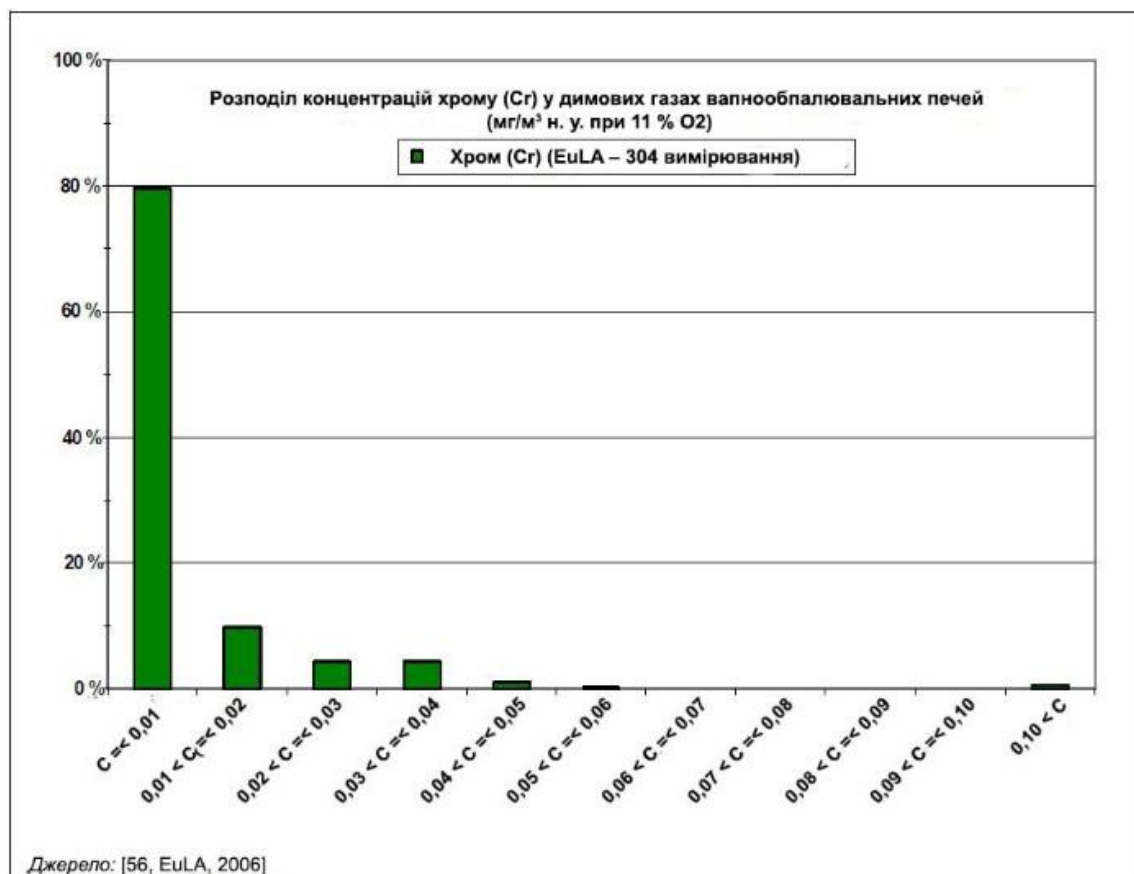


Рисунок 6.13. Розподіл концентрацій хрому у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

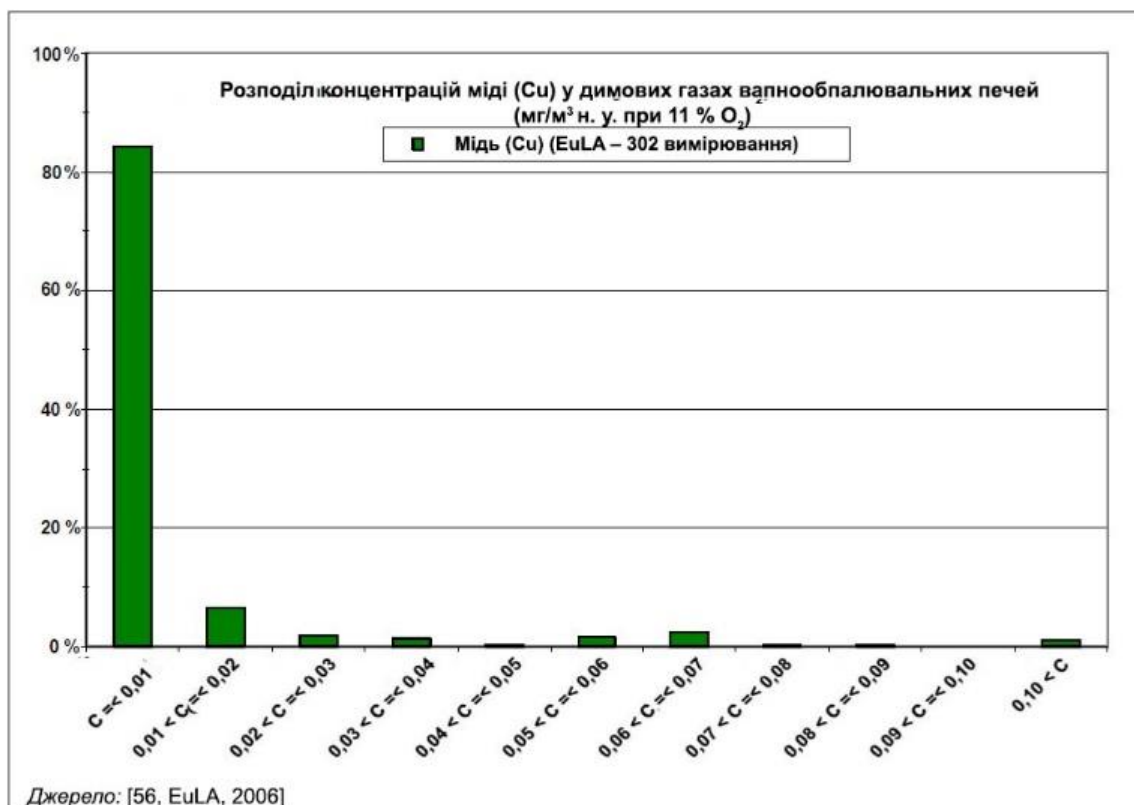


Рисунок 6.14. Розподіл концентрацій міді у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

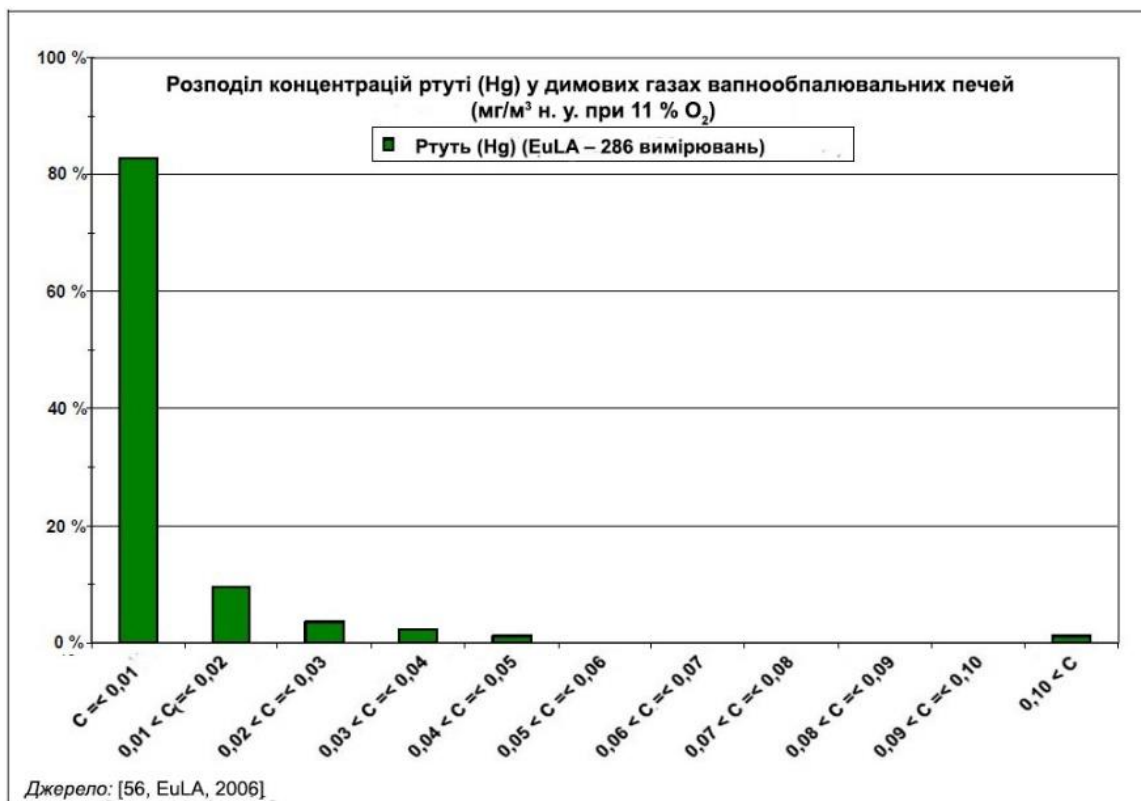


Рисунок 6.15. Розподіл концентрацій ртуті у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

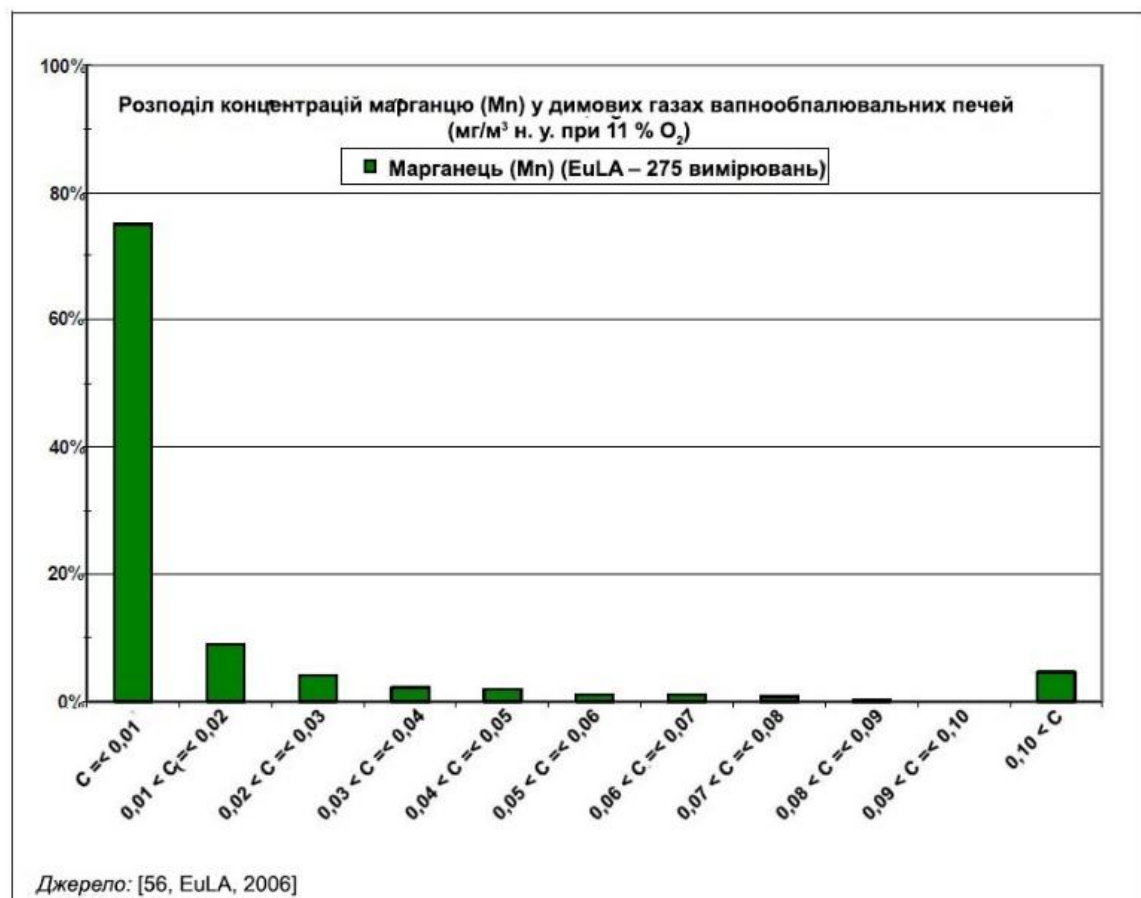


Рисунок 6.16. Розподіл концентрацій марганцю у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

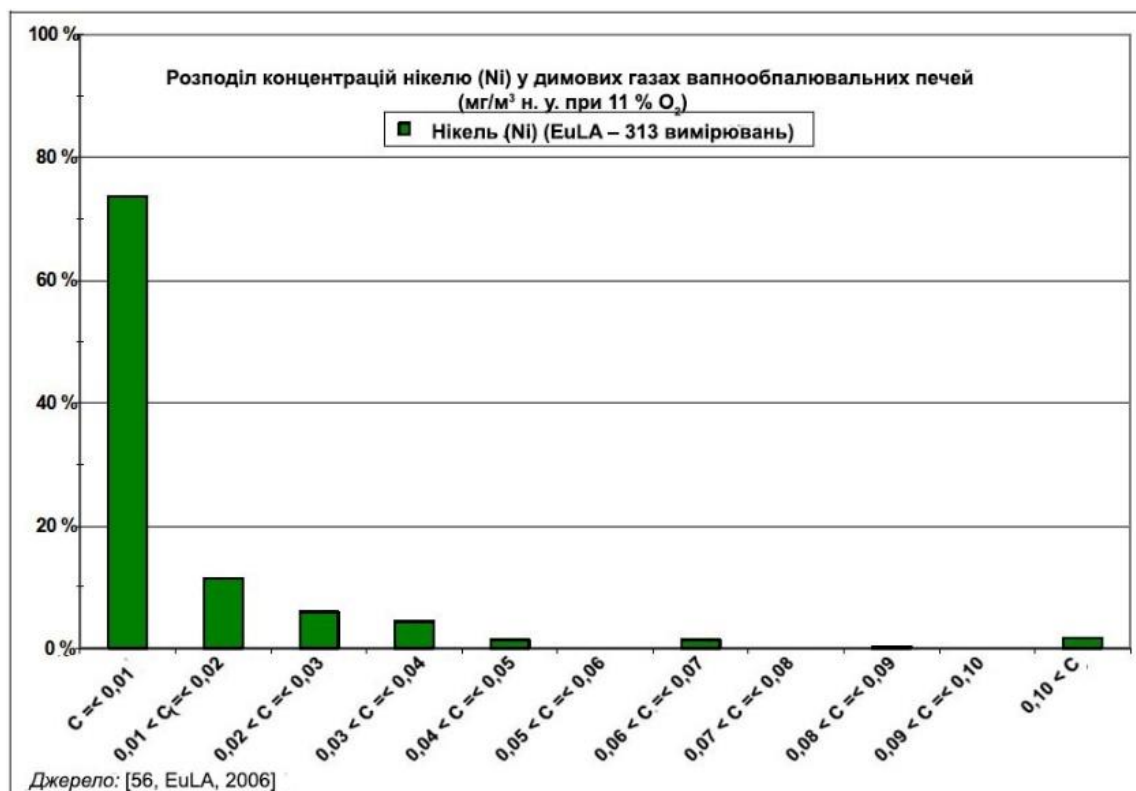


Рисунок 6.17. Розподіл концентрацій нікелю у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

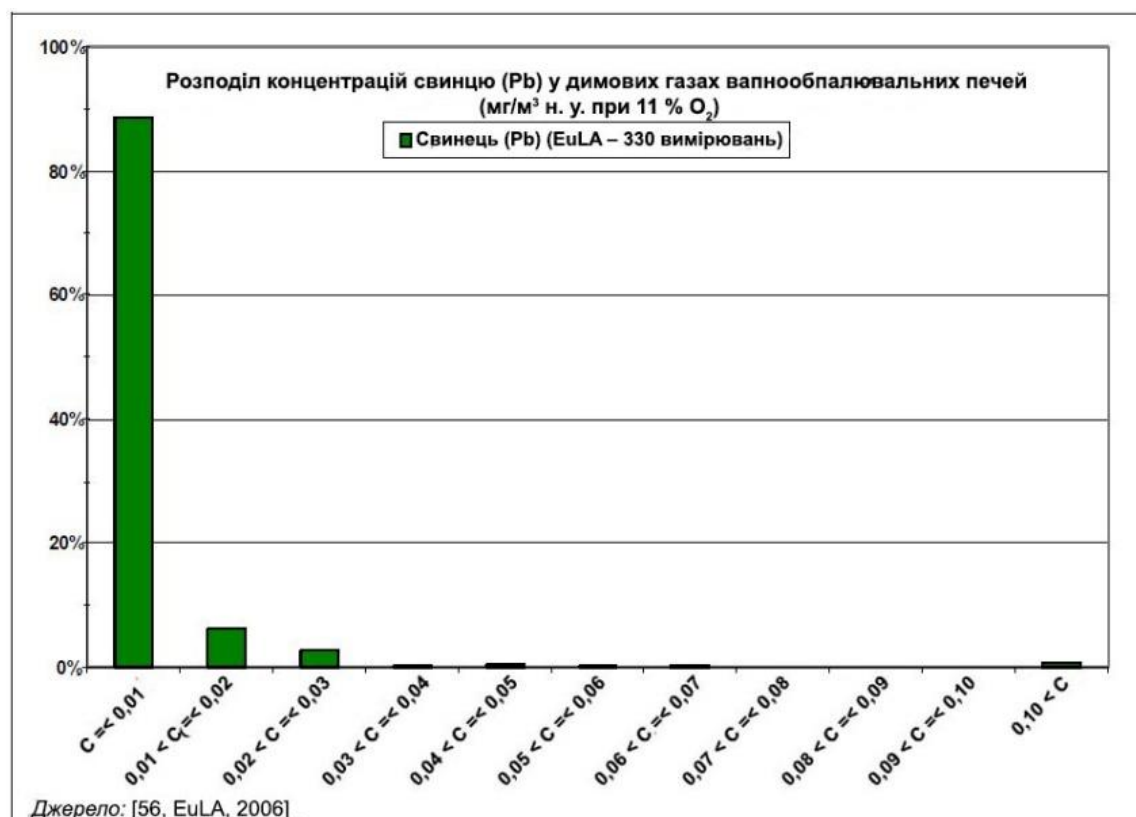


Рисунок 6.18. Розподіл концентрацій свинцю у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

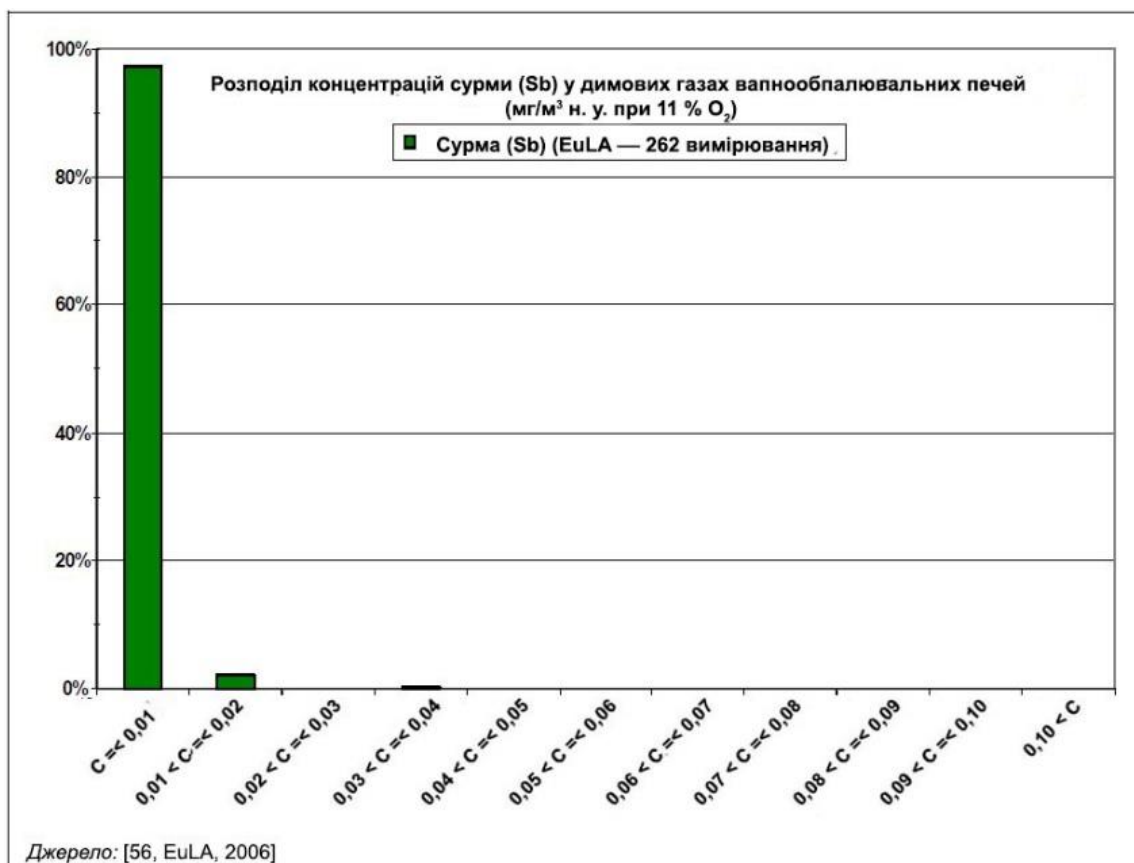


Рисунок 6.19. Розподіл концентрацій стибію у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

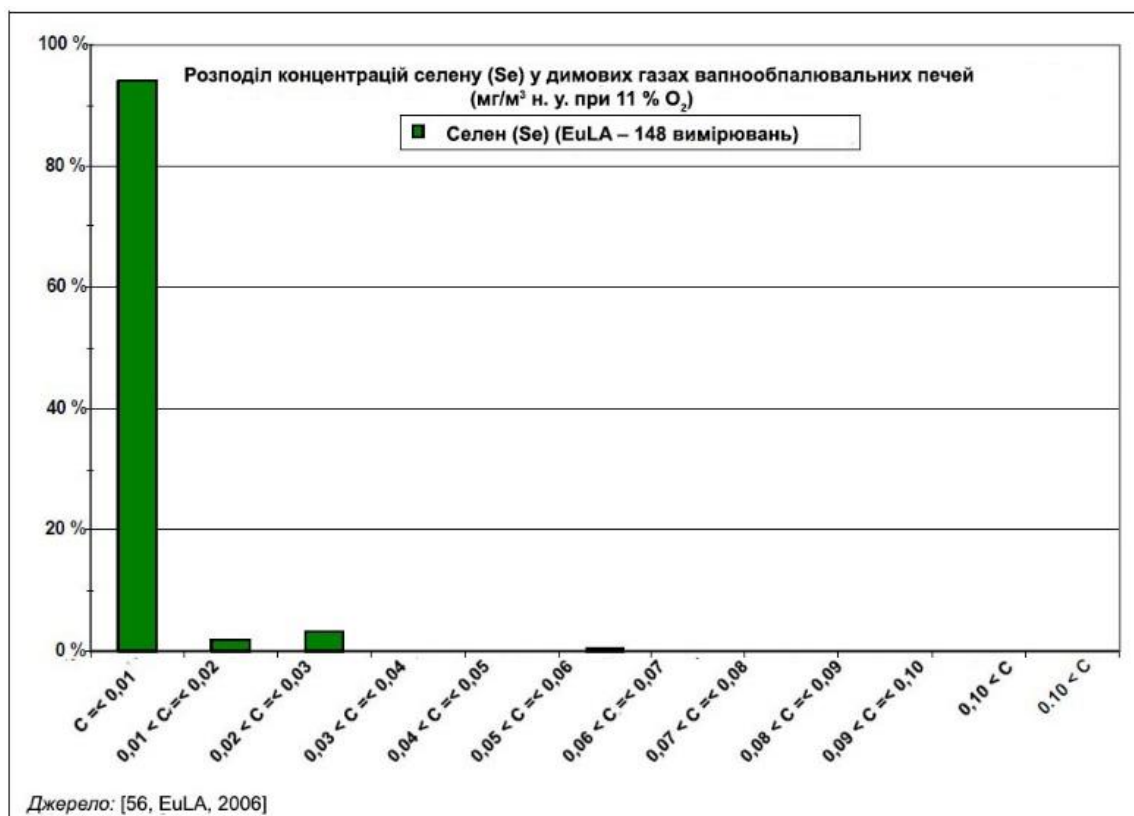


Рисунок 6.20. Розподіл концентрацій селену у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

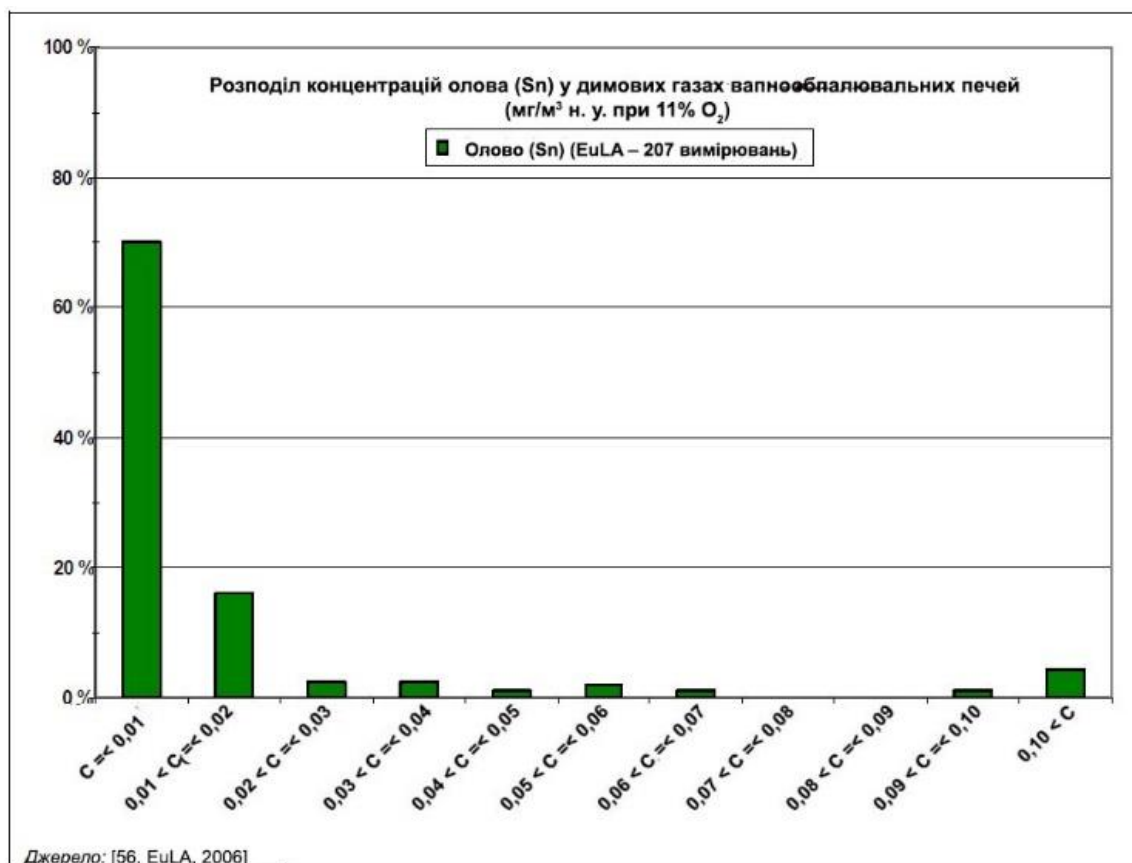


Рисунок 6.21. Розподіл концентрацій олова у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

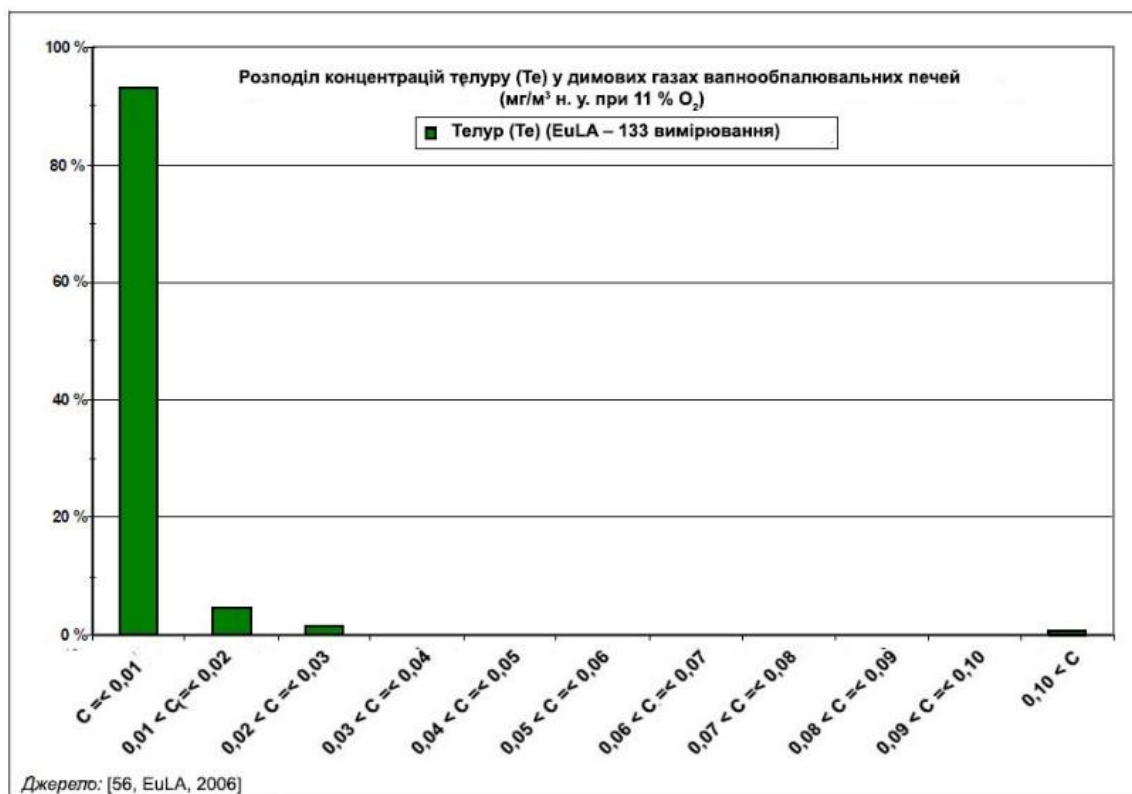


Рисунок 6.22. Розподіл концентрацій телуру у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

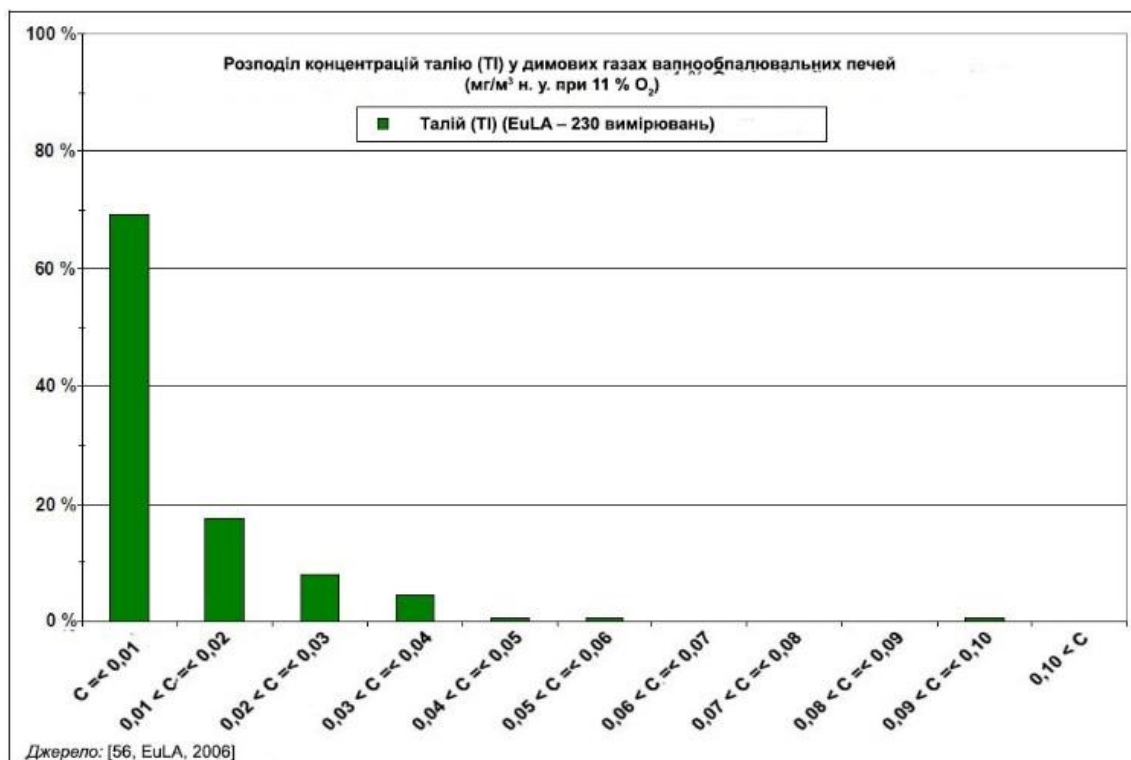


Рисунок 6.23. Розподіл концентрацій талію у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

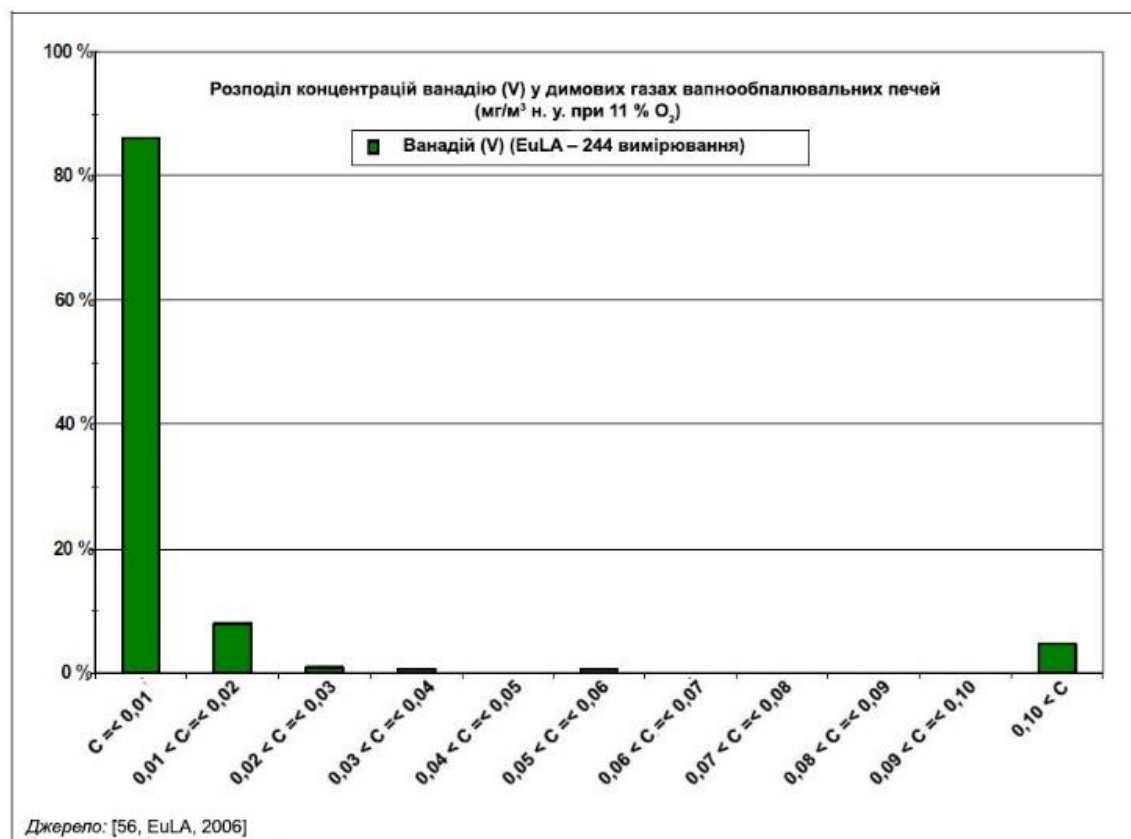


Рисунок 6.24. Розподіл концентрацій ванадію у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

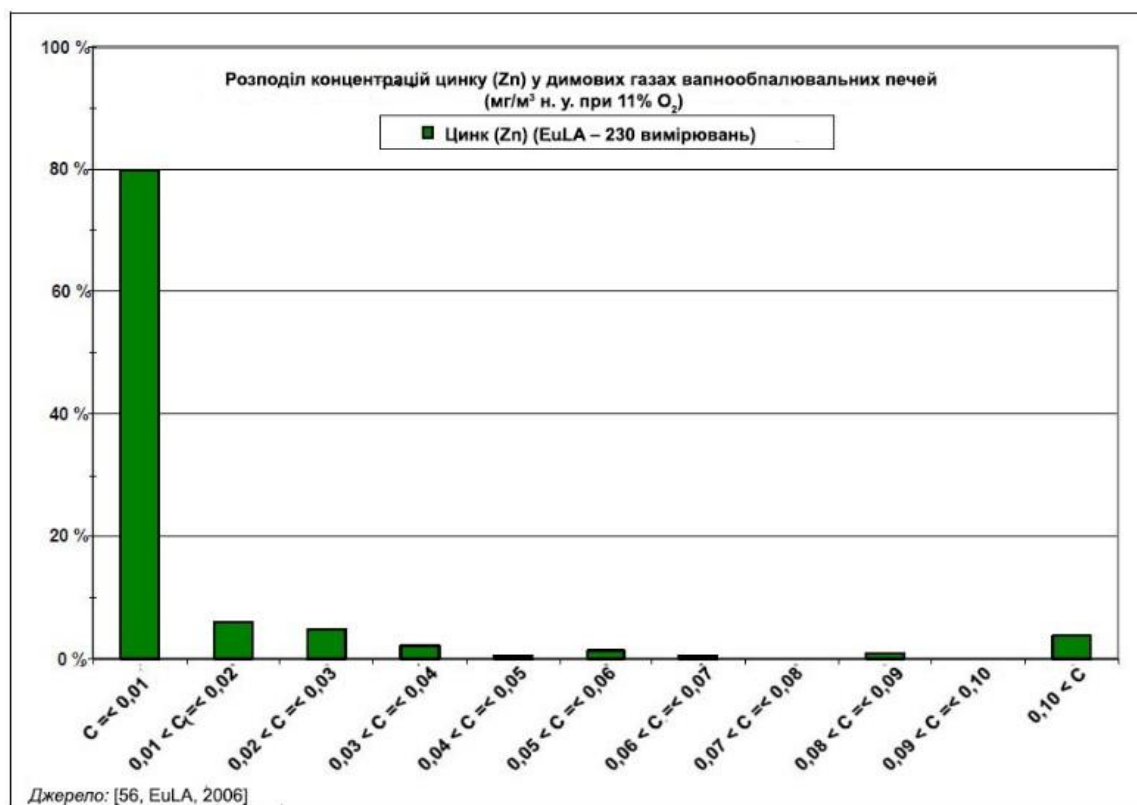


Рисунок 6.25. Розподіл концентрацій цинку у димових газах печей випалу вапна у країнах ЄС-27

## 6.3.2 Виробництво вапна – дані для конкретних заводів

### 6.3.2.1 Приклади характеристик сировини

Приклад складу вапняку, що використовувався у якості сировини на угорському вапняному заводі, наведено у Таблиці 6.29.

Таблиця 6.29. Приклад складу сировини, що використовується на угорському заводі виробництва вапна

Параметр	Одиниця вимірювання	Кількість
SiO <sub>2</sub>	%	0,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,27
TiO <sub>2</sub>	%	0,01
CaO	%	54,94
MgO	%	0,91
K <sub>2</sub> O	%	0,01
Na <sub>2</sub> O	%	0,01
SO <sub>3</sub>	%	0,10
CO <sub>2</sub>	%	43,05
Cl <sup>-</sup>	%	<0,01
Втрати при прожарюванні	%	43,11

Джерело: [70, Угорщина, 2006]

### 6.3.2.2 Використання відходів у якості палива – приклади прийнятного вмісту забруднюючих речовин

У Таблиці 6.30 наведені приклади з Німеччини, у яких перелічені параметри та вміст забруднюючих речовин, прийнятних для різних типів відходів, тобто відпрацьованого мастила та розчинників, тваринного жиру та тваринної муки (кісткової муки). Крім того, у Таблиці 6.31 наведені приклади дозвільних критеріїв для речовин разом з теплотою згорання різних видів палива з відходів, які використовуються на німецьких заводах виробництва вапна.

Таблиця 6.30. Типовий вміст забруднюючих речовин, прийнятний для розчинників і відпрацьованого мастила, тваринного жиру та тваринної муки (кісткової муки), що використовуються на німецьких заводах виробництва вапна

Параметр	Одиниця вимірювання	Відпрацьоване мастило та розчинники		Тваринний жир	Тваринна мука (кісткова мука) <sup>(2)</sup>
		Вміст забруднюючої речовини		Вміст забруднюючої речовини	Вміст забруднюючої речовини
		Середній	Мінімум – максимум	Мінімум – максимум	Мінімум – максимум
Вміст води	масовий %	5	3 – 9		3,0 – 5,7
Коксовий залишок	масовий %	1	0,6 – 1,4		
Вуглець	масовий %				1,0 – 59,0
Вміст золи	масовий %	0,8	0,4 – 1,2		3,2 – 38,5
Сірка	масовий %	0,8	0,5 – 1,2	<0,01 – 0,03	
Хлор	масовий %	0,2	0,05 – 0,4	25 – 32	0,18 – 0,37
Фтор	масовий %				0,02 – 0,10
Азот	масовий %			460 – 590	
<b>Метали</b>					
Кадмій	мг/кг	0,1	<1	<0,001 – 0,05	
Талій	мг/кг	<0,5	<1	<0,001 – 0,1	0,1 – 10,0
Ртуть	мг/кг	<0,1	<0,5	<0,01 – 0,8	0,05 – 1,0
Стибій	мг/кг	<1	<5		0,4 – 10,0
Арсен	мг/кг	<0,1	<1		
Свинець	мг/кг	51	<100		0,7 – 10,0
Хром	мг/кг	3	<10		3,0 – 63,0
Кобальт	мг/кг	1	<5		0,1 – 9,0
Мідь	мг/кг	120	<250		5,2 – 50,0
Манган	мг/кг	5	<10		5,6 – 45,0
Нікель	мг/кг	2	<10		1,0 – 39,0
Ванадій	мг/кг	<1	<1		1,1 – 20,0
Олово	мг/кг	<4	<4		0,3 – 7,2
Арсен	мг/кг				0,6 – 11,0
Кадмій	мг/кг				0,1 – 1,0
∑ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	мг/кг	<188	<400	<0,1 – 0,9	
∑ Ni, V	мг/кг			<0,2	
Загальний вміст ПХБ <sup>(1)</sup>	мг/кг	10	25		

<sup>(1)</sup> Згідно з DIN EN 12 766, частина 2, процес В

<sup>(2)</sup> Паливо з відходів: мука з матеріалів особливого ризику (кісткова мука), теплота згорання:

- мін.=14 МДж/кг
- макс.=21,5 МДж/кг

Джерело: [155, Німеччина, 2007]



**Таблиця 6.31. Приклади дозвільних критеріїв (медіанне та максимальне значення) для речовин у різних видах палива з відходів, що використовуються на німецьких цементних заводах**

Параметр	Паливо з відходів 1		Паливо з відходів 2		Паливо з відходів 3		Паливо з відходів 4	
	Медіанне значення	Максимальне значення	Медіанне значення	Максимальне значення	Медіанне значення	Максимальне значення	Медіанне значення	Максимальне значення
	(мг/кг)							
Hg	0,4	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,6	1,2
Cd	4,0	15,0	4,0	15,0	4,0	10,0	4,0	9,0
Pb	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	2,0
As	5,9	10,0	5,0	10,0	5,0	15,0	5,0	13,0
Co	5,0	10,0	5,0	10,0	5,0	10,0	6,0	12,0
Ni	20,0	100,0	20,0	100,0	20,0	100,0	25,0	50,0
Sb	40,0	100,0	40,0	100,0	25,0	60,0	25,0	60,0
Pb	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	70,0	200,0
Cr	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	120,0
Cu	100,0	250,0	90,0	250,0	90,0	500,0	120,0	300,0
Mn	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0
V	10,0	20,0	10,0	20,0	10,0	20,0	10,0	25,0
Sn	15,0	50,0	15,0	50,0	15,0	75,0	30,0	70,0
Загальний вміст Cl	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0
Загальний вміст F	250,0	500,0	250,0	500,0	250,0	1 000,0	250,0	1 000,0
Be	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	2,0
Zn	400,0	500,0	400,0	500,0	400,0	1000,0	400,0	1 000,0
ПХБ		<3		<1		<1		<1
	(% за вагою)							
Волога	8,0	<10,0	11,0	<12,5	18,0	<20,0	18,0	<20,0
Вміст золи	6,0	<7,0	8,0	<9,0	11,0	<15,0	11,0	<15,0
Загальний вміст S	0,3	<0,5	0,3	<0,5	0,2	<0,3	0,2	<0,3
	(МДж/кг)							
Теплота згорання <sup>(1)</sup>	25 – 31		23 – 29		20 – 24		18 – 22	
Медіанне значення: значення 50-ого перцентилля на основі практичного досвіду з урахуванням можливих відмінностей у складі палива з відходів								
Максимальне значення: значення 100-ого перцентилля								
<sup>(1)</sup> Мін. – макс.								
Джерело: [50, Німеччина, 2006]								

### 6.3.2.3 Приклади даних про споживання ресурсів та викиди

#### Споживання енергії

У Таблиці 6.32 наведено експлуатаційні параметри та питому потребу в енергії для австрійських печей випалу вапна у 2004 році. У цих різних типах печей випалу вапна у якості використовується природний газ, важкий мазут та/або кокс.

**Таблиця 6.32. Експлуатаційні параметри та питома потреба в енергії для австрійських печей випалу вапна у 2004 році**

Параметр	Одиниця вимірювання	Прямоточні регенеративні печі	Кільцеві шахтні печі	Інші шахтні печі
Потужність однієї печі	т/добу	150 – 390	140 – 220	100 – 200
Питома потреба в енергії	МДж/т <sub>вапна</sub>	3 500 – 3 800	4 200 – 4 700	3 800 – 5 100
Види палива, що використовувалися		Природний газ, важкий мазут	Природний газ, важкий мазут	Природний газ, кокс
Річна кількість використано го палива (усі печі)	Природний газ	мільйони м <sup>3</sup> н. у.	46	12
	Важкий мазут	т	4 000	4 500
	Кокс	т	-	-
Джерело: [66, Австрія, 2006]				

Потреба в енергії для обпалювання вапна в Австрії у середньому складає близько 3 760 МДж/т вапна. Кореляція між розміром печі та потребою в енергії не така значна, як при виробництві цементу, оскільки втрати а рахунок випромінювання у цьому випадку нижчі. Одним із факторів, що впливають на потребу в енергії, є остаточний вміст CO<sub>2</sub> у продукції; він залежить від реактивності вапняного продукту. Потреба в енергії більша для сильно випаленого вапна, ніж для м'яко випаленого вапна. Потреба в енергії також залежить від залишкового рівня CO<sub>2</sub>. Нижча потреба в енергії для прямоочних регенеративних печей, і частково для інших печей, зумовлена високим залишковим вмістом CO<sub>2</sub> (>5 %) у продукції. У разі виробництва вапна з низьким залишковим вмістом CO<sub>2</sub> потреба в енергії збільшується [66, Австрія, 2006], [168, ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію», 2007].

Приклади споживання енергії при виробництві вапна в Іспанії, виражені як середні значення, наведені у Таблиці 6.33. Зважене середнє значення, розраховане для іспанських печей випалу вапна, становить 3,984 ГДж/тону вапна. Для періоду 2008 – 2012 років очікується значення у 3,681 ГДж/тону вапна [55, Іспанія, 2006].

**Таблиця 6.33. Споживання енергії різними типами печей випалу вапна в Іспанії**

Тип печі	Кількість	Відсоток (%)	Оновлене споживання енергії ГДж/тону вапна		
			Мінімум	Середнє	Максимум
Довгі обертові печі (ДОП)	4	7		6,6 <sup>(1)</sup>	
Обертові печі з підігрівачем (ОПП)	1	2	5,4	-	-
Прямоточні регенеративні печі (ПРП)	35	61	3,534	3,752	3,889
Кільцеві шахтні печі (КШП)	2	4	3,958	4,156	4,355
Шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	-	-	-	-	-
Інші печі (ІП) <sup>(2)</sup>	15	26	4,085	4,150	4,268

<sup>(1)</sup> Компанії за межами Іспанії. Значення споживання енергії прийнято рівним приблизно 6,6 ГДж/тону вапна  
<sup>(2)</sup> Інші шахтні печі  
*Джерело:* [55, Іспанія, 2006]

Порівняння викидів, виявлених у результаті спостережень в окремих країнах-членах ЄС

Приклади типових викидів з печей випалу вапна різних типів у Німеччині наведені у Таблиці 6.34.

Таблиця 6.34. Типові приклади викидів з печей випалу вапна у Німеччині

Тип печі	Концентрація викидів <sup>(3)</sup>				
	NO <sub>x</sub> (мг/м <sup>3</sup> н. у.) <sup>(1)</sup>	СО (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	ПХ/ДЛ/Ф (нг I-ТЕQ/м <sup>3</sup> н. у.)	НСІ <sup>(5)</sup> (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	НF (мг/м <sup>3</sup> н. у.)
<b>Негашене вапно (від м'яко випаленого до сильно випаленого)</b>					
Довгі обертові печі (ДОП)	≤500	<1 000	<0,1	<50	<1
Обертові печі з підігрівачем (ОПП) <sup>(2)</sup>	≤1 500	<1 000	<0,1	<20	<1
Прямоточні регенеративні печі (ПРП)	<100 – <400	<1 000	0,001 – <0,1	<10	<1
Кільцеві шахтні печі (КШП)	<100 – <500	1 000 – <3 000	0,003 – <0,1	<40	<2
Шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	<100 – <500	6 000 – 42 000	0,01 – <0,1 <sup>(4)</sup>	<20	<1
Інші печі (П):					
• багатоканерна шахтна піч	<500	<2 000	Дані відсутні	Дані відсутні	Дані відсутні
• шахтна піч з подвійною похилою камерою	300 – <500	<2 000	0,001 – <0,1	<10	<1
<b>Доломітове вапно (від м'яко випаленого до спеченого)</b>					
Довгі обертові печі (ДОП)	-	-	-	<150	<1
Обертові печі з підігрівачем (ОПП)	-	-	-	<30	<1
Шахтні печі зі змішаним живленням (ШПЗЖ)	-	-	-	<20	<1
<b>Використання відходів</b>				10 <sup>(6)</sup>	1 <sup>(6)</sup>
				60 <sup>(7)</sup>	4 <sup>(7)</sup>
<sup>(1)</sup> Моноксид азоту та діоксид азоту, вказуються у перерахунку на діоксид азоту <sup>(2)</sup> Обертова піч з колосниковим підігрівачем <sup>(3)</sup> Концентрації викидів виміряні як середні значення за шість годин і приведені до 10 % O <sub>2</sub> , щоб значення можна було порівнювати <sup>(4)</sup> У одному випадку виміряні викиди з шахтної печі зі змішаним живленням склали 0,26 нг I-ТЕQ/м <sup>3</sup> н. у. Ця піч була виведена з експлуатації у кінці 2006 року <sup>(5)</sup> Залежно від вмісту сполук хлору у вапняку (50 – 100 млн <sup>-1</sup> ) <sup>(6)</sup> Середньодобове значення <sup>(7)</sup> Середнє значення за півгодини Джерело: [46, Німеччина, 2006]					

## Додатки

У Таблиці 6.35 наведено приклади викидів з вапняних заводів, на яких використовуються різні печі та види палива, отримані шляхом спостережень у кількох країнах-членах ЄС.

**Таблиця 6.35. Приклади викидів NO<sub>x</sub>, виявлених у результаті спостережень в країнах-членах ЄС**

Країна-член ЄС	Викиди пилу (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	Викиди NO <sub>x</sub> (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	Викиди SO <sub>x</sub> (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	Викиди CO (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	Викиди ЗОВ (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	Печі, що використовуються	Види палива, що використовуються
Німеччина	-	100 – 150 <sup>(1)</sup>	<100 <sup>(2)</sup>	-	-	Багатокамерна шахтна піч	-
	-	<500	-	-	-	ОП	-
	-	-	-	-	<5 – >5 <sup>(7)</sup>	ШПЗЖ	-
	-	-	-	-	5 – <50 <sup>(8)</sup> <1 (бензол)	КШП	-
Спеціальний приклад з Німеччини	-	-	-	-	995 14,6 (бензол)	КШП	-
Фінляндія <sup>(6)</sup>	2 <sup>(3)</sup>	65	15	-	-	ПРП	Важкий мазут <sup>(4)</sup>
Угорщина <sup>(6)</sup>	1,4	32,2	4,8	3,9	-	-	Природний газ
Чехія <sup>(5)</sup>	-	400 т/рік	130 т/рік	-	-	-	-

(<sup>1</sup>) 10 % O<sub>2</sub>  
 (<sup>2</sup>) Якщо понад 60 % номінальної теплової потужності отримується з відходів (понад 40 % у випадку небезпечних відходів), то у якості середньодобового значення встановлюється рівень у 50 мг/м<sup>3</sup> н. у. в перерахунку на 10 % кисню  
 (<sup>3</sup>) Рукавний фільтр  
 (<sup>4</sup>) Низький вміст сірки на рівні 0,6 %; сировина також містить мало сірки  
 (<sup>5</sup>) 2006  
 (<sup>6</sup>) Точкові вимірювання  
 (<sup>7</sup>) Залежно від умов технологічного процесу; ШПЗЖ не підходять для використання відходів; для шахтних печей з подвійною похилою камерою та багатокамерних шахтних печей дані відсутні  
 (<sup>8</sup>) Для печей цього типу, в яких використовувалися відходи, подібні до розчинників чи відпрацьованого мастила, не спостерігалось вищих викидів ЗОВ  
 Джерело: [45, Шорхт, 2006] [46, Німеччина, 2006] [64, Чехія, 2006] [71, Угорщина, 2006]

Значення викидів для різних викидів з австрійських печей випалу вапна наведені у Таблиці 6.36. У 2006 році не використовувалося жодних технологій для зниження викидів NO<sub>x</sub>. Повідомлені викиди CO складали від 0,007 до 0,22 г/м<sup>3</sup> н. у. у випадку високого залишкового вмісту CO<sub>2</sub> та до 5 г/м<sup>3</sup> н. у. у випадку низького залишкового вмісту CO<sub>2</sub>. Для кільцевих шахтних печей викиди CO варіювалися від 0,1 до 3 г/м<sup>3</sup> н. у., а для інших шахтних печей – від 0,01 до 5 г/м<sup>3</sup> н. у.

Таблиця 6.36. Викиди з австрійських печей випалу вапна

Параметр	Одиниця вимірювання	Концентрація <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>		
		Прямоточні регенеративні печі <sup>(3)</sup>	Кільцеві шахтні печі <sup>(3)</sup>	Інші шахтні печі <sup>(3)</sup>
Об'єм димових газів	м <sup>3</sup> н. у./год.	15 000 – 45 000	11 000 – 20 000	7 500 – 22 000
Вміст кисню	об'ємний %	8 – 12	6 – 15	6 – 17,5
Пил	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<20		
HCl	мг/м <sup>3</sup> н.у.	0,6 – 3,6		
HF	мг/м <sup>3</sup> н.у.	0,01 – 0,14		
NO <sub>x</sub> у перерахунку на NO <sub>2</sub>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<150	<250	<250
SO <sub>x</sub> у перерахунку на SO <sub>2</sub>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<100	<10	<20
CO	г/м <sup>3</sup> н.у.	0,007 – 0,22 (високий залишковий вміст CO <sub>2</sub> ) і до 5 (низький залишковий вміст CO <sub>2</sub> )	0,1 – 3	0,01 – 5
Загальний вміст С	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<100	<10	<10
Σ (Cd, Tl) <sup>(4)</sup>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	0,0001 – 0,002		
Hg	мг/м <sup>3</sup> н.у.	0,0001 – 0,003		
Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Sn) <sup>(4)</sup>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	0,0001 – 0,0052		
ПХДД/Ф <sup>(4)</sup>	нг I-TEQ/м <sup>3</sup> н. у.	<0,05	<0,03	<0,03
Бензол	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<0,04		
Бензопірен <sup>(4)</sup>	мг/м <sup>3</sup> н.у.	<0,0003		

<sup>(1)</sup> Концентрації вказані для окремих заходів/технологій з періодичністю вимірювання від 30 хвилин до одного дня  
<sup>(2)</sup> Для 10 % кисню у димових газах  
<sup>(3)</sup> Використовуються рукавні фільтри  
<sup>(4)</sup> Нижче значення означає межу виявлення  
Джерело: [66, Австрія, 2006]

Приклади даних про викиди, яких вдалося досягти на кількох фінських вапняних заводах з різними типами печей, наведені у Таблиці 6.37. Дані про викиди були зібрані за період з 1998 по 2006 рік. У якості палива використовувалися вугілля та кокс, важкий або легкий мазут, коксовий газ або нафтовий кокс, проте паливо з відходів не використовувалося. У 2005 році за допомогою електрофільтра в обертовій печі можна було досягти викидів пилу менше 5 мг/м<sup>3</sup> н. у., а за допомогою рукавного фільтра у кільцевих шахтних печах вдалося досягти діапазонів викидів від 1,7 до 2,2 мг/м<sup>3</sup> н. у. У Таблиці 6.38 наведено приклади викидів металів з фінського вапняного заводу, на якому у якості палива використовувався регенований мазут.

Таблиця 6.37. Викиди пилу, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO та CO<sub>2</sub> з кількох фінських вапняних заводів, на яких використовувалися різні типи печей випалу вапна, за період з 1998 по 2006 рік

Викиди (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	№ заводу	Піч	Фільтр	Види палива	1998	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	1999	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2000	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2001	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2002	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2003	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2004	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2005	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2006	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>		
Пил	Завод 1	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля, кокс 05	<10	6	32 – 18	7	<5 та 13	6,7	5	6,4	<5	6,1	<5	9,3	<5 (7)	12,5	<5	6				
		ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля, кокс 05	156 – 113	10				192 та 9	10,7	14 (7)	11	<5 (7)	11	<5	10,9	34 – 41 (7)	11,6	<5 (7)	11			
	Завод 2	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля							26 – 40	7			63 – 48	7,2 – 10					85 – 114	6,6		
	Завод 3	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля					1 – 243 (8)	4,5								38 – 54	5,2					
		КШП (2)	Рукавний фільтр (2)	Важкий мазут, легкий мазут					12 (7)	11,9								0,7 – 1,1	4,3	2,2 1,7	5			
	Завод 4	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля, кокс 05			2468	6,5					130 – 149	7,2				255 – 335 (7)	12,6	154 – 229	8			
	Завод 5	ПРП (3)	Рукавний фільтр (3)	Коксовий газ	62								5					6	9,6					
		ПРП (3)	Рукавний фільтр (3)	Коксовий газ	38								5					79	9,6					
Завод 6	ПРП (3)	Рукавний фільтр (3)	Регенерований мазут																1,8 (9)					
NO <sub>x</sub>	Завод 1	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля, кокс 05	868	6	620	7	771 + 120, 910	6,7		6,4	898 ± 135	6,1	645 ± 100	9,3	685 ± 100 (7)	12,5	800 ± 160	6				
		ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля, кокс 05	722	10	-	-	810	10,7	610 (7)	11	563 ± 110 (7)	11	730 ± 140	10,9	890 ± 110 (7)	11,6	970 ± 200 (7)	11				
	Завод 2	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля							280	7			522 – 399	7,2 – 10					393 (9)	6,6		
	Завод 3	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля					507	4,5								157 – 160	5,2					
		КШП (2)	Рукавний фільтр (2)	Важкий мазут, легкий мазут					167 – 101 (7)	11,9								243	4,3					
	Завод 4	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля, кокс 05			338 (10)	6,5					590 – 440	7,2			616 (7)	12,6	411 – 479 (11)	8				
	Завод 5	ПРП (3)	Рукавний фільтр (3)	Коксовий газ																				
		ПРП (3)	Рукавний фільтр (3)	Коксовий газ																				
Завод 6	ПРП (3)	Рукавний фільтр (3)	Регенерований мазут																67 (9,10)					
SO <sub>2</sub>	Завод 1	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля, кокс 05	475	6	110	7	258 ± 40	6,7		6,4	173 ± 34	6,1	240 ± 35	9,3	950 ± 90 (7), 214	12,5	241 ± 50	6				
		ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля, кокс 05	390	10	-	-	350	10,7	330 (7)	11	210 ± 40 (7)	11	340 ± 50	10,9	410 ± 60 (7)	11,6	138 ± 28 (7)	11				
	Завод 2	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля							<10	7			165 – 126	7,2 – 10					332 – 350	6,6		
	Завод 3	ДОП (1)	Електрофільтр (1)	Вугілля									4,5						5,2					
КШП (2)		Рукавний фільтр (2)	Важкий мазут, легкий мазут									11,9					11	4,3						

Викиди (мг/м <sup>3</sup> н. у.)	№ заводу	Піч	Фільтр	Види палива	1998	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	1999	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2000	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2001	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2002	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2003	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2004	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2005	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	2006	O <sub>2</sub> (%) <sup>(6)</sup>	
	Завод 4	ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля, кокс 05			143	6,5					66 – 142	7,2			851 (7)	12,6		8			
	Завод 5	ПРП (3)	Рукавний фільтр (5)	Коксовий газ																			
		ПРП (3)	Рукавний фільтр (5)	Коксовий газ																			
	Завод 6	ПРП (3)	Рукавний фільтр (5)	Регенерований мазут															15 (8)				
CO <sub>2</sub>	Завод 1	ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля, кокс 05	476	6	430	7	467 ± 72, 453	6,7		6,4	432 ± 70	6,1	360 ± 55	9,3	260 ± 60 (7)	12,5	475 ± 70	6			
		ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля, кокс 05	320	10	-	-	310	10,7	300 (7)	11	303 ± 16	11	340 ± 45	10,9	280 ± 60 (7)	11,6	285 ± 43 (7)	11			
	Завод 2	ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля								7			424 – 324	7,2 – 10					)	6,6	
	Завод 3	ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля					290	4,5									5,2				
		КШП (2)	Рукавний фільтр (5)	Важкий мазут, легкий мазут					292 (7)	11,9									4,3				
	Завод 4	ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля, кокс 05			490	6,5						7,2						8			
	Завод 5	ПРП (3)	Рукавний фільтр (5)	Коксовий газ																			
		ПРП (3)	Рукавний фільтр (5)	Коксовий газ																			
	Завод 6	ПРП (3)	Рукавний фільтр (5)	Регенерований мазут																			
CO	Завод 1	ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля, кокс 05	67	6	4	7	31	6,7		6,4	1	6,1	4	9,3	11 (7)	12,5		6			
		ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля, кокс 05	68	10	-	-	65	10,7	42 (7)	11	80 (7)	11	160	10,9	80 ± 60 (7)	11,6	22 <sup>7</sup>	11			
	Завод 2	ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля							120	7			14	7,2 – 10					25,7 – 27	6,6	
	Завод 3	ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля						4,5									5,2				
		КШП (2)	Рукавний фільтр (5)	Важкий мазут, легкий мазут						11,9									4,3				
	Завод 4	ДОП (1)	Електрофільтр (4)	Вугілля, кокс 05			56	6,5					94	7,2			3,8 (7)	12,6	336	8			
	Завод 5	ПРП (3)	Рукавний фільтр (5)	Коксовий газ																			
ПРП (3)		Рукавний фільтр (5)	Коксовий газ																				
Завод 6	ПРП (3)	Рукавний фільтр (5)	Регенерований мазут																65 (8)				
(1)	Довга обертова піч										(7) O <sub>2</sub> ≥ 11%												
(2)	Кільцева шахтна піч										(8) Без фільтра												
(3)	Прямочна регенеративна піч										(9) Обпалений продукт: 310 т/добу												
(4)	Електрофільтр										(10) NO <sub>2</sub>												
(5)	Рукавний фільтр, тканинний										(11) NO												
(6)	Стандартний стан за O <sub>2</sub>										Джерело: [63, Фінляндія, 2006], [65, Фінляндія, 2006]												

Таблиця 6.38. Викиди металів з фінського заводу виробництва вапна

Викиди металів		
Метал	Одиниця вимірювання	Викиди (утворення твердих часток / газу)
Cd	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	0,05/0,08
Ti	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	0,30/<1,6
Hg	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	0,001/0,026
Sb	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	0,5/<1,6
As	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	<0,2/1,9
Pb	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	5,2/6,0
Cr	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	0,7/15
Co	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	0,14/1,3
Cu	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	0,32/7,2
Mn	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	3,6/6,0
Ni	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	3,0/6,0
V	мкг/м <sup>3</sup> н. у.	<0,1/37
Джерело: [65, Фінляндія, 2006]		

### 6.3.3 Виробництво вапна – приклад роботи з відпрацьованим мастилом у шахтній печі (ІП)

Для перетворення/переходу з шахтної печі (ІП), що працює на газу, на шахтну піч, яка працює на відпрацьованому мастилі, було необхідно модифікувати пальники та побудувати спеціальну інфраструктуру для вивантаження та зберігання відпрацьованого мастила.

Як показано на Рисунку 6.26, у цьому конкретному випадку відпрацьоване мастило постачалося на вапняний завод залізницею або автомобільним транспортом – наприклад, в автомобілях-цистернах. Для його зберігання були побудовані два баки з подвійними стінками, місткістю 100 м<sup>3</sup> кожен. Відпрацьоване мастило з вагонів або вантажівок вивантажується у баки для зберігання, розташовані у спеціально передбаченому місці таким чином, щоб не допустити розтікання будь-якої пролитої рідини. Поверхневі води (дощові води) зливаються у масловіддільник. Оскільки зона заповнення відповідає всім застосовним вимогам законодавства, у ній також чистять та заправляють паливом усі види автомобільного та залізничного транспорту.

Під час розвантаження вагонів або автомобілів-цистерн відпрацьоване мастило проходить через шлангове з'єднання, а потім через сталеву трубу на першу насосну та фільтрувальну станцію. Звідти воно перекачується насосом через підземні труби з подвійними стінками у два баки місткістю 100 м<sup>3</sup>. У випадку, коли вихід продукції з печі становить від 250 до 300 т вапна/добу, така місткість сховища приблизно еквівалентна споживанню мастила за один тиждень.

З цих баків мастило надходить на другу насосну станцію, як показано на Рисунку 6.27, яка розташована безпосередньо поблизу печі. Живильний насос перекачує мастило в інший фільтр та в електричну нагрівальну систему, де мастило нагрівається до 60 – 80°C. Ці температури необхідні для зниження в'язкості мастила, а отже, для покращення його розпилення в пальнику та забезпечення оптимального згорання. По висхідних трубах мастило рухається на дозувально-вимірювальну станцію, як показано на Рисунку 6.28, звідки воно розподіляється між окремими пальниками. У пальниках паливо змішується з повітрям, і вони разом вприскуються безпосередньо в піч.

Під час спалювання відфільтрованого мастила не утворюється відходів. Відходи утворюються лише у процесі фільтрування мастила. Фільтри очищаються, всі відходи збираються у спеціальні контейнери і безпечно утилізуються [50, Німеччина, 2006], [51,



EuLA, 2006].

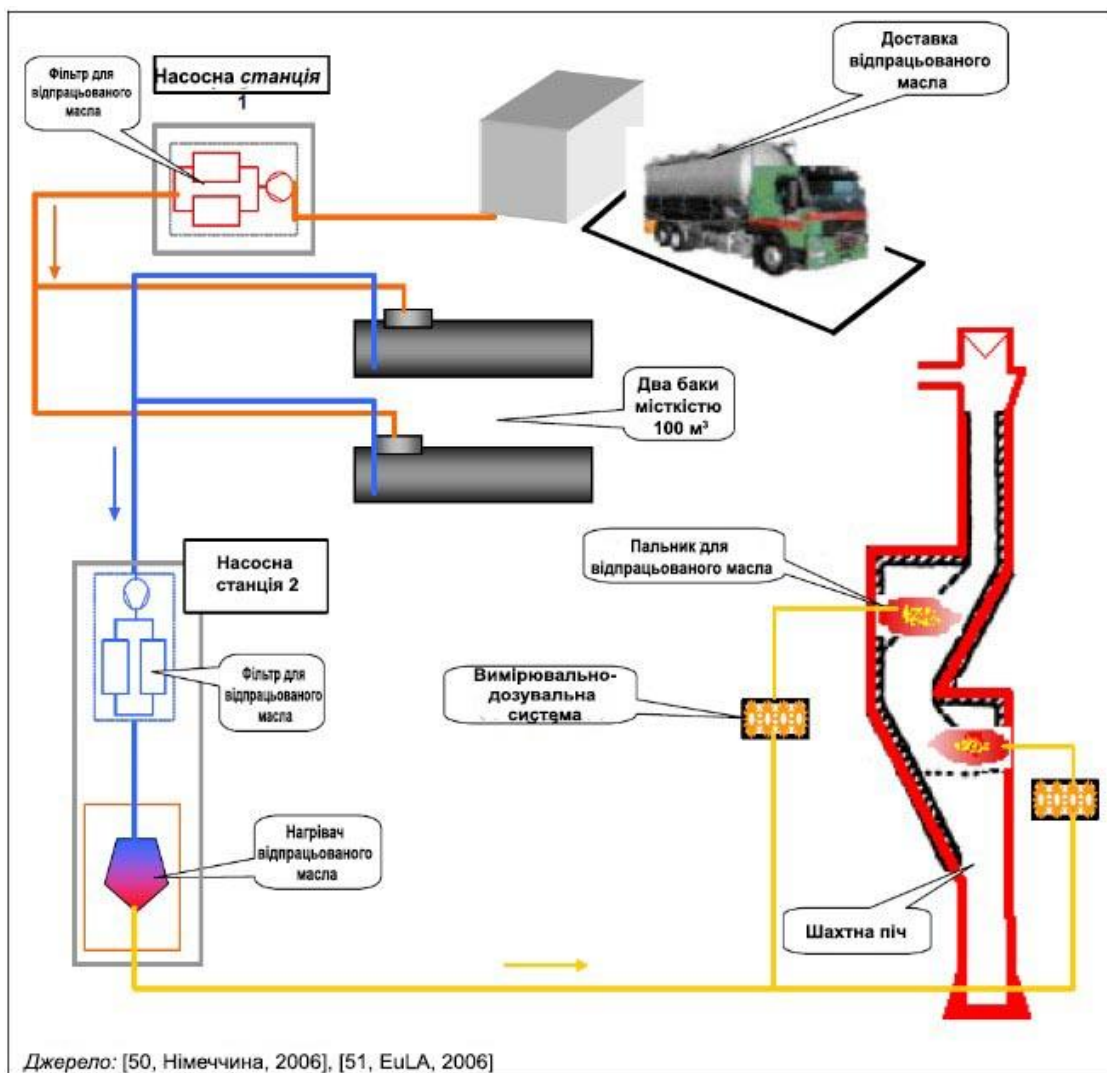


Рисунок 6.26. Схема циркуляції відпрацьованого мастила – від доставки до шахтної печі (III)

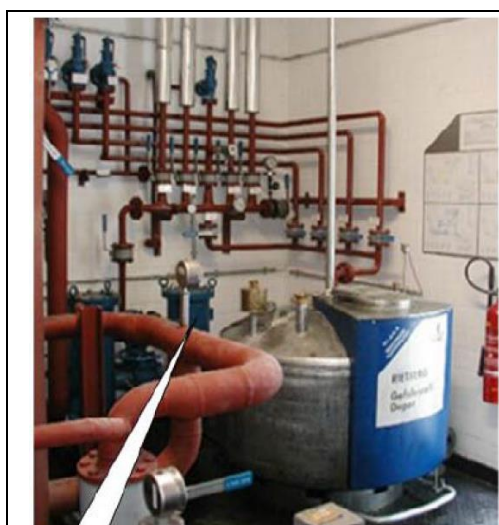


Рисунок 6.27. Насосна станція №2 з фільтром та контейнером для відходів очищення фільтра

Джерело: [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006]



Рисунок 6.28. Вимірювально-дозувальна система з пневматичними клапанами

Джерело: [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006]



### 6.3.4 Виробництво вапна – приклад контролю якості твердого палива з відходів, що спалюється в обертових печах

На прикладі німецького вапняного заводу продемонстровано типові вимоги до твердих відходів, що використовуються у чотирьох обертових печах з підігрівачами. Ці обертові печі обладнані циклонами та електрофільтрами для зниження викидів пилу. Крім того, для зниження викидів NO<sub>x</sub> використовується технологія СНКВ (див. розділ 6.3.5). У обертовій печі типові температури знаходяться в діапазоні від 1 000 до 1 400°C.

У якості палива використовується порошкоподібний лігніт, природний газ та тверді відходи. Тверді відходи постачаються спеціальними компаніями зі збору та змішування відходів. Згідно з дозволом, відходами можна замінити максимум 60 % теплової потужності печі. У 2006 році коефіцієнт заміни твердими відходами склав 10 %. Перед подаванням цього твердого палива з відходів у піч з нього видаляються металеві компоненти за допомогою магнітного сепаратора.

Вибір типів відходів, що будуть використовуватися у якості палива в печі випалу вапна, залежить від технічних вимог до процесу обпалювання та від якості продукту. У цьому прикладі паливо з відходів – це паливо з твердих побутових відходів (ПТПВ), отримане з вибраних видів відходів (головним чином пластмас), для яких властивий низький вміст забруднюючих речовин) та точно визначена теплотворна здатність. При цьому точно вказується походження відходів та їх класифікація за Європейським каталогом відходів (2000/532/EC) [98, Європейська комісія, 2000]. У Таблиці 6.39 наведені типи відходів, які можна використовувати в цих обертових печах [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006]:

**Таблиця 6.39. Перелік відходів, які можна використовувати в цих німецьких печах випалу вапна**

Код відходів	Загальний опис
02 01 04	Пластмасові відходи (крім упаковки)
02 01 07	Відходи лісівництва
03 01 01	Відходи кори та деревини
03 01 05	Тирса, стружка, обрізки, деревина, деревостружкові плити та фанера, окрім згаданих у категорії 03 01 04
03 03 02	Шлами зеленого луку (отримані в результаті регенерації варильної рідини)
03 03 07	Механічно відділені відходи, відбраковані у процесі виготовлення целюлози з паперової та картонної макулатури
03 03 08	Відходи сортування паперу та картону, призначених для переробки
04 02 09	Відходи композитних матеріалів (просоченого текстилю, еластомерів, пластомерів)
04 02 21	Відходи необроблених текстильних волокон
04 02 22	Відходи оброблених текстильних волокон
07 02 13	Пластмасові відходи
08 01 12	Відходи фарби та лаків, окрім згаданих у категорії 08 01 11
08 02 01	Відходи порошкового покриття
09 01 07	Фотоплівка та папір, що містить срібло або сполуки срібла
12 01 05	Пластмасові обрізки та стружка
15 01 01 03	Паперова та картонна, пластмасова, дерев'яна упаковка
15 01 05 ÷ 06	Композитна та змішана упаковка
15 02 03	Абсорбенти, фільтрувальні матеріали, обтиральні ганчірки та захисний одяг, окрім згаданих у категорії 15 02 02
16 01 03	Відпрацьовані покривки
17 02 01	Деревина
17 02 03	Пластик
19 05 01	Не перетворені у компост фракції комунально-побутових та подібних відходів
19 12 01	Папір та картон
19 12 04	Пластмаса та гума
19 12 07	Деревина, окрім згаданої у категорії 19 02 06
19 12 08	Текстиль
19 12 10	Горючі відходи (паливо з твердих побутових відходів)

Джерело: [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006], [98, Європейська комісія, 2000]

Вимоги до якості твердих відходів визначаються дозвільним органом. Для кожної доставленої партії постачальники палива повинні підтвердити, що готове до використання паливо містить лише відходи, вказані у Таблиці 6.39.

Для контролю якості цих видів палива паливо з відходів поділяється на чотири категорії, як визначають діапазон значень нижчої теплоти згорання та хімічного складу.

Для регулювання кількості металів, що вносяться у піч, використовуються два статистичні параметри, наведені у Таблиці 6.40:

- медіанне значення (= 50 %-ий перцентиль), яке також називається «практичним» значенням. Воно визначається на основі практичного досвіду з урахуванням можливих відмінностей у складі палива;
- максимальне значення (= 100 %-ий перцентиль).

**Таблиця 6.40. Медіанні та максимальні концентрації металів для кожного типу палива з відходів**

Забруднююча речовина	Паливо з відходів 1		Паливо з відходів 2		Паливо з відходів 3		Паливо з відходів 4	
	Медіанне значення (мг/кг)	Максимальне значення (мг/кг)	Медіанне значення (мг/кг)	Максимальне значення (мг/кг)	Медіанне значення (мг/кг)	Максимальне значення (мг/кг)	Медіанне значення (мг/кг)	Максимальне значення (мг/кг)
Ртуть (Hg)	0,4	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,6	1,2
Кадмій (Cd)	4,0	15,0	4,0	15,0	4,0	10,0	4,0	9,0
Талій (Tl)	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	2,0
Арсен (As)	5,0	10,0	5,0	10,0	5,0	15,0	5,0	13,0
Кобальт (Co)	5,0	10,0	5,0	10,0	5,0	10,0	6,0	12,0
Нікель (Ni)	20,0	100,0	20,0	100,0	20,0	100,0	25,0	50,0
Стибій (Sb)	40,0	100,0	40,0	100,0	25,0	60,0	25,0	60,0
Свинець (Pb)	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	70,0	200,0
Хром (Cr)	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	100,0	40,0	120,0
Мідь (Cu)	100,0	250,0	90,0	250,0	90,0	500,0	120,0	300,0
Манган (Mn)	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0
Ванадій (V)	10,0	20,0	10,0	20,0	10,0	20,0	10,0	25,0
Олово (Sn)	15,0	50,0	15,0	50,0	15,0	75,0	30,0	70,0
Загальний хлор	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0	7 000,0	10 000,0
Загальний фтор	250,0	500,0	250,0	500,0	250,0	1 000,0	250,0	1 000,0
Берилій (Be)	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	5,0	0,5	2,0
Цинк (Zn)	400,0	500,0	400,0	500,0	400,0	1 000,0	400,0	1 000,0
	% за вагою (1)	% за вагою (1)	% за вагою (1)	% за вагою (1)	% за вагою (1)	% за вагою (1)	% за вагою (1)	% за вагою (1)
Волога	8,0	<10,0	11,0	<12,5	18,0	<20,0	18,0	<20,0
Вміст золи	6,0	<7,0	8,0	<9,0	11,0	<15,0	11,0	<15,0
Загальний вміст сірки	0,3	<0,5	0,3	<0,5	0,2	<0,3	0,2	<0,3
ПХБ		<3		<1		<1		<1

(1) Відсоток за вагою  
Джерело: [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006]

У цьому прикладі діапазони були визначені для нижчої теплоти згорання кожної категорії палива, як показано в Таблиці 6.41:

**Таблиця 6.41. Мінімальна та максимальна нижча теплота згорання для кожного типу палива з відходів**

Нижча теплота згорання (МДж/кг)	Паливо з відходів 1		Паливо з відходів 2		Паливо з відходів 3		Паливо з відходів 4	
	Мінімум	Максимум	Мінімум	Максимум	Мінімум	Максимум	Мінімум	Максимум
	25	31	23	29	20	24	18	22

Джерело: [50, Німеччина, 2006], [51, EuLA, 2006]

## Додатки

Регулярно відбираються проби палива з відходів. Окремі відібрані проби розділяються на підпроби, які потім знову об'єднуються у змішану пробу. Через попередньо визначені інтервали часу змішані проби перевіряються на відповідність вимогам до якості, зазначеним у Таблиці 6.40.

У разі використання відходів в якості палива одними з найважливіших питань є контроль та гарантія якості. У Таблиці 6.42 представлено приклади технологій контролю якості.

**Таблиця 6.42. Приклади технологій контролю якості відходів**

Етап технологічного процесу	Технології	Додаткові технології
Джерела відходів (виробник відходів, місце сортування, механічно-біологічна переробка відходів)	<ul style="list-style-type: none"><li>складання переліку відходів</li><li>запобігання появи домішок</li><li>положення щодо прийнятної якості окремих типів відходів</li><li>аналіз декларації</li><li>документування утилізованої кількості окремих типів відходів</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>інструктаж виробника відходів особою, яка керує обробленням відходів</li><li>регулярний контроль заводу, який виробляє відходи, особою, яка керує обробленням відходів</li></ul>
Завод з переробки відходів	<ul style="list-style-type: none"><li>(регулярний) відбір проб та аналіз архівні проби</li><li>документування кількостей вхідних та перероблених відходів</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>(регулярний) відбір проб та аналіз кількостей вхідних перероблених відходів запрошеним фахівцем</li></ul>
Завод з переробки відходів	<ul style="list-style-type: none"><li>регулярний відбір проб та аналіз архівні проби</li><li>документування кількостей вихідних відходів</li></ul>	
Завод з виробництва вапна	<ul style="list-style-type: none"><li>регулярний відбір проб та аналіз архівні проби</li><li>документування кількостей вхідних матеріалів та відходів</li></ul>	

Джерело: [156, Німеччина, 2007]

### 6.3.5 Виробництво вапна – приклад денітрифікації ( $\text{DeNO}_x$ ) за допомогою технології СНКВ в обертових печах з підігрівачем (ОПП)

На заводі у поселенні Фландерсбах (Німеччина) поступово були реалізовані первинні та вторинні технології для чотирьох обертових печей з підігрівачами. В одній із цих печей був встановлений новий пальник, проте його вплив на викиди  $\text{NO}_x$  був досить обмежений. Практичний досвід показав, що на ці викиди значно більше впливає загальна концентрація кисню в зоні обпалювання. Тому атмосфера в печі була відрегульована таким чином, щоб знизити концентрацію кисню. Проте цього заходу виявилось недостатньо, щоб викиди  $\text{NO}_x$  завжди були нижчими, ніж  $500 \text{ мг/м}^3$  н. у. Викиди  $\text{NO}_x$  – особливо при виготовленні сильно випаленого вапна – зазвичай перевищували  $1\,000 \text{ мг/м}^3$  н. у. (за стабільних умов у печі), а іноді навіть  $2\,000 \text{ мг/м}^3$  н. у. – наприклад, коли для запобігання перегріванню вапняного холодильника потрібно було більше охолоджувального повітря.

З огляду на температурні умови під колосником Леполя, викиди  $\text{NO}_x$  можна знизити шляхом вприскування відновлювальних реагентів у цю зону. Тому були проведені попередні випробування з різними рідинами, місцями вприскування та інтенсивністю вприскування, щоб оптимізувати конструкцію промислової установки СНКВ, як описано нижче:

#### *Загальний принцип роботи*

Рідкі відновлювальні реагенти доставляються вантажівками і зберігаються у двох баках. Після цього рідкий реагент перекачується насосом до колосників Леполя, де він розбризкується у гарячі камери за допомогою повітря під тиском для розпорошення та змішування з димовими газами. Установка розрахована на роботу з водоаміачним розчином концентрацією до 25 % та повинна задовольняти нормам поводження зі шкідливими матеріалами.

#### *Заповнення баків*

Автомобіль-цистерна розвантажується за допомогою насоса через шланг з подвійними стінками, який контролюється на наявність витоків, та подвійний фільтр для затримання небажаних домішок. Після реєстрації на пості керування водій отримує допуск на розвантаження. Процедура заповнення розпочинається лише після того, як автомобіль-цистерна буде заземлений. Доливання автоматично припиняється, коли танк заповнюється, або коли пристрій моніторингу перепаду тиску на фільтрах надсилає сигнал про максимальний рівень. Після переходу на інший бак або другий фільтр водій автомобіля-цистерни повинен звернутися за новим допуском.

#### *Зберігання*

Два баки, об'ємом  $80 \text{ м}^3$  кожен, обладнані запобіжними пристроями та пристроями керування, а також циркуляційними насосами. Для запобігання перевищенню тиску чи створенню вакууму на баках встановлений чутливий до тиску клапан, а в баках здійснюється моніторинг тиску.

#### *Дозування*

На кожен колосник Леполя встановлено по одному насосу, яким керує частотний перетворювач. Кожен дозувальний насос може поперемінно працювати від кожного з двох баків. Насоси обладнані клапаном скидання тиску для запобігання зростанню тиску у заблокованій системі. На випадок відмови одного з дозувальних насосів встановлено один резервний насос, на який перемикається відповідна точка вприскування.

Додаткові впускні отвори дають змогу промивати трубопроводи та фільтри технічною водою для спорожнення компонентів системи, наприклад, перед технічним обслуговуванням.

Розпилювальні форсунки повинні працювати з витратами, на які вони розраховані. Для підтримання оптимальних умов розбризкування у розпилювальних форсунках потрібно контролювати витрату у дозувальних лініях. Якщо витрата падає нижче попередньо заданого значення – наприклад, якщо потреба у відновлювальному реагенті низька – для збільшення цього значення у систему додається технічна вода. Це виконання також дає змогу зберігати реагенти з високою концентрацією та розбавляти реагенти для забезпечення їх хорошого розподілу у потоці димових газів, а відтак для оптимізації ефективності. Якщо виникає потреба у більшій витраті відновлювального реагенту, – наприклад, якщо концентрація азоту в рідині низька, а необхідний ступінь відновлення високий, – на вприскувальному отворі активується друга трубка. Система керування здатна розрізняти низьку та високу концентрацію в баках, і в ній передбачені різні режими дозування.

Усі трубопроводи ізолювані та обладнані теплосупутниковими нагрівальними елементами для запобігання замерзанню взимку та кристалізації у разі використання рідкого карбаміду.

### Місце вприскування

Розташування точок вприскування було визначено під час випробувань на заводі у поселенні Фландерсбах. Вибрані отвори забезпечують хороше проникнення та змішування реагенту з димовими газами на місці з малою ймовірністю утворення привару, який може заважати вприскуванню. Точки під'єднання показані на Рисунку 6.29.

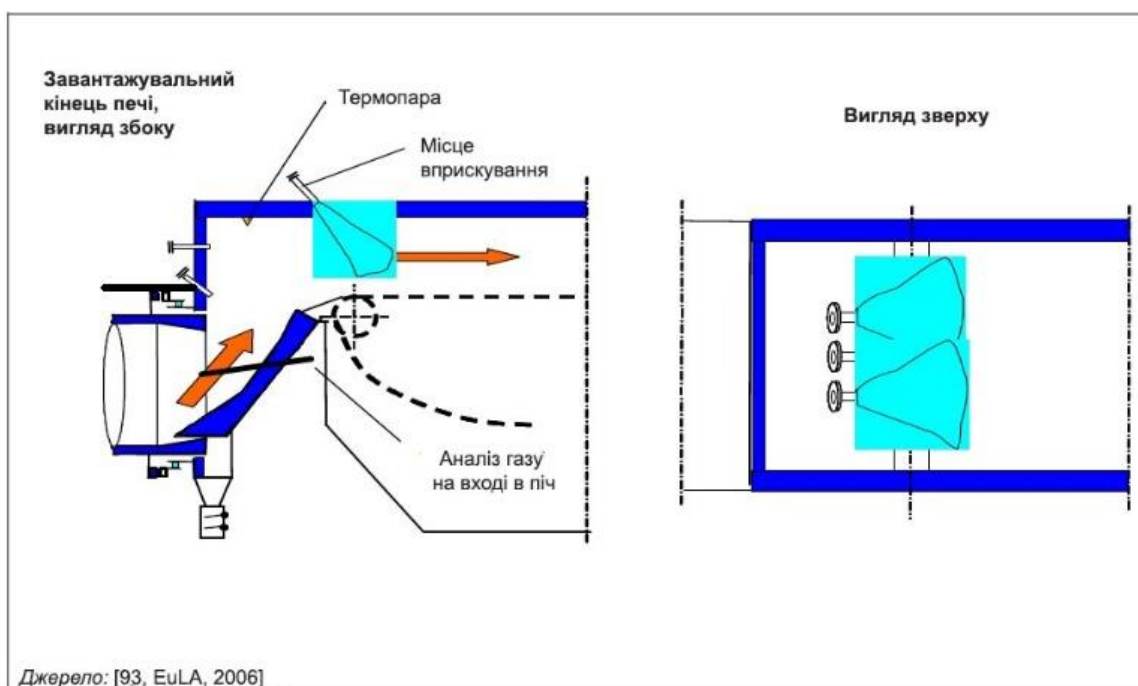


Рисунок 6.29. Розташування точок вприскування та під'єднання системи СНКВ на вапняному заводі у поселенні Фландерсбах, Німеччина

### Експлуатація

Встановлення цієї установки було завершено у липні 2006 року, а етап пуску завершився в кінці серпня 2006 року. З того часу установка працювала без особливих проблем. На основі досвіду, накопиченого у ході пуску та експлуатації, з того часу були реалізовані необхідні вдосконалення.



*Ефективність зниження викидів*

Як виявилось, ефективність відновлення може складати від 50 до 60 %, тож рівень викидів  $\text{NO}_x$ , виражений як середньодобове значення, може залишатися нижчим, ніж  $500 \text{ мг NO}_x/\text{м}^3 \text{ н. у.}$  Можна, в принципі, досягти і вищих коефіцієнтів зниження викидів, проте вони відразу призводять до величезних проскоків аміаку. Вимірювання, проведені у ході різних технологічних процесів та за різних умов вприскування, показали, що викиди закису азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ) завжди залишаються меншими, ніж  $10 \text{ мг}/\text{м}^3 \text{ н. у.}$

*Витрати*

Інвестиційні витрати близькі до тих, які були повідомлені для цементної промисловості, тобто від 0,5 мільйона до 1,2 мільйона євро. Оскільки обладнання експлуатувалося лише протягом короткого періоду (кількох тижнів), точні експлуатаційні витрати важко визначити. Фінансові оцінки на основі попередніх випробувань показують, що експлуатаційні витрати можуть бути близькими до витрат, повідомлених у цементній промисловості, тобто від 0,1 до 1,7 євро на тонну вапна для потужності печі 1 000 т/добу та початкових викидів до  $1\,500 \text{ мг NO}_x/\text{м}^3 \text{ н. у.}$

## СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Цей словник термінів має на меті полегшити розуміння інформації, що міститься в цьому документі. Визначення термінів, наведені у цьому словнику термінів, не є юридично закріпленими визначеннями (хоча деякі з них і збігаються з визначеннями, наведеними у європейських законодавствах), – їх метою є допомогти читачу зрозуміти деякі ключові терміни в контексті їх використання у конкретному секторі, про який іде мова у цьому документі.

Словник термінів поділено на такі розділи:

- I. Коди країн за стандартом ISO
- II. Грошові одиниці
- III. Префікси одиниць вимірювання, роздільники у числах та умовні позначення
- IV. Одиниці вимірювання та міри величин
- V. Хімічні елементи
- VI. Хімічні формули, які часто використовуються у цьому документі
- VII. Акроніми
- VIII. Технічні терміни

### I. Коди країн за стандартом ISO

Код ISO	Країна / Організація
ЄС	Європейський Союз
<i>Країни-члени ЄС (*)</i>	
AT	Австрія
BE	Бельгія
BG	Болгарія
CZ	Чехія
CY	Кіпр
DE	Німеччина
DK	Данія
EE	Естонія
EL	Греція
ES	Іспанія
FI	Фінляндія
FR	Франція
HU	Угорщина
IE	Ірландія
IT	Італія
LT	Литва
LU	Люксембург
LV	Латвія
MT	Мальта
NL	Нідерланди
PL	Польща
PT	Португалія
RO	Румунія
SE	Швеція
SI	Словенія
SK	Словаччина
UK	Велика Британія
<i>Країни, які не є членами ЄС</i>	
CA	Канада
CH	Швейцарія
CN	Китай
JP	Японія
NO	Норвегія
US	Сполучені Штати Америки
(*) Протокольний порядок країн-членів ЄС базується на алфавітному порядку їх географічних назв на мові (мовах) оригіналу.	

## II. Грошові одиниці

Код <sup>(1)</sup>	Країна / територія	Валюта
<i>Валюти країн-членів ЄС</i>		
EUR	Зона євро <sup>(2)</sup>	євро (множина – євро)
SEK	Швеція	крона (множина – крони)
<sup>(1)</sup> Коди за стандартом ISO 4217. <sup>(2)</sup> До неї належать такі країни, як Австрія, Бельгія, Греція, Естонія, Ірландія, Іспанія, Італія, Кіпр, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Німеччина, Португалія, Словаччина, Словенія, Фінляндія та Франція.		

## III. Префікси одиниць вимірювання, роздільники у числах та умовні позначення

Числа у цьому документі записані з символом «,» у якості десяткового роздільника та з пробілом у якості роздільника тисяч.

Символ ~ (близько; більше або менше) – це умовне позначення, що означає наближення.

Символ Δ (дельта) – це умовне позначення, що означає різницю.

У наступній таблиці наведені префікси, які часто використовуються:

Позначення	Префікс	$10^n$	Слово	Десяткове число
T	тера	$10^{12}$	Трильйон	1 000 000 000 000
G	гіга	$10^9$	Мільярд	1 000 000 000
M	мега	$10^6$	Мільйон	1 000 000
k	кіло	$10^3$	Тисяча	1 000
h	гекто	$10^2$	Сотня	100
da	дека	$10^1$	Десяток	10
-----	-----	1	Одиниця	1
d	деци	$10^{-1}$	Одна десята	0,1
c	санти	$10^{-2}$	Одна сота	0,01
m	мілі	$10^{-3}$	Одна тисячна	0,001
mk	мікро	$10^{-6}$	Одна мільйонна	0,000 001
n	нано	$10^{-9}$	Одна мільярдна	0,000 000 001
p	піко	$10^{-12}$	Одна трильйонна	0,000 000 000 001

## IV. Одиниці вимірювання та міри величин

Символ одиниці вимірювання	Назва одиниці вимірювання (коментар)	Назва міри величини (символ міри)	Перетворення та коментар
атм.	нормальна атмосфера	Тиск (P)	1 атм. = 101 325 Н/м <sup>2</sup>
бар	бар	Тиск (P)	1,013 бара = 100 кПа = 1 атм.
°С	градус Цельсія	Температура (Т) різниця температур (ΔТ)	
сСт	сантистокси	В'язкість	
дБ(А)	децибел	Рівні звукового тиску (шуму)	Рівні звукового тиску, визначені за допомогою фільтра рівнів звукового тиску зі шкалою А (відповідає оберненню кривої рівної гучності звуку 40 дБ (за частоти 1 кГц))
доба	доба	Час	
г	грам	Вага	
год.	година	Час	
I-TEQ	міжнародний токсичний еквівалент	Токсичність	
К	градус Кельвіна	Температура (Т) Різниця температур (ΔТ)	0°С = 273,15 К
ккал	кілокалорія	Енергія	1 ккал = 4,1868 кДж
кг	кілограм	Вага	
кДж	кілоджоуль	Енергія	
кВт· год.	кіловат-година	Енергія	1 кВт· год. = 3 600 кДж
м	метр	Довжина	
м <sup>2</sup>	квадратний метр	Площа	
м <sup>3</sup>	кубічний метр	Об'єм	
мг	міліграм	Вага	1 мг = 10 <sup>-3</sup> г
хв.	хвилина		
м/хв	метр/хвилину	Швидкість	
м <sup>3</sup> /год.	кубічний метр на годину	Об'ємна витрата	якщо у цьому документі не зазначено інше, об'ємна витрата вказана для об'ємної частки кисню 10% та стандартного стану
мг/м <sup>3</sup>	міліграм на кубічний метр	Концентрація	якщо у цьому документі не зазначено інше, концентрації газоподібних речовин або сумішей речовин вказані для сухих димових газів з об'ємною часткою кисню 10% та у стандартному стані
мм	міліметр	Довжина	1 мм = 10 <sup>-3</sup> м
мм вод. ст.	міліметр водного стовпа	Тиск (P)	
Мт	мегатонна	Вага	1 Мт = 10 <sup>6</sup> тонн
МДж	мегаджоуль	Енергія	1 МДж = 1 000 кДж = 10 <sup>6</sup> джоулів
мкм	мікрометр	Довжина	1 мкм = 10 <sup>-6</sup> м
МВт	мегавати	Енергія	
нг	нанограм	Вага	1 нг = 10 <sup>-9</sup> грамів
м <sup>3</sup> н. у.	кубічний метр за нормальних умов	Об'єм	при 101,325 кПа, 273,15 К
млн <sup>-1</sup>	кількість часток на мільйон	Склад сумішей	1 млн <sup>-1</sup> = 10 <sup>-6</sup>
т	метрична тонна	Вага	1 т = 1 000 кг або 10 <sup>6</sup> г
об'ємний % % за об'ємом	відсоток за об'ємом	Склад сумішей	
ваговий % % за вагою	відсоток за вагою	Склад сумішей	
Вт	ват	Потужність	1 Вт = 1 Дж/с
рік	рік	Час	
Ом·см	Ом на сантиметр	Питомий електричний опір	

## V. Хімічні елементи

Позначення	Назва	Позначення	Назва
Ag	Срібло	N <sub>2</sub>	Азот
Al	Алюміній	Na	Натрій
As	Арсен	Ni	Нікель
Ba	Барій	Pb	Свинець
Be	Берилій	Pd	Паладій
Ca	Кальцій	Pt	Платина
Cd	Кадмій	Rh	Родій
Co	Кобальт	Sb	Стибій
Cr	Хром	Se	Селен
Cu	Мідь	Sn	Олово
F	Фтор	Te	Телур
Fe	Залізо	Ti	Титан
Hg	Ртуть	Tl	Талій
Mn	Манган	V	Ванадій
Mo	Молібден	Zn	Цинк

## VI. Хімічні формули, які часто використовуються у цьому документі

Хімічна формула	Назва (пояснення)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Оксид алюмінію
CaCO <sub>3</sub>	Карбонат кальцію
CaO	Оксид кальцію
Ca(OH) <sub>2</sub>	Гідроксид кальцію
CaMg(OH) <sub>4</sub>	Гідроксид кальцію та магнію
CH <sub>4</sub>	Метан
CN	Ціанід
CO	Моноксид вуглецю
CO <sub>2</sub>	Вуглекислий газ
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Оксид заліза
HCl	Соляна кислота
HF	Флуоридна кислота
H <sub>2</sub> O	Вода
H <sub>2</sub> S	Сірководень
KOH	Гідроксид калію
MgCO <sub>3</sub>	Карбонат магнію
MgO	Оксид магнію / магnezія
N <sub>2</sub>	Азот
NH <sub>3</sub>	Аміак
NH <sub>4</sub>	Амоній
NO	Моноксид азоту
NO <sub>2</sub>	Діоксид азоту
NO <sub>x</sub>	Оксиди азоту
O <sub>2</sub>	Кисень
SiO <sub>2</sub>	Оксид кремнію
SO <sub>2</sub>	Діоксид сірки
SO <sub>3</sub>	Триоксид сірки
SO <sub>x</sub>	Оксиди сірки

## VII. Акроніми

<b>ADEME</b>	Агентство з навколишнього середовища та керування енергетикою (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie)
<b>АПС</b>	Альтернативне паливо та сировина
<b>КІШП</b>	Кільцева шахтна піч
<b>АТІЛН</b>	Технічна асоціація галузі гідравлічних в'язучих речовин (Association Technique de l'Industrie des Liant Hydrauliques)
<b>ПВСН</b>	Паливо з відходів сільського господарства
<b>BUWAL</b>	Федеральне управління Швейцарії з навколишнього середовища, лісів та ландшафту (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft)
<b>№ CAS</b>	Реєстраційний номер Хімічної реферативної служби – підрозділу Американського хімічного товариства; посилання на величезний об'єм інформації про конкретну хімічну речовину; унікальний числовий ідентифікатор хімічних сполук; полімерів, біологічних рядів, сумішей та сплавів, який позначає лише одну речовину
<b>ККМ</b>	Каустична кальцинована магнезія
<b>CEMS</b>	Система безперервного моніторингу викидів
<b>CEN/TC 343</b>	Європейський комітет зі стандартизації Робоча група CEN/TC 343 «Тверде відновлене (відновлювальне) паливо» з дорученням Європейської комісії розробити та випустити всі необхідні стандарти на тверде відновлене (відновлювальне) паливо (ТВП), такі як технічні умови, які будуть перетворені у стандарти (Європейські норми – EN) після затвердження
<b>ЩЦП</b>	Пил цементної печі
<b>НОМ</b>	Намертво обпалена магнезія
<b>№ EC</b>	Означає семизначний код (який іноді називають номером ЕС), що призначається Комісією європейських спільнот хімічним речовинам, доступним на ринку у Європейському Союзі. Позначення «№ EC» замінило позначення EINECS та ELINCS; цей код також охоплює так звані «перелік речовин, які вже не є полімерами» – перелік речовин, які існували на європейському ринку з 18 вересня 1981 року по 31 жовтня 1993 року, і на той час вважалися полімерами, проте більше ними не вважаються
<b>EEA</b>	Європейське агентство з охорони довкілля (European Environment Agency)
<b>EFTA</b>	Європейська асоціація вільної торгівлі (European Free Trade Association) (заснована 3 травня 1960 року)
<b>EGTEI</b>	Експертна група з технічно-економічних проблем (Expert Group on Techno-Economic Issues)
<b>EINICS</b>	Європейський перелік існуючих комерційних хімічних речовин; реєстраційний номер, який призначався для кожної хімічної речовини, доступної на ринку в Європейському Союзі з 1 січня 1971 року по 18 вересня 1981 року. Цей перелік був замінений переліком ELINCS
<b>ELINCS</b>	З 19 вересня 1981 року інвентарний перелік зареєстрованих хімічних речовин був замінений переліком ELINCS. Усім «новим» речовинам, що з'являються на європейському ринку, після заявлення перед Європейською комісією призначається номер ELINCS
<b>Секв</b>	Еквівалентний вуглець
<b>EPA</b>	Управління з охорони довкілля США (Environmental Protection Agency)
<b>ЕСП</b>	Електрофільтр (електростатичний пиловловлювач)
<b>ЄС</b>	Європейський Союз
<b>ЄС-15</b>	Країни-члени Європейського Союзу до 1 травня 2004 року
<b>ЄС-25</b>	Країни-члени Європейського Союзу з 1 травня 2004 року до 31 грудня 2006 року
<b>ЄС-27</b>	Країни-члени Європейського Союзу з 1 січня 2007 року
<b>ЄС-23+</b>	Означає такі країни Європейської асоціації виробників цементу (CEMBUREAU): Австрія, Бельгія, Велика Британія, Греція, Данія, Естонія, Ірландія, Іспанія, Італія, Латвія, Люксембург, Нідерланди, Німеччина, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Словенія, Туреччина, Угорщина, Фінляндія, Франція, Хорватія, Чехія, Швейцарія та Швеція
<b>EURITS</b>	Європейське об'єднання відповідального спалювання та переробки спеціальних відходів (European Union for Responsible Incineration and Treatment of Special Waste)

<b>EWC</b>	Європейський каталог відходів (European Waste Catalogue) – ієрархічний перелік описів відходів. У цьому каталозі відходи класифікуються та поділяються на категорії залежно від того, як вони утворилися, та від їх характеристик. На Європейський каталог з відходів посилається ряд Директив ЄС та Рішень Європейської комісії щодо керування відходами
<b>ЗДГ</b>	Знесірчення димових газів
<b>ОДГ</b>	Очищення димових газів
<b>ПМ</b>	Плавлена магнезія
<b>GAINS</b>	Модель взаємодії та сумісних дій з питань парникових газів та забруднення повітря (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies)
<b>КГЗ</b>	Кальцинування у газовому зависі
<b>МГЕЗК (IPCC)</b>	Міжурядова група експертів з питань змін клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change)
<b>IUPAC</b>	Номенклатура Міжнародного союзу фундаментальної та прикладної хімії (International Union of Pure and Applied Chemistry)
<b>В.П.П./ВПП</b>	Втрати при прожарюванні, технологія визначення, наприклад, вмісту органічних речовин, карбонатів, CO <sub>2</sub>
<b>ДОП</b>	Довга обертова піч
<b>ШПЗЖ</b>	Шахтна піч зі змішаним живленням
<b>ТКПВ</b>	Тверді комунально-побутові відходи
<b>НТЗ</b>	(Нижча) теплота згорання
<b>ОЕСР</b>	Організація економічного співробітництва та розвитку
<b>Структура ОЕСР</b>	Структура споживання первинних енергоресурсів з країн ОЕСР
<b>ІІ</b>	Інші печі
<b>ОРС</b>	Органічний цикл Ренкіна
<b>ІШП</b>	Інші шахтні печі
<b>ПХБ</b>	Поліхлоровані біфеніли
<b>ОКК</b>	Осаджений карбонат кальцію
<b>ПХДД</b>	Поліхлорований дибензопарадіоксин
<b>ПХДФ</b>	Поліхлорований дибензофуран
<b>ПХФ</b>	Пентахлорфенол
<b>ПХТ</b>	Поліхлоровані терфеніли
<b>ПЕТ</b>	Поліетилентерефталат
<b>ПІ</b>	Порошкоподібне паливо
<b>ПРП</b>	Прямоточна регенеративна піч
<b>ПЛК</b>	Програмований логічний контролер: цифрова обчислювальна машина, що використовується для автоматизації промислових технологічних процесів
<b>ТЧ</b>	Тверді частки
<b>СОЗ</b>	Стійкі органічні забруднювачі
<b>ОПП</b>	Обертова піч з підігрівачем
<b>ПТФЕ</b>	Політетрафторетилен
<b>ПВХ</b>	Полівінілхлорид
<b>RAINS</b>	Регіональна інформаційно-імітаційна модель забруднення повітря (Regional Air Pollution Information and Simulation)
<b>ПТПВ</b>	Паливо з твердих побутових відходів; паливо з відходів, отримане з попередньо перероблених та відсортованих фракцій відходів
<b>ОП</b>	Обертова піч
<b>РМ</b>	Рядова маса печі
<b>СКВ</b>	Селективне каталітичне відновлення
<b>РЕМ</b>	Растровий електронний мікроскоп
<b>ШП</b>	Шахтна піч
<b>СНКВ</b>	Селективне некаталітичне відновлення
<b>ТХДД</b>	Тетрахлордибензодіоксин
<b>ТЕО</b>	Міжнародні токсичні еквіваленти (діоксини та фурани)
<b>ЗОВ</b>	Загальний органічний вуглець
<b>УВА</b>	Технічна робоча група
<b>UNFCCC</b>	Німецьке федеральне агентство охорони навколишнього середовища (Umweltbundesamt)
<b>РКЗК ООН</b>	Рамкова конвенція ООН про зміну клімату (United Nations Framework Convention on Climate Change)
<b>VDZ</b>	Асоціація німецької цементної промисловості (Verein Deutscher Zementwerke)
<b>ЛОС</b>	Леткі органічні сполуки

## VIII. Технічні терміни

Сплав	Метал, який є поєднанням, у вигляді розчину або сполуки, двох або більше елементів, принаймні один з яких є металом, і у якому результируючий матеріал має властивості металу
Теплота згорання	Виражена у цьому документі як нижча теплота згорання
Каустична магнезія	Каустична кальцинована магнезія (ККМ)
Крейда	Аморфний тип карбонату кальцію
Організовані джерела викидів	Викиди забруднюючих речовин у навколишнє середовище через будь-які труби, незалежно від їх форми чи поперечного перерізу [151, Європейська комісія, 2003]
CL 70 – 80	Класифікаційний стандарт: CL 70 = вапно, визначене у стандарті EN 459 «Будівельне вапно» з вмістом $\text{CaO} + \text{MgO} > 65\%$ CL 80 = вапно, визначене у стандарті EN 459 «Будівельне вапно» з вмістом $\text{CaO} + \text{MgO} > 75\%$
Діагенез	Фізичний, хімічний чи біологічний процес, який перетворює осад в осадову породу шляхом зміни його мінералогічного складу та/або текстури
Неорганізовані викиди	Викиди, що утворюються внаслідок безпосереднього контакту легких чи легких пилоподібних сполук з навколишнім середовищем (атмосфера, за нормальних робочих умов). Вони можуть бути зумовлені такими факторами: <ul style="list-style-type: none"> <li>• особливості конструкції самого обладнання (наприклад, фільтри, сушарки, тощо)</li> <li>• умови роботи (наприклад, під час транспортування матеріалу між контейнерами)</li> <li>• тип роботи (наприклад, операції технічного обслуговування)</li> <li>• або поступове виділення в інше середовище (наприклад, в охолоджувальну воду чи стічні води) [151, Європейська комісія, 2003]</li> </ul> Підвидом неорганізованих викидів є неконтрольовані викиди.
Джерела неорганізованих викидів	Джерела неорганізованих викидів або безпосередніх викидів, яких є кілька, і які розподілені всередині заданої області; ці джерела можуть бути точковими, лінійними, поверхневими чи об'ємними [151, Європейська комісія, 2003]
DL 80 – 85	Класифікаційний стандарт: DL 80 = доломітове вапно, визначене у стандарті EN 459 «Будівельне вапно» з вмістом $\text{CaO} + \text{MgO} > 75\%$ DL 85 = доломітове вапно, визначене у стандарті EN 459 «Будівельне вапно» з вмістом $\text{CaO} + \text{MgO} > 80\%$
Доломіт	Тип вапняку, у якому серед карбонатних фракцій переважає мінерал доломіт, карбонат кальцію та магнію ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )
Відхідні гази	Відпрацьовані гази, що утворюються у процесах випалювання/згорання
Існуючий завод	Завод, який не є новим заводом
Димові гази	Відпрацьовані гази / відхідні гази, що утворюються у процесах випалювання/згорання
Мазут сорту EL	Надлегкий мазут
Неконтрольовані викиди	Викиди, зумовлені негерметичністю обладнання / витоком: викиди у навколишнє середовище внаслідок поступової втрати герметичності елементом обладнання, розрахованим на утримання всередині рідини (газоподібної чи рідкої), зумовлений, по суті, різницею тисків та результируючим витоком. Приклади неконтрольованих викидів: витоки з фланця, насоса, герметизованого чи ущільненого обладнання, тощо [151, Європейська комісія, 2003]
Гідратоване вапно	Гідроксид кальцію, $\text{Ca}(\text{OH})_2$
Іммісія	Потрапляння та рівень забруднюючої речовини, неприємного запаху або шуму у навколишньому середовищі
Витоки повітря	Повітря, яке потрапляє в піч внаслідок витоків
Вапняк	Мінеральна порода, що складається виключно з $\text{CaCO}_3$ і використовується як $\text{CaCO}_3$ або як сировина для виготовлення негашеного вапна (оксиду кальцію) шляхом декарбонізації та гідратованого вапна (гідроксиду кальцію) шляхом гідратації негашеного вапна
Магнезія	Оксид магнію ( $\text{MgO}$ )
Магнезит	Карбонат магнію ( $\text{MgCO}_3$ )
Оксид магнію	$\text{MgO}$ /магнезія
Значна модернізація	Оновлення заводу/печі, що передбачає значні зміни у вимогах чи технології печі або заміну печі
Морфологія	Дослідження структури та форми часток



Новий завод	Завод, введений у дію на майданчику установки після публікації висновків щодо НДТМ для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію, або повна заміна заводу на існуючій основі установки після публікації висновків щодо НДТМ для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію
Підзол	Відбілювальна глина
Пуцолан	Пуцолани – це матеріали, які, хоча й не є в'язучими самі по собі, містять кремнезем (та глинозем) у реактивній формі, здатний об'єднуватися з вапном у присутності води, утворюючи сполуки з в'язучими властивостями. Природний пуцолан складається переважно з дрібної червоно-коричневої вулканічної землі. Розроблено штучний пуцолан, у якому поєднується зола-винос та загартований водою котельний шлак
Пуцолановий цемент	Пуцоланові цементи – це суміш портландцементу та пуцоланового матеріалу, який може бути як природним, так і штучним. Природні пуцолани – це переважно матеріали вулканічного походження, проте до них також належать деякі різновиди діатоміту. До штучних матеріалів належать зола-винос, обпалені глини та сланець
Негашене вапно	Оксид кальцію, CaO
Кремнистий вапняк	Вапняк, який містить діоксид кремнію (SiO <sub>2</sub> )
Спечене доломітове вапно	Суміш оксидів кальцію та магнію (CaO >58% та MgO >41%), що використовується виключно для виробництва вогнетривких матеріалів, з мінімальною насипною густиною 3,05 г <sup>3</sup> /см.
Цемент спеціального призначення	Продукція, яка підпадає під такий код PRODCOM: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 26.51.12.50 – Глиноземний цемент</li> <li>• 26.51.12.90 – Інші гідравлічні цементи</li> </ul>
Точкове вимірювання	Відбір проб у точках, не безперервне вимірювання
Стандартні умови для цементної промисловості та виробництва оксиду магнію	Означають сухий газ з температурою 273,15 К, тиском 1 013 гПа та вмістом кисню 10 %.
Стандартні умови для вапняної промисловості	Означають сухий газ з температурою 273,15 К, тиском 1 013 гПа та вмістом кисню 11 %.
Стандартний стан	Означає стан за температури 273,15 К та тиску 1 013 гПа.
Середньокв. відхилення:	Середньоквадратичне відхилення
T60	Реактивність вапна; означає час, за який негашене вапно нагрівається з 20 до 60 °С при реагуванні з водою
Ультранизьковуглецеве доломітове вапно	Суміш оксидів кальцію та магнію, виготовлена шляхом майже повної декарбонізації доломіту (CaCO <sub>3</sub> · MgCO <sub>3</sub> ). Остаточний вміст CO <sub>2</sub> у продукції менший, ніж 0,25%, а насипна щільність значно менша, ніж 3,05 г/см <sup>3</sup> );
Білий цемент	Продукція, яка підпадає під такий код PRODCOM: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 26.51.12.10 – Білий портландцемент</li> </ul>

## ПОСИЛАННЯ

- [3] Австрія, Верхня Австрія. (1997). «Базові критерії НДТМ для виробництва цементу / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна» ("Basic criteria for BAT cement/Information for cement and lime BREF 2001"), UBA-IB-560, вересень 1997.
- [4] Австрія, Верхня Австрія. (1998). «НДТМ для заводів з виробництва цементу, M-105 (1998) / Інформація про НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("BAT bei Anlagen zur Zementherstellung M-105 (1998) / Information for cement and lime BREF 2001"), M-105 (1998).
- [8] Європейська асоціація виробників цементу (CEMBUREAU) (2001). «Інформація для цементної промисловості / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Information for cement industry/Information for cement and lime BREF 2001").
- [9] CEMBUREAU (листопад 1997). «НДТМ для цементної промисловості, листопад 1997 / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("BAT for the cement industry, November 1997 / Information for cement and lime BREF 2001").
- [10] Сementa AB/Хагстрьом, П. (Hagström, P.) (1994). «Підгрунття для перегляду умов викидів / Інформація для перегляду та оновлення дозвільних умов за 1994 рік, отримана під час відвідування заводу у 1997 році, та інформація, повідомлена за інших нагод / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Underlag för omprövning av utsläppsvillor / Information for reconsideration and updating of permit conditions 1994 obtained during a plant visit 1997 and information communicated at other occasions / Information for cement and lime BREF 2001").
- [11] Коулберн, Д. (Coulburn, D.) (2001). «Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Information for cement and lime BREF 2001").
- [12] Нідерланди (1997). «Голландські зауваження щодо НДТМ для виробництва цементного клінкеру / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Dutch notes on BAT for the production of cement clinker/Information for cement and lime BREF 2001").
- [16] Європейська асоціація виробників вапна (EuLA) (2001). «Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Information for cement and lime BREF 2001").
- [18] Гьоллер (Göller) (2001). «Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Information for cement and lime BREF 2001").
- [19] Хау (Haugh) (2001). «Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Information for cement and lime BREF 2001").
- [20] Ротер, В. (Rother, W.) (січень 1996). «Міжнародний огляд цементної промисловості / Викиди відхідних газів / Доступні технології керування газоподібними викидами на цементних заводах / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("International Cement Review/Exhaust gas emissions/Available control technology for gaseous emissions in cement plants / Information for cement and lime BREF 2001").
- [21] Британська асоціація цементної промисловості (BCA) (жовтень 1997). «Міжнародний огляд цементної промисловості / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("International Cement Review/Information for cement and lime BREF 2001").
- [22] Японія, С. А. (1996). «Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Information for cement and lime BREF 2001").
- [23] де Йонге, Л. (de Jonge, L.) (2001). «Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Information for cement and lime BREF 2001").
- [24] Юнкер, П. (Juncker, P.) (2001). «Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Information for cement and lime BREF 2001").
- [27] Університет Карлсруе, Німеччина (1996). «Контроль викидів зі стаціонарних джерел у Федеративній Республіці Німеччина» – том II, «Контроль викидів важких металів» (серпень 1996), (Науково-дослідницький звіт Федерального агентства охорони навколишнього середовища (UBA) 104 02 360 (січень 1997))» ("Emission Control at Stationary Sources in the Federal Republic of Germany – Volume II, Heavy Metal Emission

- Control (August 1996), (UBA Research report 104 02 360 (January 1997))", Науково-дослідницький звіт UBA 104 02 360 (січень 1997).
- [29] Лозе, Й. (Lohse, J.) (2001). «Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Information for cement and lime BREF 2001").
- [30] Маршал, Ф. (Marchal, F.) (2001). «Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Information for cement and lime BREF 2001").
- [31] Державне агентство з охорони навколишнього середовища Північного Рейну-Вестфалії (LUA NRW), Німеччина (1997). «Матеріали Державного агентства з охорони навколишнього середовища №43, Визначення значимих промислових джерел діоксинів та фуранів у Європі, Європейський кадастр діоксинів (1997)» ("LUA-Materialien No. 43, Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe, The European Dioxin Inventory, (1997)").
- [37] Велика Британія (1996). «Циркуляр щодо комплексного контролю забруднень у Великій Британії: виробництво цементу, виробництво вапна та пов'язані з ними процеси, Директивна записка з комплексного контролю забруднень S2 3.01 (1996) / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("UK IPC Note: Cement Manufacture, Lime Manufacture and Associated Processes, IPC Guidance Note S2 3.01 (1996) / Information for cement and lime BREF 2001").
- [38] Велика Британія (1996). «Технічний та економічний огляд технологічних процесів виробництва цементу та вапна (1996), номер договору: НМІР/СР2/41/197 / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Technical and Economic Review of Cement and Lime Processes (1996), Contract Ref: НМІР/СР2/41/197 / Information for cement and lime BREF 2001").
- [39] Енциклопедія Ульмана (Ullmann's) (1986). «Енциклопедія Ульмана з промислової хімії, 5-та редакція, том А 5, 489-537 (1986), Цемент та бетон / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th edition, Vol. A 5, 489-537 (1986), Cement and Concrete / Information for cement and lime BREF 2001").
- [40] Енциклопедія Ульмана (1990). «Енциклопедія Ульмана з промислової хімії, 5-та редакція, том А 15, 317-345 (1990), Вапно та вапняк / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th edition, Vol. A 15, 317-345 (1990), Lime and Limestone / Information for cement and lime BREF 2001").
- [41] Куппер/Бренруп (Kupper/Brentrup) (1992). «Технологія СНКВ для відновлення NOx у цементній промисловості, журнал World Cement, с. 4-8, березень 1992 / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("SNCR technology for NOx reduction in the cement industry, World Cement, p. 4-8, March 1992 / Information for cement and lime BREF 2001").
- [42] Білльхардт/Кульман/Руланд/Шнайдер/Кселлер (Billhardt/Kuhlmann/Ruhland/Schneider/Xeller) (жовтень 1996). «Поточна ситуація у сфері зниження викидів NOx в цементній промисловості / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Current state of NOx abatement in the cement industry/Information for cement and lime BREF 2001"), журнал ZKG International, том 49, № 10, с. 545-560 (1996).
- [43] Вульф-Шнабель/Лозе (Wulf-Schnabel/Lohse) (1998). «Економічна оцінка технологій зниження NOx в європейській цементній промисловості, звіт складено для DG XI, № договору B4-3040/98/000232/MAR/E1 / Інформація для Довідкового документа з НДТМ для виробництва цементу та вапна за 2001 рік» ("Economic evaluation of NOx abatement techniques in the European Cement Industry, Report compiled for DG XI, Contract № B4-3040/98/000232/MAR/E1 / Information for cement and lime BREF 2001").
- [44] EuLA (2006). «Ескіз для вапняного сектору, частина 2.1 та 2.2» ("Draft lime sector Chapter 2.1 and 2.2").
- [45] Шорхт, Ф. (Schorcht, F.) (2006). «Особисте спілкування шляхом відвідування об'єктів» ("Personal Communication by site visits").
- [46] Німеччина (2006). «Внесок Німеччини, частина I: Галузі виробництва вапна» ("German contribution part I: Lime manufacturing industries"), укладачі: Німецька національна робоча група та представники німецької вапняної промисловості.
- [47] Європейська комісія (2004). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для утилізації хвостів та відвалів у гірничодобувній діяльності»

- ("Reference Document on Best Available Technique for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities").
- [48] Європейська комісія (2005). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для керування переробкою відходів» ("Reference Document on Best Available Techniques for Management of the Waste Treatments Industries").
- [49] Європейська комісія (2000). «Європейський каталог відходів» ("European waste catalogue"), 2000/532/EC2, (2001/573/EC).
- [50] Німеччина (2006). «Внесок Німеччини: Використання альтернативних видів палива у виробництві вапна» ("German contribution: Use of alternative fuels in lime manufacturing"), укладачі: Німецька національна робоча група та представники німецької вапняної промисловості.
- [51] EuLA (2006). «Використання альтернативних видів палива у виробництві вапна» ("Use of alternative fuels in lime manufacturing").
- [53] Norsk Hydro, Норвегія (2001). «Експлуатаційні показники для вапняного заводу з кальцинуванням у газовому зависі (заводу КГЗ)» ("Performance figures for a gas suspension calcination lime plant (GSC plant)").
- [54] EuLA (2006). «Ескіз для вапняного сектору, частина 2.3 та 2.4 і додаткова інформація до цих частин» ("Draft lime sector Chapter 2.3 and 2.4 and additional information on these chapters").
- [55] Іспанія (2006). «Споживання енергії різними типами печей випалу вапна» ("Energy consumption by various types of lime kilns").
- [56] EuLA (2006). «База даних металів Європейської асоціації виробників вапна» ("Metals database EuLA").
- [57] Європейська комісія (2005). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для спалювання відходів» ("Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration Industries").
- [58] Європейська комісія (2003). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для загальних систем переробки/керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі» ("Reference Document on Best Available Technique for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector").
- [59] Європейський Союз (2000). «Директива 2000/76/EC Європейського парламенту та Ради від 4 грудня 2000 року про спалювання відходів» ("Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste"), 2000/76/EC.
- [60] Асоціація німецьких інженерів (VDI) 2094, Німеччина (2003). «Викиди в атмосферу з цементних заводів / Контроль викидів у цементній промисловості, VDI 2094, березень 2003» ("Emissionsminderung Zementwerke/Emission control cement industry, VDI 2094, March 2003").
- [61] Франція (2006). «Розрахунок витрат на технології зниження викидів у вапняній промисловості (електрофільтр, рукавний фільтр, пиловловлювач)» ("Cost calculation regarding abatement techniques in lime industry (ESP, fabric filter, deduster)'), внесок для перегляду.
- [62] Франція / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (DFIU) / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (IFARE) в Університеті Карлсруе (2004). «Експертна група з технічно-економічних проблем (EGTEI) – Ескізний інформаційний документ з вапняної промисловості» ("EGTEI – Draft background document on lime sector").
- [63] Фінляндія (2006). «Внески: Інформація та викиди з фінських цементних та вапняних заводів» ("Contributions: Information and emissions from Finnish cement and lime plants").
- [64] Чехія (2006). «Вапняна промисловість у Чехії» ("The lime industry in the Czech Republic").
- [65] Фінляндія (2006). «Шаблон компонентів викидів – Saxo Mineral, Фінляндія – вапно» ("Template Emission components – Saxo Mineral Finland – lime").
- [66] Австрія (2006). «Австрійська вапняна промисловість» ("The Austrian lime industry").
- [67] Австрія (2006). «Звіт про відвідування заводу, Австрія, травень 2006» ("Plant visit report Austria May 2006").
- [68] EuLA (2006). «База даних викидів для виробництва вапна» ("Database emissions lime manufacturing").
- [70] Угорщина (2006). «Характеристики сировини з вапняного заводу у місті Лабатлан в

- Угорщині» ("Raw material characteristics from Labatlan lime plant in Hungary").
- [71] Угорщина (2006). «Інформація про угорську вапняну промисловість та вимірювання» ("Information regarding Hungarian lime industry and measurements").
- [72] SEMBUREAU (2006-2008). «Загальна інформація про цементну промисловість, оновлення за 2006, 2007 та 2008 роки» ("General information about cement industry, updates 2006, 2007 and 2008").
- [73] SEMBUREAU (2006). «Існуюче національне та міжнародне законодавство та граничні рівні викидів» ("Existing national and international legislation and emission limits").
- [74] SEMBUREAU (2006). «Статистика за 2004 та 2005 роки про використання альтернативних видів палива та матеріалів у виробництві клінкеру в європейській цементній промисловості» ("2004 and 2005 statistics on the use of alternative fuels and materials in the clinker production in the European cement industry").
- [75] Естонія (2006). «Перегляд Довідкового документа з НДТМ для заводу в місті Кунда, виробництво цементу та додатки» ("Review to BREF for Kunda, cement manufacturing and annexes").
- [76] Німеччина, V. (2006). «Цементна промисловість, внесок Німеччини» ("Cement manufacturing industries, German contribution").
- [78] Е. Баатц + Дж. Хайдт (E. Baatz + G. Heidt) (2000). «Перша установка для виробництва електроенергії з відхідного тепла на основі органічного циклу Ренкіна для утилізації залишкового тепла з відхідного повітря клінкерного холодильника» ("First waste heat power generating plant using the Organic Rancine Cycle Process for utilizing residual clinker cooler exhaust air").
- [79] Німеччина (2001). «Низькотемпературне виробництво електроенергії за допомогою органічного циклу Ренкіна на заводі компанії Heidelberger Zement AG у Ленгфурті, результати вимірювань» ("Niedertemperaturverstromung mittels einer ORC-Anlage im Werk Lengfurt der Heidelberger Zement AG, Messergebnisse").
- [80] Альваро А. Лінеро (Alvaro A. Linero) (2006). «Звіт за відрядженням про досвід роботи технології СКВ на заводі з виробництва портландцементу у громаді Зольнхофен, на цементному заводі у муніципалітеті Монселіче та на електростанції, що працює на відходах, компанії ASM Brescia у місті Брешия» ("Trip report on SCR experiences at Solnhofen Portland Zementwerke, Cementeria de Monselice and ASM Brescia waste-to energy plant").
- [81] Castle Cement, Велика Британія (2006). «Представлена інформація та внесок британських цементних заводів під час відвідувань об'єктів» ("Presentations and contributions from British cement plants during site visits").
- [82] «Семекс Регбі» (CEMEX Rugby), Велика Британія (2006). «Представлена інформація та внесок британських цементних заводів під час відвідувань об'єктів» ("Presentations and contributions from British cement plants during site visits").
- [83] SEMBUREAU (2006). «Вказівки щодо відключень на рівнем CO» ("Guideline on CO trips").
- [84] SEMBUREAU (2006). «Питоме споживання енергії» ("Specific energy consumption").
- [85] SEMBUREAU (2006). «Внески з питань зниження викидів NOx» ("Contributions on NOx abatement").
- [86] Європейське об'єднання відповідального спалювання та переробки спеціальних відходів (EURITS) (2006). «Внесок: Шаблон для перегляду Довідкових документів з НДТМ для виробництва цементу та вапна» ("Contribution: Template for the review of the cement and lime BREF").
- [87] Європейська комісія (2001). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для виробництва заліза та сталі» ("Reference Document on Best Available Technique on the Production of Iron and Steel").
- [88] Фонд промислових і технічних досліджень Норвегії (SINTEF) (2006). «Утворення та вивільнення стійких органічних забруднювачів у цементній промисловості» ("Formation and Release of POPs in the Cement Industry").
- [89] Європейська організація регенованого палива (ERFO), Т. Глоріус (T. Glorius), Scorbil, (2005). «Класифікація твердого регенованого палива» ("Classification of solid recovered fuels").
- [90] Угорщина (2006). «Угорська цементна промисловість» ("Hungarian cement industry").
- [91] SEMBUREAU (2006). «Викиди у повітря та альтернативні види палива у європейській цементній промисловості» ("Air emissions and alternative fuels in the European cement industry").

- [92] Австрія (2006). «Австрійська цементна промисловість» ("Austrian cement industry"), внесок з Додатками 1.2 та 3.
- [93] EuLA (2006). «Зниження викидів NO<sub>x</sub> у вапняній промисловості» ("NO<sub>x</sub> abatement in the lime industry").
- [94] Європейський Союз (2004). «Директива 2004/8/ЄС Європейського парламенту та Ради від 11 лютого 2004 року щодо сприяння комбінованому виробництву тепла та електроенергії з урахуванням попиту на корисне тепло на комплексному ринку енергоресурсів, та Директива 92/42/ЄЕС, що вносить в неї зміни» ("Directive 2004/8/EC of the European Parliament and the Council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the integral energy market and amending Directive 92/42/EEC").
- [95] Швеція (2006). «Принцип роботи технології СНКВ – селективного некаталітичного відновлення оксидів азоту (NO, NO<sub>x</sub>)» ("SNCR principle of selective non-catalytic reduction of nitrogen oxides (NO, NO<sub>x</sub>)").
- [96] Європейська комісія (2006). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для викидів зі складів насипних чи небезпечних матеріалів» ("Reference Document on Best Available Technique on emissions from storage of bulk or dangerous materials").
- [97] SEMBUREAU (2007). «Поведінка SO<sub>2</sub> у процесі випалювання клінкеру» ("Behaviour of SO<sub>2</sub> in the clinker burning process").
- [98] Європейська комісія (2000). «Рішення Комісії 2000/532/ЄС від 3 травня 2000 року на заміну Рішення 94/3/ЄС, що встановлює перелік відходів на підставі Статті 1(а) Директиви Ради Європи 75/442/ЄЕС щодо відходів, та Рішення Ради Європи 94/904/ЄС, що встановлює перелік шкідливих відходів на підставі Статті 1<sup>(4)</sup> Директиви Ради Європи 91/689/ЄЕС щодо шкідливих відходів (повідомлено за номером документа C(2000) 1147) (текст, який поширюється на Європейську економічну зону)»
- [99] Європейський Союз (2003). «Директива 2003/87/ЄС Європейського парламенту та Ради від 13 жовтня 2003 року, що встановлює схему торгівлі дозволами на викиди парникових газів у межах Європейської спільноти, та Директива Ради 96/61/ЄС, що вносить поправку до неї» ("Directive 2003/87/EC of the European Parliament and the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC").
- [100] Франція (2006). «Розрахунок витрат на технології зниження викидів у цементній промисловості (електрофільтр, рукавний фільтр, пиловловлювач, СНКВ, первинні технології для NO<sub>x</sub>, вприскування абсорбенту, мокрий скруббер)» ("Cost calculation regarding abatement techniques in cement industry (ESP, bag filter, deduster, SNCR, NO<sub>x</sub> primary technologies, absorbent injection, wet scrubber)"), внесок для перегляду.
- [101] Франція / Агентство з навколишнього середовища та керування енергетикою (ADEME) / Міністерство охорони довкілля та сталого розвитку (MEDD) (2002). «Керівництво французької цементної промисловості з заходів зниження викидів NO<sub>x</sub>» ("The French Cement Industry Guide to NO<sub>x</sub> Emission reduction Measures"), внесок для перегляду.
- [102] Франція / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (DFIU) / Французько-німецький інститут екологічних досліджень (IFARE) в Університеті Карлсруе (2003). «Експертна група з технічно-економічних проблем (EGTEI) – Ескізний інформаційний документ з цементної промисловості» ("EGTEI – Draft background document on cement sector"), внесок для перегляду.
- [103] SEMBUREAU (2006). «Додаткові внески – наприклад, типи та склад цементу, інформація про хромати, інформація про те, чому у цементній промисловості почали використовувати альтернативне паливо з відходів, внески для попереднього ескізу переглянутого Довідкового документа з НДТМ для цементу і вапна, інформація про склад сірого цементу» ("Additional contributions, e.g. types of cement and composition, information on chromates, information on why the cement industry has started to use AFR, contributions to the pre-draft of the revised CL BREF, composition information for grey cement"), внесок для перегляду Довідкового документа з НДТМ.
- [104] HOLCIM/Німецьке агентство технічної співпраці (GTZ) (2006). «Методичні вказівки з сумісної переробки відходів у виробництві цементу» ("Guidelines on Co-processing Waste Materials in Cement Production").
- [105] YARA, M. R. L. (2006). «Внесок щодо цементної промисловості, зниження викидів NO<sub>x</sub>» ("Contribution on cement industry, NO<sub>x</sub> abatement").
- [107] Бельгія (2006). «Представлена інформація та внесок бельгійського цементного заводу у

- Ліксі під час відвідування об'єкта» ("Presentations and contributions from Belgium cement plant in Lixhe during site visit").
- [108] Європейська комісія (2006). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S): ("Reference Document on Best Available Technique for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others Industry (LVIC-S): Chapter 7.7 Magnesium compounds".
- [109] RHI AG (2006). «Виробництво магнезії з магнезиту (природний процес)» ("Magnesia production from magnesite (natural process)").
- [110] Іспанські виробники MgO (2006/2008). «Виробництво магнезії з магнезиту (природний процес) та інформація про викиди CO, шумове випромінювання та вміст сірки у сировині, а також додаткові інформація про рівні викидів пилу, яких вдалося досягти на іспанському заводі з виробництва MgO за допомогою рукавних фільтрів» ("Magnesia production from magnesite (natural process) and information regarding CO, noise emissions and sulphur content in the raw materials as well as additional information regarding dust emission levels achieved in a Spanish MgO plant by using fabric filters").
- [111] Європейський Союз (2003). «Директива 2003/53/ЄС Європейського парламенту та Ради від 18 червня 2003 року, що вносить 26-ту поправку у Директиву Ради 76/769/ЄЕС щодо обмеження збуту та використання деяких небезпечних речовин та препаратів (нонілфенол, нонілфенолетоксилат та цемент)» ("Directive 2003/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 June 2003 amending the 26th time Council Directive 76/769/EEC relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (nonylphenol, nonylphenol ethoxylate and cement)").
- [112] Чехія (2006). «Цементна промисловість у Чехії» ("The cement industry in the Czech Republic").
- [113] Ірландія (2007). «Звіт про викиди твердих часток фракцій PM 10 та PM 2,5 з точки викиду у повітря» ("Report of PM 10's and PM 2.5's from air emission point").
- [114] Швеція (2006). «Технологія СНКВ та викиди NOx на шведських цементних заводах» ("SNCR technique and NOx emissions in Swedish cement plants").
- [116] Франція (2002). «Керівництво французької цементної промисловості з заходів зниження викидів NOx» ("The French Cement Industry Guide to NOx Emission reduction Measures").
- [117] Німеччина (2000). «Фундаментальне дослідження з визначення розподілу фракцій часток у відпрацьованих газах, що викидаються з різних джерел» ("Grundsatzuntersuchung über die Ermittlung der Korngrößenverteilung im Abgas verschiedener Emittenten").
- [118] Німеччина (2007). «Додаткові внески щодо виробництва цементу – наприклад, виготовлення білого цементу, видалення пилу з цементних печей за допомогою рукавних фільтрів, поверхневих фільтрів, спечених пластинчастих фільтрів» ("Additional contributions regarding cement production, e.g. white cement manufacture, dedusting cement kilns with fabric filters, surface filters, sintered lamella filters").
- [119] Соболев, К. (Sobolev, K.) (2001). «Білий цемент: проблеми виробництва та якості» ("White cement: Problems of production and quality"), журнал Cement and Concrete World, Туреччина, с. 34-42.
- [120] Іспанія (2007). «Інформація про виробництво білого цементу» ("Information on white cement production").
- [122] Європейська комісія (2004). «Рішення Комісії від 29 січня 2004 року, що встановлює керівні принципи моніторингу та звітності щодо викидів парникових газів згідно з Директивою 2003/87/ЄС Європейського Парламенту та Ради» ("Commission's Decision of 29 January 2004 establishing guidelines for the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council").
- [123] Ірландія (2005). «Внески щодо зведеного звіту про короткочасні експлуатаційні випробування СНКВ на заводі компанії Irish Cement у місті Лімеріку» ("Contributions regarding summary statement following short term SNCR trials at Limerick Works of Irish Cement").
- [124] Європейська комісія (2001). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для целюлозної та паперової промисловості» ("Reference Document on the Best Available Technique in the Pulp and Paper Industry").
- [125] Європейська комісія (2006). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для харчової, питної та молочної промисловості» ("Reference Document on the Best Available Technique in the Food, Drink and Milk Industry").

- [126] Оутс, Дж. А. Г. (Oates, J. A. H.) (1998). «Вапно та вапняк: хімія та технологія, виробництво та способи використання» ("Lime and Limestone: Chemistry and Technology, Production and Uses", ISBN-10: 3527295275/ ISBN-13: 978-3527295272).
- [127] Португалія (2007). «Португальські заводи з виробництва природного гідравлічного вапна – викиди леткого органічного вуглецю» ("Portuguese Natural Hydraulic Lime Plants – volatile organic carbon emissions").
- [128] Португалія (2007). «Португальські заводи з виробництва природного гідравлічного вапна – викиди чадного газу» "Portuguese Natural Hydraulic Lime Plants – carbon monoxide emissions".
- [129] EuLA (2006). «База даних викидів з вапнообпалювальних печей» ("Database emissions from lime kilns").
- [130] Дрнек/Маєр (Drnek/Maier) (2007). «Вплив законодавства у сфері охорони навколишнього середовища на економіку виробництва магнезії» ("The impact of environmental legislation on the economics of magnesia production").
- [131] YARA, M. R. L. (2007). «Внесок щодо цементної та вапняної промисловості, СНКВ у виробництві цементу та вапна – відновлювальні реагенти» ("Contribution on cement and lime industries, SNCR in cement and lime production – reducing agents").
- [132] SEMBUREAU/Federhen (2007). «Внесок: Сухий скруббер» ("Contribution: Dry scrubber").
- [133] SEMBUREAU/Federhen (2007). «Сумісне виробництво електроенергії з відхідного тепла» ("Co-generation of power from waste heat").
- [134] SEMBUREAU/Federhen (2007). «Технічне застосування волокна у процесах виготовлення цементу та на цементних заводах» ("Technical application of fibres in cement manufacturing process and cement works").
- [135] SEMBUREAU/Federhen (2007). «Внесок: Гібридний пиловловлювач» ("Contribution: Hybrid dust collector").
- [136] Європейська комісія, С., консультативна група March Consulting, консультанти з керування та інженерного проектування MAIN Management e Ingeneria Consultores (1993). «Енергетичні технології у цементному секторі промисловості» ("Energy Technology in the Cement Industrial Sector"), заключний звіт, № договору XVII/4.1000/E/91-16.
- [137] Кляйн/Хьоніг (Klein/Hoenig) (2006). «Модельний розрахунок потреби у паливі для процесу випалювання клінкеру» ("Model calculation of the fuel requirement for the clinker burning process"), Cement International, передрук з 3/2006, FIZ 2006, с. 44-63.
- [138] Італія (2007). «Сировина для виробництва білого клінкеру в Італії» ("Raw materials for white clinker production in Italy").
- [139] Італія (2007). «Італійське виробництво вапна» ("Italian lime production").
- [140] Італія (2007). "Цементний завод – цементний завод у муніципалітеті Монселіче, установка СКВ".
- [141] Лайбахер/Беллін/Лінеро (Leibacher/Bellin/Linero) (2007). «СКВ для високих концентрацій пилу успішно показує себе на цементному заводі в Монселіче» ("High dust SCR succeeds at Cementeria di Monselice").
- [142] EnvNGO (Програма громадської діяльності для сприяння неурядовим організаціям, що займаються головним чином захистом навколишнього середовища)/Теберт (Tebert) (2007). «Зниження рівнів СО у вапнообпалювальних печах» ("CO-Minderung bei Kalköfen").
- [143] Вільямс, П.Т. (Williams, P. T.) (2005). «Утилізація відходів» ("Waste Treatment Disposal"), 0470849126.
- [144] Адлхох, Г.-Й. (Adlhoch, H.-J.) (1996). «Спечені пластинчасті фільтри у цементній промисловості» ("Sinterlamellenfilter in der Zementindustrie"), журнал ZKG International, № 10/1996, с. 594-601.
- [145] Лайбінгер/Кюберль (Leibinger/Köberl) (2001). «Нова концепція мінімізації споживання енергії для пічних фільтрів у цементній промисловості» ("Neuartiges Energie-Minimierungskonzept für Ofenfilter in der Zementindustrie"), журнал ZKG International, № 11/2001, с. 618-629.
- [146] Лайбінгер/Нойманн (Leibinger/Neumann) (2003). «Зниження витрат шляхом підвищення ефективності технологічних фільтрів у цементній промисловості» ("Kostenreduktion durch höheres Leistungspotential bei Prozessfiltern in der Zementindustrie"), журнал ZKG International, № 2/2003, с. 44-52.
- [147] Мармор/Петцольд (Marmor/Petzold) (2006). «Економне знепилення за допомогою



- поверхневих фільтрів, частина 3» ("Wirtschaftliche Entstaubung mit Oberflächenfiltern, Teil 3"), журнал ZKG International, № 10/2006, с. 82-87.
- [148] Райтмаєр (Reitemeier) (2005). «Нові високоєфективні системи знепилення на цементному заводі Holcim у поселенні Дадфілді» ("Neue Hochleistungs-Entstaubungsanlagen im Holcim-Zementwerk Dudfield"), журнал ZKG International, № 8/2005, с. 75-79.
- [149] CEN/EN 197-1 (2000). «Цемент. Частина 1: Європейські норми щодо складу, технічних характеристик та критеріїв відповідності вимогам для загальнобудівельних цементів» ("Cement-Part 1: European Norm on composition, specifications and conformity criteria for common cements").
- [150] Фабрельяс/Ларрасабаль/Мартінес/Санс/Руїс/Абад/Рівера (Fabrellas/Larrazabal/Martinez/Sanz/Ruiz/Abad/Rivera) (2004). «Глобальна оцінка викидів ПХДД/Ф в іспанській цементній галузі. Вплив традиційних/альтернативних видів палива» ("Global Assessment of PCDD/F emissions from the Spanish cement sector. Effect of conventional/alternative fuels").
- [151] Європейська комісія (2003). «Довідковий документ щодо загальних принципів моніторингу» ("Reference Document on the General Principles of Monitoring").
- [152] Німеччина (2007). «Галузь виробництва вапна. Зниження викидів NOx для обертової печі з підігрівачем за допомогою технології СНКВ (практичний досвід)» ("Lime Manufacturing Industries – Reduction of NOx emissions at a rotary kiln with preheater by using the SNCR technique (practical experience)").
- [153] Castle Cement, Велика Британія, Р. W. (2007). «Заявка на зміни у дозволі з комплексного запобігання та контролю забруднень BL 1096, тверде відновлене (відновлювальне) паливо (ТВП) у печі 4» ("Application for variation to IPPC permit BL 1096, Solid Recovered Fuel (SRF) on kiln 4").
- [154] СЕМЕХ, Велика Британія (2006). «Заявка на зміни у вимогах до запобігання та контролю забруднень для забезпечення можливості використання палива, відомого під назвою Climafuel» ("Application for a variation under PPC to allow use of a fuel known as Climafuel"), дозвіл BL 7248.
- [155] Німеччина (2007). «Галузь виробництва вапна. Сумісне спалювання відходів» ("Lime manufacturing industries – Co-incineration of waste").
- [156] Німеччина (2007). «Галузь виробництва вапна. Німецький приклад використання твердих відходів у якості палива в обертовій печі (у якості добавок)» ("Lime manufacturing industries – German example for the use of solid wastes as fuels in a rotary kiln (additions)").
- [157] Німеччина (2007). «Галузь виробництва вапна. Мінімізація викидів оксидів азоту за допомогою пальників з низьким виділенням low у кільцевих шахтних печах» ("Lime manufacturing industries – Minimisation of nitrogen oxide emissions by low NOx burners at annular shaft kilns").
- [158] Німеччина (2007). «Галузь виробництва цементу. Тривалість та частота відключень за рівнем CO» ("Cement Manufacturing Industries - Duration and frequency of CO trips").
- [159] Ірландія (2006). «Звіти про викиди CO внаслідок відключень за рівнем CO на цементних заводах в Ірландії» ("Reports of CO emissions because of CO trips from cement plants in Ireland").
- [160] Німеччина (2007). «Німецький досвід 6-місячного випробування експлуатаційних показників СНКВ» ("German experience with a 6 months SNCR performance test").
- [161] Австрія (2006). «Дані про експлуатацію та дозволи від ЕІА для австрійських цементних заводів у поселенні Вітерсдорф (Wietersdorfer&Peggauer Zementwerke GMBH) та у комуні Рецнай (Lafarge Perlmooser AG)» ("Operation and permit data from EIA from Austrian cement plants Wietersdorf (Wietersdorfer&Peggauer Zementwerke GMBH) and Retznei (Lafarge Perlmooser AG)").
- [162] А ТЕС (2006). «Модернізація цементних заводів Wietersdorfer and Peggauer Zementwerke GmbH (Конференція СЕМТЕХ у Римі 2006 року)» ("Modernisation of Wietersdorfer and Peggauer Zementwerke GmbH (CEMTECH Conference Rome 2006)").
- [163] Castle Cement, Велика Британія (2006). «Інформація про потребу в енергії заводу «Пейдсвуд Веркс» (Padeswood Works) компанії Castle Cement, Велика Британія» ("Information on energy demand at Padeswood plant, Castle Cement UK").
- [164] Rheinkalk, W. F. (2007). «Оцінка вимірювань викидів та умов горіння за період з 01.01.2006 по 31.12.2006 на вапняному заводі з обертовою піччю у Фландрії» ("Beurteilung der Messungen von Emissionen und Verbrennungsbedingungen für den Zeitraum 01.01.2006 bis

- 31.12.2006, Kalk-Drehrohrofenanlage-Werk Flandersbach").
- [165] Європейська асоціація гірничодобувної промисловості, металевих руд та промислових мінералів (EUROMINES) (2006). «Виробництво магnezії з магnezиту (природний процес)» ("Magnesia production from magnesite (natural process)").
- [166] Європейський Союз (1995). «Регламент Ради (ЄС) №384/96 від 22 грудня 1995 року щодо захисту від демпінгового імпорту з країн, які не є членами Європейської спільноти» ("Council Regulation (EC) no 384/96 of 22 December 1995 on protection against dumped imports from countries not members of the European Community"), Офіційний журнал L 056, 06.03.1996, с. 0001 – 0020.
- [167] Європейський Союз (2005). «Регламент Ради (ЄС) №778/2005 від 23 травня 2005 року, що встановлює остаточне антидемпінгове мито на імпорт оксиду магнію з Китайської Народної Республіки» ("Council Regulation (EC) No 778/2005 of 23 May 2005 imposing a definitive anti-dumping duty on imports of magnesia oxide originating on the People's Republic of China"), Офіційний журнал L 131 , 25.05.2005, с. 0001 - 0017.
- [168] ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію» (2007). «Об'єднана та відсортована зведена таблиця коментарів до ескізу 1 та інформації» ("Merged and sorted comments master spread sheet on draft 1 and information").
- [169] Італія (2007). «Інформація про витрати на ПРП (для обпалювання вапна) з коментарями до ескізу 1 переглянутого Довідкового документа з НДТМ» ("Information on costs for PFRK (lime) provided with the comments for draft 1 of the revised BREF").
- [170] Австрія (2007). «Внесок щодо вхідних критеріїв для відходів станом 2007 рік» ("Contribution on waste input criteria 2007").
- [171] А ТЕС (2007). «Звіт про використання енергії на цементному заводі W&P в Австрії» ("Statement regarding energy use in the cement plant W&P in Austria").
- [172] Франція (2007). «Викиди твердих часток (фракцій РМ 10 та РМ 2,5) у цементній промисловості» ("Emissions of particles (PM 10 and PM 2.5) in the cement industry").
- [173] Німеччина (2007). «Підсумковий звіт про дослідницький проєкт: «Можливості та межі застосування технології у традиційній обертовій печі в цементній промисловості» на цементному заводі Märker Zement GmbH у районі Харбург» ("Abschlussbericht zum Forschungsprojekt: "Möglichkeit und Grenzen der SNCR Technik bei einer klassischen Drehofenanlage der Zementindustrie" im Zementwerk Harburg der Märker Zement GmbH").
- [174] Європейська асоціація сумісної переробки (EUCOPRO) (2007). «Приклади вхідних критеріїв для відходів з кількох країн-членів ЄС» ("Examples of waste input criteria from several EU Member States").
- [175] Lafarge (2007). «Інформація про викиди SOx на заводі у комуні Рецнай в Австрії» ("Information regarding SOx emissions at Retznei works in Austria").
- [176] Франція (2008). «Внески щодо перспективних технологій у цементній промисловості (зниження викидів SOx, пилу)» ("Contributions regarding emerging techniques in the cement industry (reduction of SOx , dust emissions)").
- [177] EuLA (2008). «Оновлені внески щодо виробництва вапна – наприклад, вдосконалення енергоефективності у вапнообпалювальних печах, показники процесу виготовлення вапна, дані про викиди пилу у Великій Британії (з використанням мокрих скрубєрів)» ("Updated contributions regarding lime manufacturing, e.g. improvement on energy efficiency in lime kilns, figure on the lime manufacturing process, dust emissions data from UK (using wet scrubbers)").
- [178] SEMBUREAU (2008). «Використання палива з відходів у цементних печах (сумісна переробка відходів у цементних печах) – Оцінка спалювання відходів Інституту екології та політики (Ökopol)» ("Use of waste fuels in cement kilns (Co-processing of waste in cement kilns) - Ökopol Waste Incineration Assessment").
- [179] Європейська комісія (2006). «Довідковий документ щодо економічних та міжсередовищних наслідків» ("Reference Document on Economics and Cross-Media Effects").
- [180] Маушітц (Mauschitz) (2004). «Викиди з заводів австрійської цементної промисловості V» ("Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie V").
- [181] Європейська комісія (2008). «Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для енергоефективності» ("Reference Document on the Best Available Techniques in Energy Efficiency").
- [182] ТРГ «Цемент, вапно та оксид магнію» (2008). «Об'єднана та відсортована зведена таблиця

- коментарів до другої частини ескізу 1 та інформації» ("Merged and sorted comments master spread sheet on second part of draft 1 and information").
- [183] Шедний/Шиндлер (Szednyj/Schindler) (2005). «Потенціал зниження викидів газів і пилу до національних максимальних рівнів (NEC) до 2010 року в австрійській цементній промисловості» (Minderungspotentiale der NEC-Gase und Staub bis 2010 der Österreichischen Zementindustrie"), випуск BE-261.
- [184] Стандарт CEN EN-1948 (2007). «Стаціонарні джерела викидів. Визначення масової концентрації ПХДД/ПХДФ та діоксиноподібних ПХБ. Частина 4: Відбір проб та аналіз діоксиноподібних ПХБ» ("Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of PCDD/PCDF and dioxin-like PCBs – Part 4: Sampling and analysis of dioxin-like PCBs").
- [185] Хакль і Маушітц (Hackl und Mauschwitz) (2003). «Викиди з заводів австрійської цементної промисловості IV» ("Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie IV").
- [186] Міжнародний форум з акредитації (IAF) (2010). Веб-сайт Міжнародного форуму з акредитації <http://www.iaf.nu>.
- [187] ISO (2004). ISO 14001: 2004 [http://www.iso.org/iso/iso\\_14000\\_essentials.htm](http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials.htm).
- [188] Генеральний директорат Європейської комісії з питань навколишнього середовища (2010). Що таке Схема екологічного менеджменту та аудиту – EMAS? [http://ec.europa.eu/environment/emas/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm).
- [189] Європейський Союз (2009). «Регламент (ЄС) №1221/2009 Європейського парламенту на Раді від 25 листопада 2009 року щодо добровільної участі організацій у Схемі екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) Європейської спільноти, що анулює Регламент (ЄС) №761/2001 та Рішення Європейської комісії 2001/681/ЄС і 2006/193/ЄС» ("Regulation (EC) No 1221/2009 of the European Parliament and the Council of 25 November 2009 on the voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS), repealing Regulation (EC) No 761/2001 and Commission Decisions 2001/681/EC and 2006/193/EC").
- [190] ISO (2010). Технічний комітет 207 <http://www.tc207.org>.
- [191] Європейський Союз (2009). «Директива 2009/29/ЄС Європейського парламенту і Ради від 23 квітня 2009 року, що вносить поправки у Директиву 2003/87/ЄС, вдосконалюючи і розширюючи схему торгівлі дозволами на викиди парникових газів Європейської спільноти» ("Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community").
- [192] SEMBUREAU (2012): «Класифікація палива з відходів, зіставлена з класифікацією Європейського каталогу відходів (EWC)» ("Waste fuel groupings versus those of the EWC").
- [193] Європейський Союз (2007). «Рішення Комісії від 18 липня 2007 року, що встановлює керівні принципи моніторингу та звітності щодо викидів парникових газів згідно з Директивою 2003/87/ЄС Європейського Парламенту та Ради» ("Commission Decision of 18 July 2007 establishing guidelines for the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council").

Європейська комісія

EUR 26129 – Об'єднаний дослідницький центр – Інститут перспективних технологічних досліджень

Назва: Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію

Автор(и): Фрауке Шорхт, Іоанна Коурті, Б'янка Марія Скалет, Серж Рудье, Луїс Дельгадо Санчо

Люксембург: Центр публікацій Європейського Союзу

2013 – 480 с. – 21,0 x 29,7 см

EUR – Серія «Наукові та технічні дослідження» – ISSN 1831-9424 (онлайн),

ISBN 978-92-79-32944-9 (pdf)

doi:10.2788/12850

Анотація

Довідковий документ з НДТМ під заголовком «Виробництво цементу, вапна та оксиду магнію» входить до складу серії, у якій представлені результати обміну інформацією між країнами-членами ЄС, відповідними галузями промисловості, неурядовими організаціями, що сприяють захисту довкілля, та Комісією, здійсненого з метою складання, перегляду та, за необхідності, оновлення довідкових документів з НДТМ відповідно до вимог Статті 13 (1) Директиви. Цей документ опублікований Європейською комісією відповідно до Статті 13 (6) Директиви.

Цей документ BREF для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію охоплює такі види діяльності, вказані у Додатку I до Директиви 2010/75/EU:

• 3.1. Виробництво цементу, вапна та оксиду магнію:

- (а) виробництво цементного клінкеру в обертюваних печах виробничою потужністю понад 500 тонн на добу або в інших печах виробничою потужністю понад 50 тонн на добу;
- (б) виробництво вапна в печах виробничою потужністю понад 50 тонн на добу;
- (в) виробництво оксиду магнію в печах виробничою потужністю понад 50 тонн на добу.

У цьому документі також розглядаються деякі види діяльності, які можуть бути безпосередньо пов'язані з зазначеними видами діяльності на тому ж об'єкті.

Важливими питаннями для реалізації Директиви 2010/75/EU у галузі виробництва цементу, вапна та оксиду магнію є зниження викидів у повітря; ефективне використання енергії та сировини; мінімізація утворення, регенерація та переробка залишків технологічного процесу; а також ефективні системи екологічного та енергетичного менеджменту.

Цей документ BREF складається з 4 основних частин: частина 1 – «Цементна промисловість», частина 2 – «Вапняна промисловість» та частина 3 «Виробництво оксиду магнію» (сухий технологічний метод, що базується на використанні видобутого природного магнезиту. У розділах 1 та 2 частин 1 – 3 наведена загальна інформація про відповідні сектори промисловості та про промислові технологічні процеси і технології, що використовуються в цьому секторі. У розділах 3 частин 1 – 3 наведено дані та інформацію про екологічні показники установок, що працюють в цьому секторі. У розділах 4 частин 1 – 3 описані технології запобігання або, якщо це недоцільно, зменшення впливу установок цього сектору на довкілля, які були враховані при визначенні НДТМ. У розділах 5 частин 1 – 3 представлена інформація про «перспективні технології» згідно з їх визначенням у Статті 3 (14) Директиви. У частині 4 наведені висновки щодо НДТМ згідно зі Статтею 3 (12) Директиви.



В ролі штатного наукового центру Комісії, Місія Об'єднаного дослідницького центру полягає у наданні програмам ЄС незалежної, заснованої на доказах наукової та технічної підтримки протягом всього часу дії програми.

Тісно співпрацюючи із Генеральними дирекціями, що займаються цією політикою, Об'єднаний дослідницький центр вирішує ключові суспільні проблеми, водночас сприяючи появі інновацій шляхом розробки нових стандартів, методів та інструментів, а також спільного використання і передавання своїх ноу-хау країнам-членам ЄС та міжнародній спільноті.

До ключових сфер політики належать такі питання, як зміна навколишнього середовища і клімату; енергія та транспорт; сільське господарство та продовольча безпека; охорона здоров'я та захист прав споживачів; цифрове суспільство та політика щодо електронних засобів комунікації; безпека та захист, у тому числі в ядерній енергетиці; підтримка усіх цих питань досягається завдяки наскрізному та міждисциплінарному підходу.