

ДОВІДКОВИЙ ЗВІТ ОБ'ЄДНАНОГО ДОСЛІДНИЦЬКОГО ЦЕНТРУ (JRC)

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

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

СКАЛЕТ Б'янка Марія (SCALET Bianca Maria),
ГАРСІА МУНЬОС Маркос (GARCIA MUÑOZ Marcos),
СІССА Айві Кейроло (SISSA Aivi Querolo),
РУДЬЄ Серж (ROUDIER Serge),
ДЕЛЬГАДО САНЧО Луїс (DELGADO SANCHO Luis)

2013



Європейська комісія
Об'єднаний дослідницький центр
Інститут перспективних технологічних досліджень

Контактна інформація

Європейське бюро з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC)

Адреса: Об'єднаний дослідницький центр, виставковий центр Едіфіціо Експо (Edificio Expo), кальє Інка Гарсіласо (с/ Inca Garcilaso), 3, Севілья, E-41092, Іспанія

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

Тел.: +34 95 4488 284

Факс: +34 95 4488 426

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

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

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.

«Європ 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.

Д о с т у п д о н е ї м о ж л и в и й ч е р е з с е р в е р

Є в р о п и <http://europa.eu/>.

JRC 78091

EUR 25786 EN

ISBN 978-92-79-28284-3 (pdf)

ISBN 978-92-79-28285-0 (друкована копія)

ISSN 1831-9424 (онлайн)

ISSN 1018-5593 (друкована копія)

doi:10.2791/69502

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
скла

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

Автори:

СКАЛЕТ Б'янка Марія,
ГАРСІА МУНЬОС Маркос,
СІССА Айві Кейроло,
РУДЬЄ Серж,
ДЕЛЬГАДО САНЧО Луїс

2013

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 Рудье (Керівника EIPPCB) та Луїса Дельгадо (Luis Delgado) (Керівника підрозділу екологічного виробництва та споживання ресурсів).

Основним автором цього Довідкового документа з найкращих технологій та методів управління (BREF) з боку EIPPCB була пані Б'янка Марія Скалет. Роботу над документом розпочали пан Маркос Гарсія Муньос та пані Айві Сісса Кейроло.

Цей звіт за проєктом був складений у рамках впровадження Директиви щодо промислових викидів (2010/75/EU) і є результатом обміну інформацією, передбаченого Статтею 13 Директиви для виробництва скла.

У обміні інформацією взяли участь країни-члени ЄС (Австрія, Бельгія, Болгарія, Велика Британія, Данія, Ірландія, Іспанія, Італія, Люксембург, Нідерланди, Польща, Португалія, Румунія, Угорщина, Фінляндія, Франція, Швеція), промислові асоціації, що представляють європейських виробників скла (Постійний комітет скляної промисловості – CPIV, Європейська асоціація тарного скла – FEVE, Торгова асоціація скляної промисловості «Скло для Європи» – Glass for Europe, Європейська асоціація виробників скловолокна – APFE, Комітет європейських виробників сортового скла – European Domestic Glass, Європейська асоціація спеціального скла – ESGA, Європейська асоціація виробників мінеральної вати – EURIMA, Європейська торгова асоціація виробників високотемпературного ізоляційного волокна – ECFIA, Іспанська асоціація виробників фрит, полив та керамічних пігментів – ANFFECC) та Інститут екології і політики (Ökorol), що представляє Європейське екологічне бюро.

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):

Довідковий документ з найкращих доступних технологій...	Код
Бойні та переробка побічних продуктів тваринної промисловості	SA
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
Викиди зі складів	EFS
Виробництво деревних плит	WBP
Виробництво заліза та сталі	IS
Виробництво неорганічних хімічних речовин спеціального призначення	SIC
Виробництво полімерів	POL
<i>Виробництво скла</i>	<i>GLS</i>
Виробництво хімічної продукції тонкого органічного синтезу	OFC
Виробництво цементу, вапна та оксиду магнію	CLM
Дублення шкір та шкір	TAN
Енергоефективність	ENE
Загальні системи переробки/керування стічними водами та відпрацьованими газами у хімічній галузі	CWW
Інтенсивне птахівництво та свинарство	IRPP
Керамічне виробництво	CER
Ковальська та ливарна промисловість	SF
Кольорова металургія	NFM
Консервування деревини та дерев'яних виробів за допомогою хімічних речовин	WPC
Обробка чорних металів	FMP
Переробка відходів	WT
Переробка нафти і газу	REF
Поверхнева обробка за допомогою органічних розчинників	STS
Поверхнева обробка металів та пластмас	STM
Промислові системи охолодження	ICS
Спалювання відходів	WI
Текстильна промисловість	TXT
Утилізація хвостів та відвалів у гірничодобувній діяльності	MTWR
Харчова, питна та молочна промисловість	FDM
Целюлозно-паперова промисловість	PP
Хлорно-лужне виробництво	CAK
Довідковий документ...	
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 скла був прийнятий Європейською комісією у 2001 році. Даний документ є результатом перегляду цього початкового документа BREF. Перегляд розпочався у березні 2006 року.

Довідковий документ з НДТМ для виробництва скла 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 (2012/134/EU) щодо висновків стосовно НДТМ, які наведені у Частині 5, було прийняте 28 лютого 2012 року і опубліковане 8 березня 2012 року¹.

2. Учасники обміну інформацією

Згідно з вимогами Статті 13 (3) 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 розробки ескізу цього документа. Роботою ТРГ керувало Європейське бюро комплексного запобігання та контролю забруднень (Об'єднаного дослідницького центру Комісії).

3. Структура та зміст цього документа

У частинах 1 та 2 наведена загальна інформація про скляну промисловість та промислові процеси і технології, що використовуються у цьому секторі промисловості.

У частині 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.

У частині 4 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.

(¹) OJ L 70, 08.03.2012, с. 1

У частині 5 наведені висновки щодо НДТМ згідно зі Статтею 3 (12) Директиви.

У частині 6 представлена інформація про «перспективні технології» згідно з їх визначенням у Статті 3 (14) Директиви.

Заключні зауваження та рекомендації щодо майбутньої роботи наведені у частині 7.

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 частині 4. Вони дають приблизне уявлення про величину витрат та вигод. Проте фактичні витрати та вигоди, пов'язані з застосуванням технології, 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.

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 з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC)

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

Веб-сайт: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

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

ПЕРЕДМОВА.....	i
СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ	xvii
1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ.....	1
1.1 Структура галузі.....	1
1.2 Вступ	2
1.2.1 Характеристики скла	5
1.2.2 Загальна класифікація типів скла	6
1.2.3 Історичні витoki	7
1.3 Тарне скло	9
1.3.1 Огляд сектора промисловості	9
1.3.2 Вироби та ринки.....	11
1.3.3 Комерційні та фінансові міркування.....	12
1.3.4 Основні екологічні проблеми	13
1.4 Плоске скло.....	13
1.4.1 Огляд сектора промисловості	13
1.4.2 Вироби та ринки.....	15
1.4.3 Комерційні та фінансові міркування.....	16
1.4.4 Основні екологічні проблеми	17
1.5 Скловолокно з безперервних ниток.....	18
1.5.1 Огляд сектора промисловості	18
1.5.2 Вироби та ринки.....	19
1.5.3 Комерційні та фінансові міркування.....	20
1.5.4 Основні екологічні проблеми	20
1.6 Сортове скло	21
1.6.1 Огляд сектора промисловості	21
1.6.2 Вироби та ринки.....	22
1.6.3 Комерційні та фінансові міркування.....	23
1.6.4 Основні екологічні проблеми	24
1.7 Спеціальне скло	25
1.7.1 Огляд сектора промисловості	25
1.7.2 Вироби та ринки.....	26
1.7.3 Комерційні та фінансові міркування.....	28
1.7.4 Основні екологічні проблеми	29
1.8 Мінеральна вата.....	29
1.8.1 Огляд сектора промисловості	29
1.8.2 Вироби та ринки.....	31
1.8.3 Комерційні та фінансові міркування.....	31
1.8.4 Основні екологічні проблеми	32
1.9 Високотемпературне ізоляційне волокно	33
1.9.1 Огляд сектора промисловості	33
1.9.2 Вироби та ринки.....	33
1.9.3 Комерційні міркування.....	35
1.9.4 Основні екологічні проблеми	35
1.10 Фрити.....	36
1.10.1 Огляд сектора промисловості	36
1.10.2 Вироби та ринки.....	37
1.10.3 Комерційні міркування.....	37
1.10.4 Основні екологічні проблеми	38
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ.....	39
2.1 Транспортування матеріалів	39
2.2 Варіння скла.....	40
2.2.1 Сировина для виробництва скла	40
2.2.2 Процес варіння скла.....	42
2.3 Технології варіння скла	45
2.3.1 Регенеративні печі	47
2.3.2 Традиційна рекуперативна піч.....	49

2.3.3	Киснево-паливне варіння скла	50
2.3.4	Електричне варіння скла	50
2.3.5	Комбіноване варіння скла на викопному паливі та електроенергії	51
2.3.6	Періодичне порційне варіння скла	52
2.3.7	Спеціальні конструкції печей	52
2.4	Тарне скло	53
2.5	Плоске скло	56
2.5.1	Процес виробництва флоат-скла	57
2.5.2	Процес виробництва прокатного скла (візерункового та армованого скла)	59
2.6	Скловолокно з безперервних ниток	60
2.7	Сортове скло	62
2.8	Спеціальне скло	64
2.9	Мінеральна вата	68
2.9.1	Скловата	68
2.9.2	Кам'яна вата	71
2.10	Високотемпературне ізоляційне волокно (алюмосилікатне / вогнетривке керамічне волокно – ASW/RCF та волокно на основі силікатів лужно-земельних металів – AES) ..	74
2.11	Фрити	77
2.11.1	Процес виробництва фрит	77
2.11.2	Скловарні печі, що використовуються у виробництві фрит	78
2.11.3	Фрити як сировина для виробництва полив та емалей	80
3	ПОТОЧНІ РІВНІ СПОЖИВАННЯ РЕСУРСІВ ТА ВИКИДІВ	81
3.1	Вступ	81
3.2	Загальний огляд скляної промисловості	82
3.2.1	Вхідні ресурси технологічного процесу	82
3.2.2	Вихідні продукти технологічних процесів	85
3.2.2.1	Викиди у повітря	85
3.2.2.2	Викиди у воду	89
3.2.2.3	Викиди інших відходів	90
3.2.3	Енергія	90
3.2.4	Шум	96
3.3	Тарне скло	96
3.3.1	Вхідні ресурси технологічного процесу	98
3.3.2	Викиди у повітря	99
3.3.2.1	Сировина	99
3.3.2.2	Варіння скла	99
3.3.2.3	Операції подальшої обробки	111
3.3.2.4	Дифузні / леткі викиди	112
3.3.3	Викиди у воду	112
3.3.4	Інші відходи	113
3.3.5	Енергія	113
3.4	Плоске скло	116
3.4.1	Вхідні ресурси технологічного процесу	116
3.4.2	Викиди у повітря	117
3.4.2.1	Сировина	117
3.4.2.2	Варіння скла	117
3.4.2.3	Операції подальшої обробки	119
3.4.2.4	Дифузні / леткі викиди	120
3.4.3	Викиди у воду	120
3.4.4	Інші відходи	120
3.4.5	Енергія	121
3.5	Скловолокно з безперервних ниток	122
3.5.1	Вхідні ресурси технологічного процесу	123
3.5.2	Викиди у повітря	124
3.5.2.1	Сировина	124
3.5.2.2	Варіння скла	124
3.5.2.3	Операції подальшої обробки	126
3.5.2.4	Дифузні / леткі викиди	126
3.5.3	Викиди у воду	127
3.5.4	Інші відходи	128
3.5.5	Енергія	129
3.6	Сортове скло	130

3.6.1	Вхідні ресурси технологічного процесу	132
3.6.2	Викиди у повітря.....	133
3.6.2.1	Сировина	133
3.6.2.2	Варіння скла.....	133
3.6.2.3	Операції подальшої обробки	134
3.6.2.4	Дифузні / леткі викиди	135
3.6.3	Викиди у воду.....	135
3.6.4	Інші відходи.....	136
3.6.5	Енергія.....	136
3.7	Спеціальне скло	137
3.7.1	Вхідні ресурси технологічного процесу	138
3.7.2	Викиди у повітря.....	139
3.7.2.1	Сировина	139
3.7.2.2	Варіння скла.....	140
3.7.2.3	Операції подальшої обробки	140
3.7.2.4	Дифузні / леткі викиди	140
3.7.3	Викиди у воду.....	141
3.7.4	Інші відходи.....	141
3.7.5	Енергія.....	142
3.8	Мінеральна вата.....	142
3.8.1	Вхідні ресурси технологічного процесу	142
3.8.2	Викиди у повітря.....	144
3.8.2.1	Сировина	144
3.8.2.2	Варіння скла.....	145
3.8.2.3	Операції подальшої обробки	152
3.8.2.4	Дифузні / леткі викиди	154
3.8.3	Викиди у воду.....	154
3.8.4	Інші відходи.....	155
3.8.5	Енергія.....	156
3.9	Високотемпературне ізоляційне волокно	157
3.9.1	Вхідні ресурси технологічного процесу	157
3.9.2	Викиди у повітря.....	158
3.9.2.1	Сировина	158
3.9.2.2	Варіння скла.....	158
3.9.2.3	Операції подальшої обробки	158
3.9.2.4	Дифузні / леткі викиди	158
3.9.3	Викиди у воду.....	159
3.9.4	Інші відходи.....	159
3.9.5	Енергія.....	159
3.10	Фрити.....	160
3.10.1	Вхідні ресурси технологічного процесу	160
3.10.2	Викиди у повітря.....	161
3.10.2.1	Сировина	161
3.10.2.2	Варіння скла.....	161
3.10.2.3	Операції подальшої обробки	163
3.10.2.4	Дифузні / леткі викиди	163
3.10.3	Викиди у воду.....	163
3.10.4	Інші відходи.....	163
3.10.5	Енергія.....	164
4	ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ ПОТРІБНО РОЗГЛЯНУТИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ НДТМ	165
4.1	Вступ	165
4.2	Вибір технології варіння скла	169
4.2.1	Електричне варіння скла	171
4.2.2	Експлуатація і технічне обслуговування печей.....	177
4.3	Технології зберігання та транспортування матеріалів.....	179
4.3.1	Технології зберігання матеріалів.....	179
4.3.2	Технології транспортування матеріалів.....	180
4.4	Технології контролю викидів у повітря від видів діяльності, пов'язаних з варінням скла	181
4.4.1	Тверді частки	181
4.4.1.1	Первинні технології	185
4.4.1.2	Електростатичні фільтри	190

4.4.1.3	Рукавні фільтри	201
4.4.1.4	Механічні уловлювачі	210
4.4.1.5	Високотемпературні фільтрувальні матеріали	211
4.4.1.6	Мокрі скрубери	212
4.4.2	Оксиди азоту (NO _x)	213
4.4.2.1	Модифікації процесу згорання	214
4.4.2.2	Рецептура шихти	221
4.4.2.3	Спеціальні конструкції печей	222
4.4.2.4	Процес FENIX	224
4.4.2.5	Киснево-паливне варіння скла	226
4.4.2.6	Хімічне відновлення паливом (ХВП)	240
4.4.2.7	Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	245
4.4.2.8	Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)	254
4.4.3	Оксиди сірки (SO _x)	258
4.4.3.1	Вибір палива	258
4.4.3.2	Рецептура шихти	260
4.4.3.3	Сухе або напівсухе очищення газів	262
4.4.3.4	Мокрі скрубери	273
4.4.4	Фториди (HF) та хлориди (HCl)	276
4.4.4.1	Зниження рівнів у джерелі утворення	276
4.4.4.2	Технології очищення газів	278
4.4.5	Оксиди вуглецю	279
4.5	Технології контролю викидів у повітря від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла	279
4.5.1	Тарне скло	280
4.5.2	Плоске скло	281
4.5.3	Скловолокно з безперервних ниток	282
4.5.4	Сортове скло	282
4.5.5	Спеціальне скло	283
4.5.6	Мінеральна вата	283
4.5.6.1	Зона формування	284
4.5.6.2	Стверджувальна піч	295
4.5.6.3	Охолодження продукції	300
4.5.6.4	Механічна обробка та пакування продукції	300
4.5.6.5	Неприємні запахи, що виникають у ході виробництва мінеральної вати	300
4.5.7	Високотемпературне ізоляційне волокно	303
4.5.8	Фрити	304
4.6	Технології контролю викидів у воду	305
4.7	Технології мінімізації утворення інших відходів	308
4.8	Енергія	310
4.8.1	Технології варіння скла і конструкція печі	311
4.8.2	Регулювання згорання та вибір палива	313
4.8.3	Використання скляного бою	314
4.8.4	Котел-утилізатор	316
4.8.5	Підігрівання шихти та скляного бою	318
4.9	Системи керування навколишнім середовищем	322
5	ВИСНОВКИ ЩОДО НДТМ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СКЛА	326
	СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ	326
	ВИЗНАЧЕННЯ	326
	Загальні міркування	327
	Періоди усереднення та опорні умови викидів у повітря	327
	Перерахунок на опорну концентрацію кисню	328
	Перетворення концентрацій у питомі масові викиди	328
	Визначення певних забруднювачів повітря	329
	Періоди усереднення скидів стічних вод	329
5.1	Загальні висновки щодо НДТМ для виробництва скла	330
5.1.1	Системи керування навколишнім середовищем	330
5.1.2	Енергоефективність	331
5.1.3	Зберігання та транспортування матеріалів	331
5.1.4	Загальні первинні технології	333
5.1.5	Викиди у воду від процесів виробництва скла	335
5.1.6	Відходи від процесів виробництва скла	337

5.1.7	Шум від процесів виробництва скла	337
5.2	Висновки щодо НДТМ для виробництва тарного скла	338
5.2.1	Викиди пилу зі скловарних печей	338
5.2.2	Оксиди азоту (NO _x) зі скловарних печей	338
5.2.3	Оксиди сірки (SO _x) зі скловарних печей	341
5.2.4	Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей	341
5.2.5	Метали зі скловарних печей.....	342
5.2.6	Викиди від операцій подальшої обробки.....	343
5.3	Висновки щодо НДТМ для виробництва плоского скла	345
5.3.1	Викиди пилу зі скловарних печей	345
5.3.2	Оксиди азоту (NO _x) зі скловарних печей	345
5.3.3	Оксиди сірки (SO _x) зі скловарних печей	347
5.3.4	Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей	348
5.3.5	Метали зі скловарних печей.....	348
5.3.6	Викиди від операцій подальшої обробки.....	350
5.4	Висновки щодо НДТМ для виробництва скловолокна з безперервних ниток	351
5.4.1	Викиди пилу зі скловарних печей	351
5.4.2	Оксиди азоту (NO _x) зі скловарних печей	352
5.4.3	Оксиди сірки (SO _x) зі скловарних печей	353
5.4.4	Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей	354
5.4.5	Метали зі скловарних печей.....	354
5.4.6	Викиди від операцій подальшої обробки.....	355
5.5	Висновки щодо НДТМ для виробництва сортового скла.....	356
5.5.1	Викиди пилу зі скловарних печей	356
5.5.2	Оксиди азоту (NO _x) зі скловарних печей	357
5.5.3	Оксиди сірки (SO _x) зі скловарних печей	358
5.5.4	Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей	359
5.5.5	Метали зі скловарних печей.....	360
5.5.6	Викиди від операцій подальшої обробки.....	362
5.6	Висновки щодо НДТМ для виробництва спеціального скла	363
5.6.1	Викиди пилу зі скловарних печей	363
5.6.2	Оксиди азоту (NO _x) зі скловарних печей	364
5.6.3	Оксиди сірки (SO _x) зі скловарних печей	366
5.6.4	Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей	366
5.6.5	Метали зі скловарних печей.....	367
5.6.6	Викиди від операцій подальшої обробки.....	367
5.7	Висновки щодо НДТМ для виробництва мінеральної вати	369
5.7.1	Викиди пилу зі скловарних печей	369
5.7.2	Оксиди азоту (NO _x) зі скловарних печей	369
5.7.3	Оксиди сірки (SO _x) зі скловарних печей	371
5.7.4	Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей	372
5.7.5	Сірководень (H ₂ S) зі скловарних печей для виробництва кам'яної вати.....	372
5.7.6	Метали зі скловарних печей.....	373
5.7.7	Викиди від операцій подальшої обробки.....	373
5.8	Висновки щодо НДТМ для виробництва високотемпературного ізоляційного волокна (ВТІВ)	375
5.8.1	Викиди пилу від процесу варіння скла та операцій подальшої обробки	375
5.8.2	Оксиди азоту (NO _x) від процесу варіння скла та операцій подальшої обробки ..	376
5.8.3	Оксиди сірки (SO _x) від процесу варіння скла та операцій подальшої обробки ...	376
5.8.4	Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей	377
5.8.5	Метали зі скловарних печей та від операцій подальшої обробки	377
5.8.6	Леткі органічні сполуки від операцій подальшої обробки.....	378
5.9	Висновки щодо НДТМ для виробництва фрит.....	379
5.9.1	Викиди пилу зі скловарних печей	379
5.9.2	Оксиди азоту (NO _x) зі скловарних печей	379
5.9.3	Оксиди сірки (SO _x) зі скловарних печей	380
5.9.4	Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей	381
5.9.5	Метали зі скловарних печей.....	381
5.9.6	Викиди від операцій подальшої обробки.....	382
	Словник термінів.	382
5.10	Опис технологій	382
5.10.1	Викиди пилу	382
5.10.2	Викиди NO _x	383

5.10.3	Викиди SO_x	385
5.10.4	Викиди HCl , HF	385
5.10.5	Викиди металів	385
5.10.6	Об'єднані газоподібні викиди (наприклад, SO_x , HCl , HF , сполуки бору)	386
5.10.7	Об'єднані викиди (тверді + газоподібні)	386
5.10.8	Викиди від операцій різання, шліфування, полірування	387
5.10.9	Викиди H_2S , ЛОС	387
5.10.10	Викиди пилу	387
5.10.11	Викиди NO_x	388
5.10.12	Викиди SO_x	389
5.10.13	Викиди HCl , HF	389
5.10.14	Викиди металів	389
5.10.15	Об'єднані газоподібні викиди (наприклад, SO_x , HCl , HF , сполуки бору)	390
5.10.16	Об'єднані викиди (тверді + газоподібні)	390
5.10.17	Викиди від операцій різання, шліфування, полірування	391
5.10.18	Викиди H_2S , ЛОС	391
6	ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ	393
6.1	Високотемпературна система згорання Glas Flox®	393
6.2	Удосконалені підігрівачі скляного бою та шихти	394
6.2.1	Проект PRECIOUS	394
6.2.2	Проект PRAXAIR-BCP	394
6.3	Нові рецептури продукції	396
6.4	Вприскування відходів у процесі виробництва кам'яної вати	397
6.5	Технологія варіння скла з заглибним горінням	398
6.6	Очищення димових газів сухим бікарбонатом натрію та хімічне відновлення цінності залишків від очищення газу	400
6.7	Застосування керамічних та каталітичних керамічних фільтрів для видалення кількох забруднюючих речовин з технологічних відхідних газів	401
6.8	Електростатичний фільтр NASU для наночасток	403
6.9	Скрубер із зарядженою хмарою	405
7	ЗАКЛЮЧНІ ЗАУВАЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МАЙБУТНЬОЇ РОБОТИ	407
8	ДОДАТКИ	413
8.1	Додаток І. Методика оцінки витрат на контроль забруднення повітря та міжсередовищних наслідків	413
8.1.1	Витрати, що враховуються в економічній оцінці	413
8.1.2	Порівняння витрат на різні технології	415
8.1.3	Показники витрат на контроль забруднення повітря	416
8.1.4	Розподіл витрат на КЗП у комбінованих системах між більш ніж однією забруднюючою речовиною	416
8.1.5	Міжсередовищні наслідки	417
8.1.6	Приклад розрахунку витрат	418
8.1.7	Показники витрат на системи КЗП, що застосовуються для скловарних печей	420
8.2	Додаток ІІ. Приклади балансу сірки для промислових скловарних печей	435
8.3	Додаток ІІІ. Моніторинг викидів	439
8.3.1	Основні забруднюючі речовини	439
8.3.2	Моніторинг викидів	440
8.4	Додаток ІV. Розрахунок коефіцієнтів перетворення для визначення масових викидів за концентраціями	447
	СЛОВНИК ТЕРМІНІВ	449
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	455

Перелік таблиць

Таблиця 1.1.	Приблизний розподіл об'ємів виробництва у скляній промисловості за секторами у 1996 році (ЄС-15) та у 2005 році (ЄС-25)	4
Таблиця 1.2.	Розподіл установок з виробництва тарного скла та об'ємів виробництва у країнах-членах ЄС.....	10
Таблиця 1.3.	Кількість установок з виробництва тарного скла у вказаних діапазонах продуктивності	10
Таблиця 1.4.	Власники та місцезнаходження флоат-ванн у країнах ЄС-27 в 2007 році.....	14
Таблиця 1.5.	Сумісні підприємства, що володіли флоат-ваннами у країнах ЄС-27 в 2007 році	14
Таблиця 1.6.	Кількість флоат-ванн у країнах-членах ЄС (ЄС-27) у 2007 році	14
Таблиця 1.7.	Відсоток флоат-ванн з потужністю у вказаних діапазонах	15
Таблиця 1.8.	Розрахункова динаміка коефіцієнта використання потужності та виробництво надлишку флоат-скла у країнах ЄС-27	16
Таблиця 1.9.	Кількість установок та печей з виробництва безперервних елементарних ниток у країнах-членах ЄС.....	19
Таблиця 1.10.	Кількість печей з виробництва безперервних елементарних ниток у вказаних діапазонах продуктивності.....	19
Таблиця 1.11.	Кількість та розподіл установок для виробництва сортового скла, що відповідають Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC), у країнах-членах ЄС в 2006 році.....	22
Таблиця 1.12.	Кількість установок з виробництва сортового скла у вказаних діапазонах продуктивності в 2006 році (розрахункова)	22
Таблиця 1.13.	Розподіл сектора спеціального скла станом на 2005 рік	26
Таблиця 1.14.	Географічний розподіл основних виробників спеціального скла у ЄС	27
Таблиця 1.15.	Інвестиційні витрати для установок з виробництва спеціального скла	28
Таблиця 1.16.	Кількість установок з виробництва мінеральної вати у країнах ЄС-27	30
Таблиця 1.17.	Кількість установок з виробництва мінеральної вати у вказаних діапазонах продуктивності	30
Таблиця 1.18.	Розподіл установок з виробництва ВПВ у країнах-членах ЄС	33
Таблиця 1.19.	Розподіл установок з виробництва фрит загальною продуктивністю >20 тонн/добу (оцінка станом на 2008 рік).....	36
Таблиця 1.20.	Кількість установок з виробництва фрит, що знаходяться в Іспанії, у вказаних діапазонах продуктивності (розрахункові значення).....	36
Таблиця 2.1.	Важливі види сировини для виробництва скла	40
Таблиця 2.2.	Компоненти, що використовуються для забарвлення силікатного скла.....	41
Таблиця 2.3.	Оцінка типів печей у ЄС станом на 2005 рік (для установок продуктивністю >20 т/добу)	46
Таблиця 2.4.	Типовий склад тарного скла.....	53
Таблиця 2.5.	Типовий склад плоского вапняно-натрієвого силікатного скла	57
Таблиця 2.6.	Типовий склад скла Е для виробів із скловолокна для загальних випадків застосування	60
Таблиця 2.7.	Типовий склад скла Е для виробів із скловолоконної пряжі, що використовуються у виробництві друкованих плат та аерокосмічній галузі	60
Таблиця 2.8.	Хімічний склад основних виробів у секторі спеціального скла	67
Таблиця 2.9.	Типові варіанти складу мінеральної вати	68
Таблиця 2.10.	Діапазони типового хімічного складу алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна (ASW/RCF) та волокна на основі силікатів лужно-земельних металів (AES) у масових відсотках	74
Таблиця 3.1.	Поширені види сировини, що використовуються у скляній промисловості	83
Таблиця 3.2.	Опорні умови для даних про викиди.....	86
Таблиця 3.3.	Підсумок викидів в атмосферу в результаті діяльності, пов'язаної з варінням скла	87
Таблиця 3.4.	Класифікація металів та їх сполук.....	87
Таблиця 3.5.	Потенційні викиди важких металів у процесах виробництва скла без застосування методів зниження викидів	88
Таблиця 3.6.	Теоретичні потреби в енергії на варіння поширених видів скла з рецептур шихти, у яких не переробляється скляний бій	92
Таблиця 3.7.	Приклади розподілу виділення енергії для виробництва найбільш поширених видів промислового скла	93
Таблиця 3.8.	Приклади питомого споживання енергії для ряду скловарних печей.....	95
Таблиця 3.9.	Огляд основних вхідних ресурсів та вихідних продуктів для виробництва тарного	

	скла (орієнтовні значення у перерахунку на одну тону розплавленої скломаси).97
Таблиця 3.10.	Матеріали, що використовуються в секторі тарного скла98
Таблиця 3.11.	Статистичні дані про розміри та типи печей з опитування FEVE (значення за 2005 рік).....100
Таблиця 3.12.	Статистичні дані про загальні частки скляного бою для печей з виробництва тарного скла у ЄС, отримані за результатами опитування FEVE для різних кольорів скла (значення за 2005 рік)101
Таблиця 3.13.	Питома енергія варіння скла для різних типів печей та діапазонів розмірів печей за даними опитування FEVE (дані за 2005 рік).....102
Таблиця 3.14.	Викиди пилу з печей для виробництва тарного скла, з застосуванням та без застосування систем зниження викидів, за даними опитування FEVE (за звітний рік 2005).....104
Таблиця 3.15.	Викиди SO _x з печей для виробництва тарного скла, з застосуванням та без застосування систем зниження викидів, за даними опитування FEVE (за звітний рік 2005).....106
Таблиця 3.16.	Викиди NO _x з печей для виробництва тарного скла, для різних типів палива та пічних технологій, за даними опитування FEVE (звітний рік 2005)107
Таблиця 3.17.	Викиди HCl та HF з печей для виробництва тарного скла, з застосуванням та без застосування систем зниження викидів, за даними опитування FEVE (за звітний рік 2005).....108
Таблиця 3.18.	Викиди металів з печей для виробництва тарного скла, з застосуванням та без застосування систем зниження викидів, за даними опитування FEVE (за звітний рік 2005).....110
Таблиця 3.19.	Типові значення викидів, що утворюються в результаті операцій нанесення поверхневого покриття з хлориду олова, без застосування засобів зниження викидів111
Таблиця 3.20.	Типові значення викидів, утворених в результаті обробки поверхні тарного скла з використанням SO ₃ , без застосування засобів зниження викидів.....111
Таблиця 3.21.	Загальне безпосереднє споживання енергії (заводом) на тону нетто продукції за результатами опитування FEVE для виробництва пляшок/банок та флаконної продукції.....114
Таблиця 3.22.	Матеріали, що використовуються у секторі виробництва плоского скла116
Таблиця 3.23.	Огляд систем контролю забруднення повітря (КЗП), встановлених у секторі виробництва плоского скла в Європі.....118
Таблиця 3.24.	Рівні викидів з печей для виробництва плоского скла з використанням та без використання систем зниження викидів.....118
Таблиця 3.25.	Огляд вхідних ресурсів та вихідних продуктів у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток122
Таблиця 3.26.	Матеріали, що використовуються у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток123
Таблиця 3.27.	Розподіл сполук бору за різних температур та на різних етапах очищення димових газів124
Таблиця 3.28.	Рівні викидів з печей для виробництва скловолокна з безперервних ниток125
Таблиця 3.29.	Огляд вхідних ресурсів та вихідних продуктів у секторі виробництва сортового скла131
Таблиця 3.30.	Матеріали, що використовуються у секторі виробництва сортового скла132
Таблиця 3.31.	Підсумок викидів у повітря з печей для виробництва сортового скла134
Таблиця 3.32.	Типові концентрації, виміряні у воді в місці скидання після очищення136
Таблиця 3.33.	Матеріали, що використовуються в секторі спеціального скла138
Таблиця 3.34.	Огляд вхідних ресурсів та вихідних продуктів у взятих для прикладу процесах виробництва склокераміки, трубок з боросилікатного скла та колб для ламп з вапняно-натрієвого скла139
Таблиця 3.35.	Матеріали, що використовуються в секторі мінеральної вати143
Таблиця 3.36.	Об'єми відхідних газів для основних видів діяльності технологічного процесу у секторі мінеральної вати144
Таблиця 3.37.	Повний діапазон викидів зі скловарних печей для виробництва мінеральної вати у країнах ЄС-27 за 2005 рік146
Таблиця 3.38.	Викиди пилу зі скловарних печей для виробництва скловати (2005 рік).....147
Таблиця 3.39.	Викиди SO _x зі скловарних печей для виробництва скловати (2005 рік).....148
Таблиця 3.40.	Викиди NO _x зі скловарних печей для виробництва скловати (2005 рік)148
Таблиця 3.41.	Викиди HCl, HF та CO зі скловарних печей для виробництва скловати (2005 рік)149
Таблиця 3.42.	Викиди пилу, SO _x , NO _x , HCl та HF зі скловарних печей для виробництва кам'яної

	вати (2005 рік)	150
Таблиця 3.43.	Викиди H_2S , CO , CO_2 та металів зі скловарних печей для виробництва кам'яної вати (2005 рік)	151
Таблиця 3.44.	Повний діапазон викидів від операцій подальшої обробки у секторі виробництва скловати за 2005 рік	153
Таблиця 3.45.	Повний діапазон викидів від операцій подальшої обробки у виробництві кам'яної вати за 2005 рік	153
Таблиця 3.46.	Утворення та утилізація твердих відходів у секторі виробництва мінеральної вати	156
Таблиця 3.47.	Споживання енергії у виробництві мінеральної вати	156
Таблиця 3.48.	Матеріали, що використовуються у секторі виробництва високотемпературного ізоляційного волокна	157
Таблиця 3.49.	Основні види сировини, що використовуються у виробництві фрит	160
Таблиця 3.50.	Типові рівні викидів зі скловарних печей у секторі виробництва фрит	161
Таблиця 3.51.	Приклади рівнів викидів NO_x з установок для виробництва фрит, що працюють за різних умов спалювання палива та з різними рецептурами шихти	162
Таблиця 4.1.	Інформація для кожної технології, описаної у цій частині	166
Таблиця 4.2.	Основні переваги і недоліки електричного варіння скла	173
Таблиця 4.3.	Приклад установки з застосуванням електричного варіння скла у секторі виробництва сортового скла (кришталеве скло і свинцевий криштал)	174
Таблиця 4.4.	Приклад установки з застосуванням електричного варіння скла у секторі виробництва спеціального скла	176
Таблиця 4.5.	Основні переваги та недоліки первинних технологій для зниження викидів пилу	189
Таблиця 4.6.	Основні переваги і недоліки електростатичних фільтрів	194
Таблиця 4.7.	Рівні викидів пилу, пов'язані з використанням електростатичних фільтрів для прикладів установок	196
Таблиця 4.8.	Підсумок прикладів фактичних витрат на електростатичні фільтри, що застосовуються у виробництві плоского, тарного, спеціального скла та мінеральної вати	200
Таблиця 4.9.	Основні переваги і недоліки рукавних фільтрів	205
Таблиця 4.10.	Приклади фактичних витрат для рукавних фільтрів, що застосовуються на двох установках у секторі виробництва спеціального скла	209
Таблиця 4.11.	Основні переваги і недоліки циклонів	211
Таблиця 4.12.	Основні переваги і недоліки високотемпературних фільтрів	212
Таблиця 4.13.	Основні переваги і недоліки мокрих скрубєрів	213
Таблиця 4.14.	Основні переваги і недоліки модифікацій процесу згорання	218
Таблиця 4.15.	Приклади рівнів викидів NO_x , пов'язаних із застосуванням модифікацій процесу згорання	219
Таблиця 4.16.	Основні переваги і недоліки киснево-паливного варіння скла	233
Таблиця 4.17.	Рівні викидів NO_x при киснево-паливному варінні скла на взятих для прикладу установках	234
Таблиця 4.18.	Приклади фактичних та розрахункових витрат при киснево-паливному варінні скла у секторах виробництва тарного та спеціального скла	239
Таблиця 4.19.	Основні переваги і недоліки технології 3R	243
Таблиця 4.20.	Рівні викидів NO_x при використанні технології СКВ на взятих для прикладу установках	248
Таблиця 4.21.	Результати періодичних вимірювань викидів NO_x з печі для виробництва флоат-скла, обладнаної системою СКВ	249
Таблиця 4.22.	Основні переваги і недоліки технології СКВ	250
Таблиця 4.23.	Показники витрат, пов'язані з використанням технології СКВ на взятих для прикладу установках, що виготовляють тарне, плоске та спеціальне скло	253
Таблиця 4.24.	Заводи, які працюють з використанням технології СКВ, та їх експлуатаційні параметри	254
Таблиця 4.25.	Основні переваги і недоліки технології СНКВ	256
Таблиця 4.26.	Орієнтовні діапазони викидів SO_x з вапняно-натрієвих печей для різних видів палива	259
Таблиця 4.27.	Орієнтовні значення ефективності сухого поглинання з використанням $Ca(OH)_2$	266
Таблиця 4.28.	Орієнтовні ступені зниження викидів SO_x шляхом сухого очищення газів з використанням $Ca(OH)_2$	266
Таблиця 4.29.	Орієнтовні ступені зниження викидів SO_x шляхом сухого очищення газів з використанням Na_2CO_3	266

Таблиця 4.30.	Фактичні значення ефективності видалення кислотних газоподібних забруднюючих речовин шляхом сухого очищення газів за допомогою різних типів абсорбційних реагентів та за різних умов роботи	267
Таблиця 4.31.	Орієнтовні ступені зниження викидів SO _x шляхом напіvsухого очищення газів з використанням Na ₂ CO ₃	267
Таблиця 4.32.	Ступені зниження викидів SO _x шляхом напіvsухого очищення газів з використанням Ca(OH) ₂	267
Таблиця 4.33.	Основні переваги та недоліки технологій сухого та напіvsухого очищення газів	270
Таблиця 4.34.	Рівні викидів при застосуванні сухого очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою на взятих для прикладу установках	270
Таблиця 4.35.	Рівні викидів, пов'язані з застосуванням мокрого очищення газів для електричної печі, у якій виготовляється спеціальне скло, на взятій для прикладу установці ..	276
Таблиця 4.36.	Тверді та газоподібні викиди з зони формування установки для виробництва скловати, на якій використовується мокрий електростатичний фільтр	291
Таблиця 4.37.	Основні переваги і недоліки мокрих електростатичних фільтрів (мокрих електростатичних пиловловлювачів – МЕСП)	292
Таблиця 4.38.	Основні переваги і недоліки фільтрів з кам'яної вати	293
Таблиця 4.39.	Основні переваги і недоліки спалювання відхідних газів	298
Таблиця 4.40.	Загальні досяжні значення викидів у повітря від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у секторі виробництва мінеральної вати з застосуванням різних технологій	302
Таблиця 4.41.	Інвестиційні та експлуатаційні витрати на технології зниження викидів від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у секторі виробництва мінеральної вати	303
Таблиця 4.42.	Перелік технологій очищення стічних вод, які потенційно можуть використовуватися у скляній промисловості	307
Таблиця 4.43.	Типові значення питомого споживання енергії, яких вдається досягти шляхом застосування доступних технологій/заходів для мінімізації споживання енергії ..	310
Таблиця 4.44.	Приклади установок з котлами-утилізаторами у різних секторах скляної промисловості	317
Таблиця 4.45.	Приклад установки з застосуванням підігрівача шихти та скляного бою безпосередньої дії для печі, у якій виготовляється тарне скло	321
Таблиця 5.1.	Опорні умови для ВРВ НДТМ, що характеризують викиди у повітря	327
Таблиця 5.2.	Орієнтовні коефіцієнти для перетворення мг/м ³ н.у. в кг/тонну звареного скла за даними для енергоефективних повітряно-паливних печей	329
Таблиця 5.3.	ВРВ НДТМ для викидів чадного газу зі скловарних печей	334
Таблиця 5.4.	ВРВ НДТМ для викидів аміаку при застосуванні технологій СКВ або СНКВ	334
Таблиця 5.5.	ВРВ НДТМ для скидів стічних вод від виробництва скла у поверхневій воді	336
Таблиця 5.6.	ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва тарного скла	338
Таблиця 5.7.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі виробництва тарного скла	340
Таблиця 5.8.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі тарного скла, якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати, та/або присутні спеціальні окисні умови горіння, у випадку коротких кампаній або скловарних печей потужністю <100 т/добу	340
Таблиця 5.9.	ВРВ НДТМ для викидів SO _x зі скловарної печі у секторі виробництва тарного скла	341
Таблиця 5.10.	ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва тарного скла	342
Таблиця 5.11.	ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва тарного скла	342
Таблиця 5.12.	ВРВ НДТМ для викидів у повітря від операцій нанесення покриття на вході лера у секторі тарного скла, якщо димові гази від операцій подальшої обробки очищаються окремо	343
Таблиця 5.13.	ВРВ НДТМ для викидів SO _x від операцій подальшої обробки у секторі тарного скла, якщо для операцій поверхневої обробки використовується SO ₃ , у випадку окремого очищення	344
Таблиця 5.14.	ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі плоского скла	345
Таблиця 5.15.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі виробництва плоского скла	346
Таблиця 5.16.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі плоского скла, якщо у	

	рецептурі шихти використовуються нітрати для виробництва спеціальних видів скла протягом обмеженої кількості коротких кампаній.....	347
Таблиця 5.17.	ВРВ НДТМ для викидів SO _x зі скловарної печі у секторі виробництва плоского скла.....	348
Таблиця 5.18.	ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва плоского скла.....	348
Таблиця 5.19.	ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва плоского скла, за винятком видів скла, забарвлених селеном.....	349
Таблиця 5.20.	ВРВ НДТМ для викидів селену зі скловарної печі у секторі виробництва плоского скла при виробництві кольорового скла.....	349
Таблиця 5.21.	ВРВ НДТМ для викидів у повітря від операцій подальшої обробки в секторі плоского скла, якщо вони обробляються окремо.....	350
Таблиця 5.22.	ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток.....	351
Таблиця 5.23.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток.....	352
Таблиця 5.24.	ВРВ НДТМ для викидів SO _x зі скловарної печі у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток.....	353
Таблиця 5.25.	ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток.....	354
Таблиця 5.26.	ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток.....	355
Таблиця 5.27.	ВРВ НДТМ для викидів від операцій подальшої обробки у секторі виробництва скла з безперервних ниток, якщо вони обробляються окремо.....	355
Таблиця 5.28.	ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла.....	356
Таблиця 5.29.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла.....	357
Таблиця 5.30.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі сортового скла, якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати протягом обмеженої кількості коротких кампаній, або у випадку скловарних печей потужністю <100 т/добу, у яких виготовляються спеціальні типи вапняно-натрієвого скла (прозоре/надпрозоре скло або кольорове скло, забарвлене селеном) та інші спеціальні види скла (тобто боросилікатне скло, склокераміка, матове скло, кришталеве скло та свинцевий кришталю).....	358
Таблиця 5.31.	ВРВ НДТМ для викидів SO _x зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла.....	359
Таблиця 5.32.	ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла.....	360
Таблиця 5.33.	ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла, за винятком видів скла, для знебарвлення яких використовується селен ...	360
Таблиця 5.34.	ВРВ НДТМ для викидів селену зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла, якщо для знебарвлення скла використовуються сполуки селену.....	361
Таблиця 5.35.	ВРВ НДТМ для викидів свинцю зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла, якщо для виробництва свинцевого кришталю використовуються сполуки свинцю.....	361
Таблиця 5.36.	ВРВ НДТМ для викидів у повітря від пилюх операцій подальшої обробки у секторі сортового скла, якщо вони обробляються окремо.....	362
Таблиця 5.37.	ВРВ НДТМ для викидів HF від процесів кислотного полірування у секторі сортового скла, якщо вони обробляються окремо.....	362
Таблиця 5.38.	ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва спеціального скла.....	363
Таблиця 5.39.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі виробництва спеціального скла.....	365
Таблиця 5.40.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі спеціального скла, якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати.....	365
Таблиця 5.41.	ВРВ НДТМ для викидів SO _x зі скловарної печі у секторі виробництва спеціального скла.....	366
Таблиця 5.42.	ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва спеціального скла.....	367
Таблиця 5.43.	ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва спеціального скла.....	367
Таблиця 5.44.	ВРВ НДТМ для викидів пилу та металів від операцій подальшої обробки у секторі	

	спеціального скла, якщо вони обробляються окремо	368
Таблиця 5.45.	ВРВ НДТМ для викидів HF від процесів кислотного полірування у секторі спеціального скла	368
Таблиця 5.46.	ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва мінеральної вати	369
Таблиця 5.47.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі виробництва мінеральної вати	370
Таблиця 5.48.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у виробництві скловати, якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати	370
Таблиця 5.49.	ВРВ НДТМ для викидів SO _x зі скловарної печі у секторі виробництва мінеральної вати	371
Таблиця 5.50.	ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва мінеральної вати	372
Таблиця 5.51.	ВРВ НДТМ для викидів H ₂ S зі скловарної печі у виробництві кам'яної вати	372
Таблиця 5.52.	ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва мінеральної вати	373
Таблиця 5.53.	ВРВ НДТМ для викидів у повітря від операцій подальшої обробки у секторі виробництва мінеральної вати, якщо вони обробляються окремо.....	374
Таблиця 5.54.	ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва ВТІВ.....	375
Таблиця 5.55.	ВРВ НДТМ для викидів від пиляких операцій подальшої обробки у секторі виробництва ВТІВ, якщо вони обробляються окремо	376
Таблиця 5.56.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x з печі для випалювання мастила у секторі виробництва ВТІВ	376
Таблиця 5.57.	ВРВ НДТМ для викидів SO _x зі скловарних печей та від операцій подальшої обробки у секторі виробництва ВТІВ	376
Таблиця 5.58.	ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва ВТІВ	377
Таблиця 5.59.	ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі та/або від операцій подальшої обробки у секторі виробництва ВТІВ	377
Таблиця 5.60.	ВРВ НДТМ для викидів ЛОС із печі для випалювання мастила у секторі виробництва ВТІВ, якщо вони обробляються окремо	378
Таблиця 5.61.	ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва фрит	379
Таблиця 5.62.	ВРВ НДТМ для викидів NO _x зі скловарної печі у секторі виробництва фрит	380
Таблиця 5.63.	ВРВ НДТМ для викидів SO _x зі скловарної печі у секторі виробництва фрит.....	381
Таблиця 5.64.	ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва фрит	381
Таблиця 5.65.	ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва фрит	382
Таблиця 5.66.	ВРВ НДТМ для викидів у повітря від операцій подальшої обробки у секторі виробництва фрит, якщо вони обробляються окремо	382
Таблиця 6.1.	Огляд екологічних показників установок з каталітичним керамічним фільтром	402
Таблиця 7.1.	Розбіжності у точках зору.....	409
Таблиця 8.1.	Опосередковані викиди, пов'язані зі споживанням хімічних речовин та електроенергії	418
Таблиця 8.2.	Приклад розрахунку витрат (електростатичний фільтр плюс скрубер з Ca(OH) ₂) для газової печі з виробництва флоат-скла потужністю 700 тонн/добу.....	418
Таблиця 8.3.	Розрахункові витрати на системи контролю забруднення повітря за допомогою електростатичних фільтрів у поєднанні з сухим очищенням газів, що застосовуються для очищення димових газів скловарних печей.....	421
Таблиця 8.4.	Розрахункові витрати на системи контролю забруднення повітря за допомогою рукавних фільтрів у поєднанні з сухим очищенням газів, що застосовуються для очищення димових газів скловарних печей	423
Таблиця 8.5.	Порівняння методів видалення SO _x , HCl, HF та інших газоподібних забруднюючих речовин з димових газів скловарних печей.....	425
Таблиця 8.6.	Огляд питомих витрат на різні технології контролю забруднення повітря (КЗП), що застосовуються для зниження викидів пилу та SO _x зі скловарних печей.....	427
Таблиця 8.7.	Розрахункові приклади витрат та відповідні безпосередні та опосередковані викиди, пов'язані з застосуванням первинних заходів зі зниження викидів NO _x	429
Таблиця 8.8.	Розрахункові приклади витрат для застосування вторинних заходів зі зниження викидів NO _x	431
Таблиця 8.9.	Додаткові витрати, пов'язані з застосуванням технологій денітрифікації (у євро/тону звареного скла)	432
Таблиця 8.10.	Розрахункові питомі опосередковані викиди на тону звареного скла для різних скловарних печей і для різних технологій контролю забруднення повітря (КЗП)	

.....	433
Таблиця 8.11. Види сировини і типовий вміст сірки у виробництві мінеральної вати.....	437
Таблиця 8.12. Типовий вміст SO ₃ у поширених типах скла.....	437
Таблиця 8.13. Основні забруднюючі речовини, які з великою ймовірністю потрібно врахувати в вимірюваннях у скляній промисловості	439
Таблиця 8.14. Технології безперервного моніторингу	443
Таблиця 8.15. Порогові значення масової витрати для безперервного моніторингу викидів.....	443
Таблиця 8.16. Технології періодичного моніторингу	444
Таблиця 8.17. Приклад значень меж виявлення для вимірювання викидів зі скловарних печей.....	446
Таблиця 8.18. Приклад значень меж виявлення та розширених невизначеностей для вимірювання викидів у скляній промисловості.....	446

Перелік рисунків

Рисунок 1.1.	Графік розвитку виробництва за секторами (дані за 2004 рік і пізніше стосуються країн ЄС-25)	4
Рисунок 1.2.	Найбільш поширені види високотемпературного ізоляційного волокна для температур понад 600 °C і до 1800 °C	34
Рисунок 2.1.	Регенеративна піч з поперечним полум'ям	47
Рисунок 2.2.	Поперечний переріз регенеративної печі	48
Рисунок 2.3.	Однопрохідна регенеративна піч з підковоподібним полум'ям	48
Рисунок 2.4.	Регенеративна піч з підковоподібним полум'ям: вигляд у плані	49
Рисунок 2.5.	Формування видуванням та пресовидувне формування	55
Рисунок 2.6.	Процес виробництва флоат-скла	58
Рисунок 2.7.	Процес виробництва прокатного скла	59
Рисунок 2.8.	Процес пресування при формуванні скляних виробів	63
Рисунок 2.9.	Процес відцентрового формування при формуванні скляних виробів	63
Рисунок 2.10.	Типовий завод з виробництва скловати	68
Рисунок 2.11.	Типовий контур технологічної води на виробництві скловати	70
Рисунок 2.12.	Типовий завод з виробництва кам'яної вати	71
Рисунок 2.13.	Типова вагранка з гарячим дуттям	72
Рисунок 2.14.	Метод паралельного роздування	75
Рисунок 2.15.	Метод горизонтального роздування	75
Рисунок 2.16.	Процес крутіння	75
Рисунок 2.17.	Схема процесу виробництва фрити	77
Рисунок 2.18.	Схема типової скловарної печі для виробництва фрит зі спалюванням палива у збагаченому киснем повітрі та використанням відхідного тепла	79
Рисунок 2.19.	Схема типової скловарної печі для виробництва фрит з киснево-паливним згоранням	79
Рисунок 3.1.	Типовий розподіл води на заводі з виробництва тарного скла	89
Рисунок 3.2.	Криві тренду для загальної енергії варіння скла при виробництві флаконної продукції за даними опитування FEVE (дані за 2005 рік, без урахування первинної енергії, витраченої на електричне форсування або виробництво кисню)	103
Рисунок 3.3.	Споживання енергії на типовому заводі з виробництва тарного скла у вигляді пляшок/банок (не характерне для виробництва тари для парфумерної/косметичної продукції)	113
Рисунок 3.4.	Середні значення споживання енергії в печах для виробництва тарного скла, виражені у ГДж/тонну звареного скла і стандартизовані для 50 % скляного бою (2005 рік)	115
Рисунок 3.5.	Розподіл використання енергії у типовому процесі виробництва флоат-скла	121
Рисунок 3.6.	Приклад водного балансу для установки, на якій виготовляється скловолокно з безперервних ниток	128
Рисунок 3.7.	Безпосереднє споживання енергії у типовому процесі виробництва скловолокна з безперервних ниток	129
Рисунок 3.8.	Споживання енергії у виробництві столового посуду з вапняно-натрієво-силікатного скла	137
Рисунок 3.9.	Очікувана концентрація SO ₂ залежно від відсотка цементних брикетів, що переробляються у шихті, завантаженої у вагранку	145
Рисунок 4.1.	Електростатичний фільтр (електростатичний пиловловлювач)	191
Рисунок 4.2.	Результати вимірювання викидів пилу (щомісячних точкових вимірювань) з мазутної печі для виробництва флоат-скла, обладнаної електростатичним фільтром і системою сухого очищення газів з використанням Ca(OH) ₂	195
Рисунок 4.3.	Питомі витрати на тонну звареного скла для системи контролю забруднення повітря за допомогою сухого очищення газів та фільтрів, з захороненням усього відфільтрованого пилу, для печей з виробництва флоат-скла, залежно від питомого знімання звареного скла	198
Рисунок 4.4.	Схема рукавного (тканинного) фільтра	202
Рисунок 4.5.	Розрахункові витрати для сухих скрубєрів у поєднанні з рукавними фільтрами для печей з виробництва тарного скла, з припущенням захоронення всього відфільтрованого пилу і видалення 25 % SO _x	208
Рисунок 4.6.	Викиди NO _x від процесу FENIX	225
Рисунок 4.7.	Різниця у питомій собівартості варіння скла після переведення традиційних печей на киснево-паливне горіння для установок, на яких виготовляється різне скло (тарне скло, флоат-скло, скловолокно з безперервних ниток та столовий посуд)	237

Рисунок 4.8.	Коливання концентрації NO _x у часі для печі з виробництва флоат-скла, обладнаної системою СКВ.....	248
Рисунок 4.9.	Безперервне вдосконалення у моделі системи керування навколишнім середовищем.....	323
Рисунок 6.1.	Схема удосконаленого підігрівача шихти та скляного бою.....	395
Рисунок 6.2.	Схема скловарного агрегату з заглибним горінням.....	398
Рисунок 6.3.	Схема пристрою для заряджання струменем зі швидкістю звуку.....	404
Рисунок 6.4.	Схема системи скрубера з зарядженою хмарою.....	405
Рисунок 8.1.	Баланс сірки для печі, у якій виготовляється флоат-скло, з повною переробкою відфільтрованого пилу.....	436
Рисунок 8.2.	Баланс сірки для печі, у якій виготовляється тарне скло, з частковою переробкою відфільтрованого пилу.....	436
Рисунок 8.3.	Схема балансу сірки для киснево-паливної скловарної печі з переробкою відфільтрованого пилу.....	438

СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Цей документ BREF для виробництва скла охоплює такі види діяльності в рамках Додатку I Директиви 2010/75/EU:

- 3.3: Виробництво скла, у тому числі скловолокна, з продуктивністю варіння скла понад 20 тон на добу.
- 3.4: Плавлення мінеральних речовин, у тому числі виробництво мінерального волокна, з продуктивністю варіння скла понад 20 тон на добу.

Нижче перелічені інші довідкові документи, які є суттєвими для сектору промисловості, розглянутого у цьому документі:

- Документ BREF щодо викидів зі складів (EFS) для зберігання та поводження з матеріалами.
- Документ BREF щодо енергоефективності (ENE) для загальних аспектів енергоефективності.
- Документ BREF щодо економічних та міжсередовищних наслідків (ECM) для економічних та міжсередовищних наслідків.
- Документ BREF щодо загальних принципів моніторингу для моніторингу викидів та споживання ресурсів.

Зміст цього BREF не охоплює такі види діяльності:

- Виробництво розчинного скла, яке входить до змісту довідкового документа «Великосерійна неорганічно-хімічна промисловість – виробництво твердих та інших речовин» (LVIC-S).
- Виробництво полікристалічного волокна.
- Виробництво дзеркал, яке входить до змісту довідкового документа «Поверхнева обробка за допомогою органічних розчинників» (STS).

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 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

1.1 Структура галузі

Види діяльності, що підпадають під зміст цього документа, суттєво різняться за масштабом, технологіями, що застосовуються, та пов'язаними з ними екологічними проблемами. При визначенні того, чи підпадає установка під визначення у Додатку I, враховується сукупна продуктивність кожного виду скловарної діяльності на установці. У контексті цього документа маса виготовленого розплаву повинна визначатися відносно критерію продуктивності варіння у 20 тонн на добу. Мета цього підходу полягає не в тому, щоб завчасно встановити тлумачення визначення, наведеного у Директиві, а у тому, щоб гарантувати узгодженість наданої інформації зі стандартною термінологією, яка використовується у скляній промисловості.

У контексті цього документа види промислової діяльності, що підпадають під визначення у розділах 3.3 та 3.4 Додатку I до Директиви 2010/75/EU, будуть іменуватися «скляною промисловістю», яка складається з восьми секторів. Ці сектори базуються на продукції, яка в них виготовляється, проте неминуче будуть певною мірою перекриватися. До цих восьми секторів належать такі сектори:

1. Тарне скло.
2. Плоске скло.
3. Скловолокло з безперервних ниток.
4. Сортове скло.
5. Спеціальне скло (без розчинного скла).
6. Мінеральна вата (поділяється на дві групи: скловата і кам'яна вата).
7. Високотемпературне ізоляційне волокно (за винятком полікристалічного волокна).
8. Фрити.

Сектор виробництва високотемпературного ізоляційного волокна (ВТІВ) значно відрізняється від інших секторів скляної промисловості. Типова продуктивність установок складає 5 – 10 тонн/добу, тож вона не досягає необхідного тоннажу у 20 тонн/добу, встановленого Директивою. Проте цей сектор повністю відповідає цілям цього BREF, і тому включений до складу Довідкового документа з найкращих технологій та методів управління для виробництва скла (GLS BREF).

Виробництво полікристалічного волокна, яке виготовляється за методом золь-гель з водяних прядильних розчинів без проходження процесу високотемпературного плавлення, не розглядається в цьому документі через специфічні характеристики продукції.

Виробництво розчинного скла розглядається у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління (BREF) для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S). [138, Європейська комісія, 2007]

Окрім основних видів виробничої діяльності, у цьому документі розглядаються безпосередньо пов'язані з ними види діяльності, які можуть впливати на викиди або забруднення. Таким чином, цей документ охоплює види діяльності від приймання сировини та виробництва будь-яких проміжних продуктів до відвантаження готової продукції. Певні види діяльності не входять до змісту документа, оскільки вони не вважаються безпосередньо пов'язаними з первинним видом діяльності. Наприклад, у документі не розглядається наступна переробка плоского скла в іншу продукцію (наприклад, подвійні склопакети чи автомобільну продукцію). Знову ж таки, цей підхід не має на меті наперед визначити тлумачення Директиви країнами-членами ЄС.

До змісту документа входять такі види діяльності:

- вантаження та зберігання сировини;
- змішування та транспортування;
- плавлення та освітлення;
- формування (наприклад, флоат-ванна, вальцювання, пресування, видування, волокнуотворення, гартування фрити);

- кондиціонування (наприклад, випалювання у лері, відпал, гартування);
- покриття, у тому числі нанесення в'язучої речовини та мастила;
- обробка поверхні (наприклад, кислотне полірування);
- операції витримки та сушіння;
- подрібнення;
- механічна обробка, різання та пакування;
- зберігання, утилізація та переробка відходів.

1.2 Вступ

[19, Постійний комітет скляної промисловості (CPIV), 1998], [27, Європейська асоціація виробників мінеральної вати (EURIMA), 1998], [63, Річний звіт CPIV, 2007], [65, Європейська асоціація виробників плоского скла (GEPVP) – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007], [68, Оновлені дані про сортове скло, 2007], [69, Зібрані дані Європейської асоціації виробників мінеральної вати (EURIMA), 2007]

Скляна промисловість у межах Європейського Союзу (ЄС) вкрай розмаїта – як за продукцією, що виготовляється, так і за технологіями, що застосовуються. Її вироби різняться від ювелірних келихів ручної роботи зі свинцевого кришталю до величезних об'ємів флоат-скла, що виготовляється для потреб будівельної та автомобільної галузей. Технології виробництва різняться від невеликих електричних печей у секторі виробництва високотемпературного ізоляційного волокна (ВТІВ) до регенеративних печей з поперечним полум'ям, здатних виробляти до 1 000 тонн скла на добу, у секторі виробництва плоского скла. До скляної промисловості у більш широкому розумінні також належить багато невеликих установок, продуктивність яких не досягає порогового значення у 20 тонн на добу. Однак для деяких статистичних даних, наведених у цій частині, не вдалося виокремити внесок невеликих заводів – втім, їх внесок вважається несуттєвим, оскільки на них припадає менш ніж 5 % загального об'єму продукції у цій галузі.

Скляна промисловість є, по суті, галуззю, яка виготовляє товари широкого вжитку, хоча для збереження конкурентоспроможності галузі було розроблено багато способів підвищення вартості продукції великосерійного виробництва. Понад 80 % об'єму продукції, виготовленої у цій галузі, продається в інші галузі промисловості, а скляна промисловість у цілому дуже залежить від будівельної промисловості, харчової промисловості та виробництва напоїв. Проте це загальне уявлення вірне не для всіх компонентів галузі, оскільки у деяких секторах з меншими об'ємами виробництва виготовляються технічні чи споживацькі товари високої вартості.

Наприкінці 1990-х років у скляній промисловості продовжився період реорганізації. Аби знизити витрати та більш ефективно конкурувати на світовому ринку, а також отримати вигоду від економії за рахунок росту масштабів виробництва, окремі компанії зливалися, і кількість незалежних операторів потужностей зменшувалася. Робота груп, які займали панівне положення у галузі, набула більш міжнародного характеру, а користувачі все частіше потребують товарів однорідної якості незалежно від країни, у якій використовується продукція. Скляна промисловість ЄС перебувала в авангарді технічного прогресу, а отже, з великою ймовірністю вигравала від удосконалення роботи галузі в майбутньому.

За винятком такого помітного прикладу, як компанія Saint-Gobain, на час написання документа лише незначна кількість великих компаній працює у більш ніж двох з восьми секторів промисловості, зазначених у попередньому розділі.

Наприклад, корпорація Owens Corning спеціалізується на технології виготовлення скловолокна, виробництві скловолокна з безперервних ниток та скловати. Компанія PPG є великим міжнародним виробником плоского скла та скловолокна з безперервних ниток, проте вона більше не займається виробництвом плоского скла у Європі і експлуатує лише заводи для виробництва скловолокна з безперервних ниток. Група компаній Pilkington Group спеціалізується головним чином на видах діяльності, пов'язаних з виробництвом плоского скла.

Основними екологічними проблемами скляної промисловості є викиди у повітря та споживання енергії. Варіння скла – це високотемпературний, енергоємний процес, який призводить до викидів продуктів згорання та високотемпературного окиснення атмосферного азоту, тобто діоксиду сірки, вуглекислого газу та оксидів азоту.

Викиди з печей також містять пил, який утворюється головним чином у результаті переходу в леткий стан і наступної конденсації летких матеріалів у складі шихти. За даними, наданими підприємствами скляної промисловості, оціночні викиди в повітря у 2005 році склалися з 6 500 тонн пилу; 105 000 тонн NO_x ; 80000 тонн SO_2 та 22 мільйонів тонн CO_2 (прямі викиди). Ці викиди становили близько 0,8 % від загального об'єму викидів ЄС. [158, Європейське агентство з охорони довкілля (ЕЕА) – Звіт про національні граничні значення викидів (NEC), 2008]. Загальне споживання енергії скляною промисловістю склало приблизно 311 ПДж (86,5 мільйона МВт·год.). З цього загального об'єму енергії 15 % було спожито у вигляді електроенергії, 30 % – у вигляді мазуту, і 55 % – у вигляді природного газу.

Різні стратегії та енергетичні політики країн-членів ЄС можуть безпосередньо впливати на кількість та якість викидів у повітря, пов'язаних з виробничим циклом (наприклад, викидів NO_x , SO_x з мазуту або природного газу).

Викиди у водне середовище порівняно низькі, і у цій сфері існує мало серйозних проблем, специфічних для скляної промисловості. Проте у деяких секторах є проблеми з забрудненням вод: вони розглянуті в окремих розділах цього документа. Рівні утворення твердих відходів також загалом дуже низькі, і реалізовано багато ініціатив для зниження утворення відходів та переробки відходів, що утворюються на самому виробництві, і відходів продукції, використаної споживачем.

Сировиною для варіння скла зазвичай є легкодоступні, порівняно безпечні, природні або штучні речовини. З постачанням сировини не пов'язано значних екологічних проблем, а рівні утворення відходів зазвичай дуже низькі.

У багатьох секторах скляної промисловості використовуються великі печі безперервної дії з типовим терміном служби 10 – 12 років, а у деяких випадках – до 20 років і більше. Ці печі потребують великих капітальних витрат, а безперервна робота печі та її періодичний капітальний ремонт створюють природний цикл інвестицій у технологічному процесі. Суттєві зміни у технології варіння скла найбільш економно реалізуються у тому випадку, якщо їх впровадження збігається з капітальним ремонтом печі. Це також може стосуватися складних вторинних засобів зниження викидів, розмір яких повинен бути правильно підібраний, і для яких потрібно реалізувати усі необхідні операції підготовки газу. Однак протягом експлуатаційної кампанії можна внести багато вдосконалень у роботу печі, в тому числі встановити системи, у яких реалізовані вторинні технології. Для менших печей, які частіше зазнають капітальних ремонтів і потребують менших капітальних витрат, переваги узгодження екологічних удосконалень з ремонтом печі не такі помітні, проте екологічні вдосконалень можуть бути більш економічно вигідними, якщо їх впровадження скоординоване з іншими інвестиціями.

За оцінками, загальний об'єм виробництва у скляній промисловості в країнах ЄС-15 за 1996 рік склав 29 мільйонів тонн (за винятком ВТІВ та фрит). У 2005 році загальний об'єм виробництва у країнах ЄС-25 склав приблизно 37,7 мільйона тонн з урахуванням усіх секторів. Орієнтовний розподіл за секторами наведено у Таблиці 1.1 нижче. У період з 1997 по 2005 рік спостерігалось стабільне зростання загального об'єму виробництва. Проте зростання та/або коливання показників у різних секторах різнилося і буде розглянуте далі у цьому документі. Починаючи з 2008 року, спад у світовій економіці призвів до значного зниження рівнів виробництва у більшості секторів галузі.

Таблиця 1.1. Приблизний розподіл об'ємів виробництва у скляній промисловості за секторами у 1996 році (ЄС-15) та у 2005 році (ЄС-25)

Сектор	Виробництво у ЄС		
	% від загального об'єму		Мільйони тонн
	1996 – ЄС-15	2005 – ЄС-25	2005
Тарне скло	60	53,0	20,00
Плоске скло	22	24,8	9,37
Скловолокно з безперервних ниток	1,8	2,47	0,93
Сортове скло	3,6	3,86	1,46
Спеціальне скло (без розчинного скла)	5,8	2,04	0,77
Мінеральна вата	6,8	9,54	3,60
Високотемпературне ізоляційне волокно	Н/Д	0,11	0,04
Склокерамічний припій та емалева фрита	Н/Д	3,31	1,25
Інше	Н/Д	0,85	0,32
УСЬОГО			37,74

Н/Д = немає даних.

Джерело: [62, Оновлені дані CPIV для BREF щодо скла, 2007]

Зростання загального об'єму виробництва скла та об'ємів виробництва у п'яти найбільших секторах з 1995 по 2006 рік підсумоване на Рисунку 1.1. На цьому рисунку дані за 1995 – 2003 роки стосуються країн ЄС-15, а дані після 2004 року – країн ЄС-25. Дані про виробництво лише армувального волокна з 2002 року стосуються країн ЄС-25.

На Рисунку 1.1 не враховані дані про виробництво фрит та високотемпературних ізоляційних волокон.

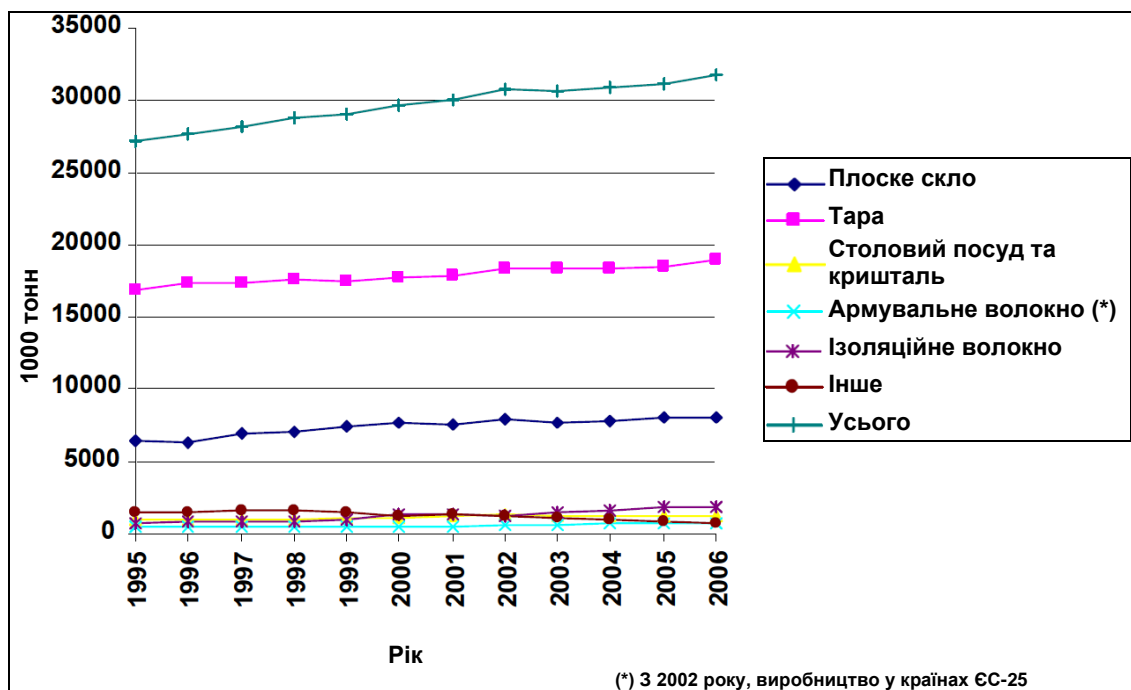


Рисунок 1.1. Графік розвитку виробництва за секторами (дані за 2004 рік і пізніше стосуються країн ЄС-25)

У порівнянні з 1995 роком (індекс 100), у 2006 році темп виробництва у країнах ЄС-15 досяг індексу у 125,7 для плоского скла, 112,2 для тарного скла, 124,3 для столового посуду і кришталю та 163,1 для армувального волокна.

У 2002 році за рахунок розширення ЄС з 15 до 25 країн загальний об'єм виробництва скла дещо збільшився – еквівалентне збільшення складо 2,6 %.

У порівнянні з 2004 роком (індекс 100), у 2006 році темп виробництва у країнах ЄС-25 досяг індексу у 105,1 для плоского скла, 105,7 для тарного скла, 92,4 для столового посуду і кришталю та 114,9 для армувального волокна [63, Річний звіт CPIV, 2007].

Вихід продукції у різних секторах дуже різниться, а зв'язки між секторами іноді слабкі. Проте спільною рисою, яка об'єднує всі види діяльності, розглянуті в цьому документі, є плавлення неорганічних матеріалів з утворенням скляної маси або склоподібної речовини, з якої далі формуються вироби.

Кожен з секторів скляної промисловості у багатьох аспектах є окремою самостійною галуззю, що виготовляє дуже різноманітну продукцію для різних ринків і стикається з різними проблемами. У розділах 1.3 – 1.10 цієї частини наведено стислий огляд кожного сектора і окреслено деякі важливі чинники, що впливають на кожен з цих секторів. У випадках, коли це можливо, інформація для кожного сектора наведена у такому вигляді, щоб її можна було порівняти з іншими секторами. Відмінності у структурах, організації та пріоритетах кожного сектору означають, що інформація іноді різниться за конкретними даними та за характером. Цього слід було очікувати, адже певні параметри мають різну відносну значимість для різних секторів.

1.2.1 Характеристики скла

[22, Schott, 1996]

Для терміну «скло» немає зручного простого визначення. У найширшому сенсі скло – це збірний термін, який означає необмежену кількість матеріалів різного складу у склоподібному стані. У більш конкретному розумінні цим терміном позначають стан неорганічної речовини, який може бути уподібнений до твердої речовини, проте має властивості рідини з високою в'язкістю, не маючи ні кристалічної структури, ні явно вираженої точки плавлення, тобто є переохолодженою рідиною. У скляній промисловості цим терміном зазвичай позначають силікатні види скла – речовини, які містять велику частку кремнезему (SiO_2) і природним чином утворюють скло за нормальних умов охолодження з розплавленого стану.

Скло за структурою подібне до рідин, проте під дією зусилля за температур навколишнього середовища воно зазнає пружної деформації, а тому вважається, що воно також поводить себе як тверда речовина. Використання терміну «скло» зазвичай обмежується неорганічними речовинами і не використовується для позначення органічних матеріалів, таких як прозорі пластики.

Склоподібну структуру можуть утворювати різні хімічні речовини – наприклад, оксиди кремнію, бору, германію, фосфору та миш'яку. При швидкому охолодженні з розплавленого стану ці речовини тверднуть без кристалізації, перетворюючись у скло. Ці склоутворювачі поведуться так само при змішуванні з іншими металевими компонентами в певних межах складу суміші. Додавання цих модифікаторів структури скла, серед яких найбільш поширеними є оксиди лужних металів (натрію, калію, літію), що додаються у якості флюсу, оксиди лужно-земельних металів (кальцію, магнію, барію, стронцію) та інші металеві модифікатори скла (наприклад, оксид алюмінію), змінює зв'язки та структурні групи, а відтак призводить до зміни фізичних та хімічних властивостей скла. Склоподібний стан не обмежується оксидами і також може спостерігатися при швидкому охолодженні деяких сполук сірки та селену. За екстремальних умов скло може виготовлятися з деяких безоксидних металевих сплавів, і багато органічних рідин переходять у склоподібний стан за низьких температур (наприклад, гліцерин – за температури -90°C).

Скло енергетично нестабільне у порівнянні з кристалом, який має такий же хімічний склад. Загалом при охолодженні розплавленої речовини кристалізація починається, коли температура падає нижче точки плавлення. У склі цього не трапляється, оскільки молекулярні структурні блоки (тетраедри SiO_4 у силікатному склі) просторово зв'язані один з одним поперечними міжмолекулярними зв'язками. Для утворення кристалів спочатку необхідно розірвати ці зв'язки, щоб могли утворитися кристалічні ядра. Це можливо лише за низьких температур, проте за цих температур в'язкість розплаву перешкоджає перебудові структури молекул та росту кристалів. Схильність до кристалізації (розкльовання) зменшується зі зростанням темпу охолодження (в межах діапазону критичних температур нижче точки плавлення), залежно від кількості та типу різних компонентів у рецептурі.

Механічні властивості скла досить специфічні. Фактична міцність скла на розтяг у кілька сотень разів менша, ніж теоретичне значення, розраховане за енергіями хімічних зв'язків. Міцність на розтяг суттєво залежить від поверхневого стану скла та присутності внутрішніх дефектів. Міцність на розтяг можна значно поліпшити за допомогою різних методів обробки скла, – як-от нанесення покриття, вогневе полірування та попереднє напруження, – проте вона все рівно залишиться значно меншою, ніж теоретичне значення.

Також існує багато рецептур скла, яке схильне ламатися за різких перепадів температур. Це зумовлено кількома причинами: переважно слабкою теплопровідністю, порівняно великим коефіцієнтом теплового розширення скла з високим вмістом лугу та обмеженою міцністю на розтяг. Скло поділяється на дві категорії: сорти скла з коефіцієнтом теплового розширення менше $6 \times 10^{-6}/\text{K}$ називаються «тугоплавким склом», а сорти скла з вищим коефіцієнтом теплового розширення називаються «легкоплавким склом».

1.2.2 Загальна класифікація типів скла

[22, Schott, 1996], [100, Редакція Довідкового документа з найкращих технологій та методів управління (BREF) від Міжнародної федерації виробників кришталю (ICF), 2007]

Скло – це речовина змінного складу, який для простоти прийнято виражати через відносні частки оксидів складових елементів (SiO_2 , Na_2O , CaO , B_2O_3 , тощо), хоча скло не містить самих цих оксидів.

Найбільш поширеною класифікацією типів скла є класифікація за хімічним складом, яка передбачає чотири основні групи: вапняно-натрієве скло, свинцевий кришталі та кришталеве скло, боросилікатне скло та спеціальне скло. На перші три з цих категорій припадає понад 95 % усього виготовленого скла. На решту 5 % припадають тисячі рецептур спеціального скла, що виготовляються переважно в невеликих об'ємах. За дуже рідкими винятками, більшість видів скла виготовляється на основі силікату, основним компонентом якого є діоксид кремнію (SiO_2).

Винятком з цієї класифікації типів скла є кам'яна вата, оскільки її типовий хімічний склад не підпадає під жодну з цих категорій. Типовий склад кам'яної вати наведено у Таблиці 2.9.

Вапняно-натрієве скло

Переважна більшість видів скла, що виготовляються у промислових масштабах, мають дуже схожий склад і у сукупності називаються вапняно-натрієвим склом. Типовий склад вапняно-натрієвого скла можна представити як 71 – 75 % діоксиду кремнію (SiO_2 , отримується головним чином з піску), 12 – 16 % оксиду натрію («сода» Na_2O з кальцинованої соди – Na_2CO_3), 10 – 15 % оксиду кальцію («вапно» CaO з вапняку – CaCO_3) та невеликі частки інших компонентів, що використовуються для надання склу певних властивостей. У деяких сумішах замість частки оксиду кальцію або оксиду натрію використовується відповідно оксид магнію (MgO) та оксид калію (K_2O). Варіанти складу скла детальніше описані у відповідних розділах частини 2.

З вапняно-натрієвого скла виготовляють пляшки, банки, флаконну продукцію (для парфумів та косметики), повсякденний столовий посуд та віконне скло. Своїм широким вжитком вапняно-натрієве скло завдячує своїм хімічним та фізичним властивостям. Одна з найважливіших властивостей вапняно-натрієвого скла – його відмінне світлопропускання, тому воно використовується у виготовленні плоского скла та прозорих виробів. Крім того, воно має гладку поверхню без пор, яка великою мірою хімічно інертна, тому воно легко очищується і не впливає на смак продуктів, що в ньому зберігаються. Характеристики міцності на розтяг та теплові характеристики скла достатні для цих випадків застосування, а сировина порівняно дешева і економно вариться. Чим вищий вміст лугів у склі, тим більший коефіцієнт теплового розширення і тим менша стійкість до температурних ударів та хімічної корозії. Вапняно-натрієві різновиди скла зазвичай не підходять для сфер застосування, у яких передбачаються екстремальні температури чи різкі перепади температур.

Свинцевий криштал та кришталеве скло

Більшу частину оксиду кальцію у шихті можна замінити оксидом свинцю: у результаті буде отримане скло, широко відоме під назвою «свинцевий криштал». Його типовий склад такий: 54 – 65 % SiO_2 , 25 – 30 % PbO (оксиду свинцю), 13 – 15 % Na_2O або K_2O , плюс інші різноманітні мікрокомпоненти. За рецептурою цього типу, що містить понад 24 % оксиду свинцю, виготовляється скло, яке має велику густину та показник заломлення, а відтак – відмінну блискучість та дзвінкість, а також відмінну придатність до обробки, яка дає змогу виготовляти з нього вироби різної форми та різноманітні оздоблення. Типовими виробами з нього є високоякісний скляний посуд для пиття, карафи, миски та декоративні предмети. У різновидах скла, відомих під назвою «кришталеве скло», що мають меншу густину або блискучість, ніж свинцевий криштал, оксид свинцю можна частково або повністю замінити оксидами барію, цинку або калію. Точні визначення, пов'язані з хімічними та фізичними характеристиками, викладені у Директиві Ради 69/493/ЕЕС про наближення законодавств країн-членів ЄС щодо кришталевого скла.

Боросилікатне скло

Боросилікатним склом можна вважати різновиди скла, що містять оксиди бору та кремнію. Його типовий склад такий: 70 – 80 % SiO_2 , 7 – 15% B_2O_3 , 4 – 8 % Na_2O або K_2O , та 2 – 7 % Al_2O_3 (оксиду алюмінію). Скло з таким складом демонструє високу стійкість до хімічної корозії та перепадів температур (низький коефіцієнт теплового розширення). Серед застосувань цього скла – компоненти хімічних процесів, лабораторне обладнання, фармацевтичні контейнери, освітлення, кухонне приладдя та навіть двері і варильні панелі. Багато боросилікатних рецептур розраховані на виготовлення дрібносерійної технічної продукції і вважаються такими, що належать до категорії спеціального скла.

Ще однією сферою застосування боросилікатного скла є виробництво скловолокна – як безперервних ниток, так і скловатної ізоляції. Окрім хімічної стійкості та низького коефіцієнта температурного розширення, триоксид бору важливий для волокнуутворення у скляному розплаві. Типові варіанти складу скловолокна відрізняються від наведеного вище складу. Наприклад, алюмоборосилікатне безлугове скло (скло Е) має такий склад: SiO_2 : 52 – 56 %, оксиди лужно-земельних металів: 16 – 25 %, B_2O_3 : 5 – 10 %, Al_2O_3 : 12 – 16 %, плюс інші мікрокомпоненти. Також слід зазначити, що у виготовленні скловолокна з безперервних ниток все більшого значення набувають нові рецептури з низьким вмістом бору / безборні суміші.

Спеціальне скло

Це надзвичайно розмаїта група, що охоплює спеціалізовану дрібносерійну продукцію високої вартості, склад якої дуже різниться залежно від потрібних властивостей конкретного продукту. Серед сфер його застосування – спеціалізована боросилікатна продукція, оптичне скло, скло для електротехніки та електроніки; катодно-променеві трубки; вироби з плавленого кварцу; скляні впаї; рентгенівські трубки; скляні припої; рідкокристалічні панелі, спечене скло; електроди та склокераміка. Детальніша інформація про рецептури технічного скла наведена у частині 2.

1.2.3 Історичні витоки

[19, CPIV, 1998], [22, Schott, 1996]

Склоподібні матеріали зустрічаються і в природі: наприклад, обсидіан часто зустрічається у вулканічних районах і має склад, подібний до штучного скла. Цей матеріал, який складається головним чином з діоксиду кремнію та сполук натрію і кальцію, використовувався первісними людьми для виготовлення наконечників стріл, списів та ножів. Іншими природними формами скла є тектити, які утворюються в результаті затвердіння розплавленої породи, що розбризкується в атмосферу, коли в поверхню землі врізаються метеорити; та фульгурити, які утворюються, коли блискавка б'є в пісок.

Хоча й невідомо, коли вперше було виготовлене штучне скло, найдавніші знахідки датуються приблизно 3500 роком до н.е. Є підстави вважати, що скловаріння вперше виникло у Єгипті та Месопотамії, проте пізніше було незалежно винайдене у Китаї, Греції та Північному Тіролі. Вважається, що стародавнє виробництво скла пов'язане з виготовленням кераміки або бронзи, під час якого скло могло утворюватися як побічний

продукт. Спочатку воно використовувалося для виготовлення ювелірних прикрас та невеликих посудин. Виробництво скла почало стрімко зростати приблизно з 1500 р. до н.е., коли стали виготовляти більші і практичніші предмети (миски, резервуари та чаші) шляхом відливання скла навколо піщаного чи глиняного осердя.

Перша велика технічна революція у виготовленні скла відбулася в першому столітті нашої ери у Палестині або Сирії з винайденням складувної трубки. Ця технологія полягала в тому, щоб підвести розплавлене скло до кінця видувної трубки, у яку дув ремісник, створюючи порожнє тіло. Ця технологія дала змогу виготовляти велике розмаїття форм і поширилася по всьому заходу – наприклад, в Італію та Францію.

Виробництво скла у Європі зазнало подальшого розвитку в середньовіччя, і центром європейського скляного мистецтва стала Венеція. У XIV сторіччі скляні майстерні виникли по всьому континенту, і в той же час у Франції розвинулося виробництво плоского скла для скління. Протягом сторіч віконне скло видувалося за допомогою складувної трубки у великі циліндричні тіла, розрізалося і у ще гарячому стані розгладжувалося, поки не ставало плоским. Таким чином можна було виготовити лише обмежену кількість скла, і листи віконного скла були дуже малими. Нова технологія полягала в тому, щоб видути скляну кулю за допомогою трубки, відкритої на кінці, протилежному місцю прикріплення скла до трубки, і розгорнути її у плоский лист. Після винайдення процесу відливання листів у 1688 році за правління Людовика XIV стало можливо виготовляти дзеркала з великою поверхнею. Водночас англійські виробники скла винайшли свинцевий кришталь: таке скло мало високу блискучість і чистий дзвін.

У XVIII сторіччі деякі фабрики вже виготовляли понад один мільйон пляшок на рік (близько 3 тон/добу) за допомогою технологій видування вручну. Під час промислової революції XIX сторіччя технічний прогрес прискорився: печі почали працювати на вугіллі замість дерева; почали використовуватися перші автоматичні машини, а видування стали здійснювати у металеві форми за допомогою стисненого повітря. Наприкінці XIX сторіччя Фрідріх Сіменс винайшов піч безперервної дії, яка давала змогу безперервно виготовляти скло у великих масштабах та використовувати механізми.

У XX сторіччі було зроблено два важливі кроки: повна механізація виробництва пляшок із впровадженням першої автоматичної секційної склоформуальної машини (IS) близько 1920 року та винайдення флоат-процесу для виробництва плоского скла у 1962 році. На сьогодні продуктивність секційної машини може перевищувати 500 пляшок за хвилину, а продуктивність флоат-процесу може досягати 1 000 тонн/добу.

1.3 Тарне скло

1.3.1 Огляд сектора промисловості

[19, CPIV, 1998], [62, Оновлені дані CPIV для BREF щодо скла, 2007], [64, Європейська асоціація тарного скла (FEVE), 2007], [125, FEVE, 2009]

Тарне скло – це найбільший сектор скляної промисловості у ЄС, на який припадає від 50 до 60 % загального об'єму виробництва скла, залежно від звітного року. Цей сектор охоплює виробництво скляної упаковки, тобто пляшок та банок, що використовуються для упакування харчових продуктів, напоїв, косметики та парфумів, фармацевтичних препаратів та технічних виробів. У 2005 році в цьому секторі виготовлялося 20 мільйонів тон тарного скла з печей, що працювали в країнах ЄС-25, та всього 21 мільйон тонн у країнах ЄС-27. У 2006 році спостерігався ріст виробництва, а у 2007 році в країнах ЄС-27 було виготовлено 22 мільйони тонн.

У середньому в країнах ЄС-15 випуск продукції щороку зростав на 0,9 %. Виробничі показники за 2007 рік підтверджують тенденцію до росту скляної промисловості, в результаті чого виробництво у цьому році зросло на 4 %. Проте фінансова криза та зумовлене нею скорочення споживацького попиту у 2008 та 2009 роках призвели до скорочення виробничої потужності внаслідок тимчасового або безповоротного закриття печей та/або виробничих ліній. Крім того, що навіть важливіше, це серйозно знизило здатність галузі залучати капітал та інвестиції.

На час написання документа (2010 рік) існує приблизно 70 компаній зі 170 установками, а у секторі безпосередньо зайняті приблизно 40 000 осіб. Тарне скло виготовляється у 19 з 27 країн-членів ЄС (див. Таблицю 1.2).

У країнах ЄС-27 продукцію наразі випускають кілька великих груп компаній (Ardagh Glass, BA Vidro, O-I Europe, Saint-Gobain, Vetropack та Vidrala) і багато менших незалежних компаній та груп, які продовжують ефективно конкурувати завдяки існуванню регіональних та спеціалізованих ринків. Європа є найбільшим виробником тарного скла; після неї йдуть США та Японія. Географічний розподіл сектору з зазначенням частки виробництва основних країн-членів ЄС наведено в Таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Розподіл установок з виробництва тарного скла та об'ємів виробництва у країнах-членах ЄС

Країна-член ЄС	Кількість установок	Розподіл об'ємів виробництва в ЄС у тоннах x 10 ³ ⁽¹⁾			Розподіл об'ємів виробництва у ЄС, % ⁽¹⁾		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
Німеччина	39	3895	3886	4080	19	19	19
Франція	24	3784	3828	3722	18	18	17
Італія	32	3543	3549	3621	17	17	17
Іспанія	20	2144	2148	2222	10	10	10
Велика Британія	13	2081	2160	2244	10	10	10
Польща	17	1088	1120	1230	5	5	6
Португалія	6	1024	1096	1231	5	5	6
Нідерланди	5						
Австрія	3						
Чехія	5						
Бельгія	2						
Греція	2						
Данія	1						
Швеція	1						
Естонія	1						
Фінляндія ⁽²⁾	1						
Угорщина	1						
Словаччина	1						
Румунія	1						
Латвія	0						
Литва	0						
Кіпр	0						
Болгарія	0						
Ірландія	0						
Словенія	0						
Мальта	0						
Люксембург	0						
Проміжна сума «Інші» ⁽³⁾		3164	3085	3239	15	15	15
Усього	175	20 723	20 872	21 589			

⁽¹⁾ Дані, надані FEVE.
⁽²⁾ Завод закритий у 2009 році.
⁽³⁾ Наявні дані для таких країн: Австрія, Бельгія, Болгарія, Греція, Данія, Нідерланди, Румунія, Словаччина, Угорщина, Фінляндія, Чехія та Швеція об'єднані у категорію «Інші» з міркувань конфіденційності.
Джерело: [85, Іспанська настанова з НДТМ для скла, 2007], [125, FEVE, 2009]

Найбільш поширені установки з виробництва скла потужністю від 300 до 600 тонн на добу. У Таблиці 1.3 представлено типовий розподіл установок за різними діапазонами потужностей, що обмежується заводами, які охопило опитування, проведене FEVE (134 установки з загальної кількості в 175 установок у країнах ЄС-27).

Таблиця 1.3. Кількість установок з виробництва тарного скла у вказаних діапазонах продуктивності

Діапазон продуктивності (тонн/добу)	<150	Від 150 до 300	Від 300 до 600	Від 600 до 1 000	>1 000
Кількість установок у кожному діапазоні	15	38	56	23	2
Частка (%) установок у кожному діапазоні	11,2	28,4	41,8	17,2	1,5

Джерело: [126, FEVE, 2009]

1.3.2 Вироби та ринки

[19, CPIV, 1998]

Тарне скло виготовляється за базовою вапняно-натрієвою рецептурою і вариться у печі, що працює на викопному паливі, або, у виняткових випадках, в електричній печі. Вироби зазвичай формуються з розплавленого скла за допомогою автоматичних секційних склоформувальних машин (IS). За потреби до скла додаються барвники, а на поверхню готових виробів наноситься покриття.

З точки зору об'єму найважливішими виробами у секторі тарного скла є пляшки для вин, пива, горілчаних та безалкогольних напоїв, тощо, і банки з широкою шийкою для харчової промисловості. Ці вироби загалом вважаються товарами широкого вжитку, проте ще однією важливою складовою цього сектора є виробництва більш вартісної тари для фармацевтичної та парфумерної/косметичної промисловості. Більшість продукції продається галузям-споживачам у межах ЄС, які потім продають свої упаковані вироби на ринках ЄС та інших частин світу. Відносна значимість різних галузей-споживачів суттєво відрізняється у різних країнах-членах ЄС. Це знаходить відображення у великому розмаїтті національних ринків скляної тари та виробів, яких вони потребують, – зокрема, з точки зору кольору, форми, розміру та конструкції.

Існує три загальні сектори галузей-споживачів. На сектор виробництва напоїв припадає приблизно 75 % загального тоннажу скляної пакувальної тари. Сюди входять неігристі та ігристі вина, кріплені вина, горілчані напої, пиво та сидри, ароматизовані алкогольні напої, безалкогольні напої, фруктові соки та мінеральні води. На харчовий сектор припадає близько 20 % тоннажу (переважно банки). Сюди входить великий асортимент виробів – наприклад, сухі та вологі консерви, молоко та молокопродукти, варення та паштети, соуси та заправки, олія, оцет, тощо. Решта 5 % (або близько того) тоннажу тарного скла припадає на тару для парфумерії/косметики, фармацевтичних препаратів та технічної продукції (флакони), для яких зазвичай використовуються значно менші пляшки.

Важливою характеристикою сектору є те, що відстань доставки пляшок для масових напоїв зазвичай обмежується кількома сотнями кілометрів, оскільки вартість транспортування порожньої тари доволі висока у порівнянні з ціною продажу. Крім того, існують спеціальні місцеві чи регіональні ринки з характерною для них скляною тарою, особливо для алкогольних напоїв (окремі виноробні регіони, віскі, коньяк, шампанське та пиво), і це перешкоджає концентрації ринку. Флаконна продукція – зокрема, для високоякісних парфумів та косметики – більшою мірою є предметом міжнародної конкуренції.

З іншого боку, посилений ріст та вплив світових груп компаній у виробництві харчових продуктів та напоїв, фармацевтичній та косметичній промисловості у період з 1997 по 2005 рік відбилися на подальшій концентрації та інтернаціоналізації власності на об'єкти скляної промисловості, а також призвели до більшої спеціалізації на видах скляної продукції, що постачається (все рідше зустрічаються компанії, які виготовляють вироби у більш ніж одному секторі скляної промисловості).

1.3.3 Комерційні та фінансові міркування

[19, СРІV, 1998], [63, Річний звіт СРІV, 2007]

Галузь тарного скла – це порівняно розвинута галузь промисловості, яка обслуговує надзвичайно динамічні ринки і зазнавала повільного загального зростання у період з 1997 по 2006 рік. Вона неминуче зазнає місцевих або тимчасових змін, проте очікується, що протягом середньотермінового періоду буде зберігатися загальна тенденція. Проте очікується, що конкуренція з боку альтернативних пакувальних матеріалів залишиться важливою проблемою цього сектору.

Хоча печі мають довгий термін служби, велика кількість печей означає, що кожного року значна частка виробничих потужностей буде наближатися до капітального ремонту. У секторі тарного скла надлишок виробничих потужностей зазвичай локально зосереджений і короткочасний. Конкуренція з боку альтернативних матеріалів є важливим чинником, що впливає на рівні цін.

З огляду на транспортні витрати, більшість продукції продається в межах 500 км від виробничого об'єкта, тож імпорту та експорту продукції доволі сильно обмежений. Це не стосується парфумерної/косметичної промисловості, у якій експорт може складати понад 40 % об'єму виробництва. Протягом 2005 року об'єм експорту з ЄС перевищив об'єм імпорту приблизно на 70 %, тобто становив 931 784 тонни у порівнянні з 262 192 тоннами, проте у 2006 році об'єм експорту зріс лише на 0,5 %, а об'єм імпорту – на 11,7 %. Сумарні об'єми торгівлі за межами ЄС складають лише 4,6 % об'єму виробництва у секторі, тобто 20 мільйонів тонн. Проте в областях на периферії ЄС цей сектор може зазнавати досить жорсткої конкуренції з боку країн, які не є членами ЄС, і часто пропонують продукцію прийнятної якості, проте за значно нижчою ціною. Це особливо стосується низьковартісної продукції. Проте важливо пам'ятати, що, хоча тара й продається у місцевому масштабі, упаковані в скло товари часто експортуються у значних кількостях за межі ЄС (наприклад, вина, горілчані напої, пиво, парфуми, олія).

Існує велике розмаїття чинників, які можуть впливати на ринок тарного скла. Основну загрозу становлять альтернативні пакувальні матеріали, особливо пластики (головним чином поліетилентерефталат – ПЕТ), метали (сталь та алюміній) і багатошаровий картон.

Основними перевагами тарного скла є його висока хімічна стійкість та бар'єрні властивості (завдяки яким воно захищає вміст і зберігає його якість), а також естетична привабливість (прозорість, колір, дизайн, тощо для представлення товарів та впізнавання брендів, можливість переробки у нові пляшки, можливість повторної герметизації, простота очищення та можливість повторного використання. Крім того, свіжа сировина, що використовується для виготовлення скла, у великій кількості доступна в природі. Становище скла відносно матеріалів, які з ним конкурують, дуже різниться для різних регіонів та виробів, залежно від уподобань ринку, витрат та розробок у сфері упаковки. Основними недоліками скла є його вага та ризик того, що воно розіб'ється.

Інші важливі чинники пов'язані з коливаннями попиту на упаковану продукцію. – наприклад, зміни у звичках споживачів, як-от тенденція до споживання вин у менших об'ємах, проте вищої якості. Важливими також можуть бути кліматичні чинники, які впливають на розмір збору вин та споживання пива і безалкогольних напоїв влітку. Від коливань курсів іноземних валют та панівних місцевих економічних умов залежить попит на дорогі товари, як-от парфуми та горілчані напої.

Скловаріння – це капіталомістка галузь промисловості, тому вихід на ринок можливий лише для досить великих підприємств зі значними фінансовими ресурсами. Повільне довготермінове зростання означає, що, хоча у галузі й будуються нові печі, їх зазвичай будують компанії, які вже працюють у цьому регіоні, або інші існуючі компанії, що виходять на ринок цього регіону. Об'єми продажу будуть зростати великою мірою за рахунок модернізації існуючих заводів у ході планових капітальних ремонтів. Загальною рисою цієї галузі є тенденція до переходу невеликих компаній у власність великих компаній.

Інвестиційний цикл довгий. Печі для виробництва тарного скла зазвичай працюють безперервно або з одним-двома поточними ремонтами протягом більш ніж 20 років; після цього проводиться їх капітальний ремонт з частковою або повною заміною конструкції залежно від її стану. Безпосередній капітальний ремонт печі середнього розміру (близько 250 тонн на добу) буде коштувати у районі від 3 до 5 мільйонів євро або й більше. Фактичні витрати можуть бути значно вищими, оскільки капітальний ремонт може бути зручним періодом для будь-яких модернізацій технологічного процесу. Новий завод зіставного розміру на новому неосвоєному майданчику коштував би в районі 40 – 50 мільйонів євро включно з інфраструктурою та послугами.

1.3.4 Основні екологічні проблеми

Основна екологічна проблема, пов'язана з виробництвом тарного скла, полягає в тому, що це високотемпературний енергоємний процес. Це призводить до викидів продуктів згорання та високотемпературного окиснення атмосферного азоту, тобто утворення діоксиду сірки, вуглекислого газу та оксидів азоту. Викиди з печей також містять пил (що утворюється внаслідок переходу в леткий стан і наступної конденсації летких матеріалів у складі шихти) та сліди хлоридів, фторидів та металів, що присутні в сировині у якості домішок. Існують технічні рішення, за допомогою яких можна мінімізувати всі ці викиди, проте кожна технологія має свої фінансові та екологічні наслідки.

У секторі були впроваджені значні вдосконалення, націлені на покращення стану довкілля, які суттєво знизили викиди з печей та споживання енергії. Зокрема, було вжито заходів з реалізації первинних технологій для зниження викидів оксидів азоту та діоксиду сірки.

Рівні утворення відходів у цьому секторі дуже низькі. Дійсно безперервною розробкою у цьому секторі стало збільшення використання утилізованих відходів скла (скляного бою). У 2008 році середня частка переробки бою скляних виробів, використаних споживачем, у секторі тарного скла в ЄС склала приблизно 50 % загального об'єму завантаженої сировини, а деякі установки переробляли 80 % і більше відходів скла. У деяких типах виробів, які повинні мати високу безбарвність, – наприклад, у виробництві тари для деяких парфумів або косметики класу люкс, а також для ринків алкогольних напоїв, – не можна використовувати велику кількість відходів скляних виробів, використаних споживачем, оскільки вони вносять домішки кольорового скла.

Помітною перевагою скла над альтернативними пакувальними матеріалами є легкість переробки та повторного використання. Виробництво тарного скла загалом не повинно створювати значних проблем із забрудненням води. Вода використовується головним чином для очищення та охолодження, і її можна легко очистити або використати повторно.

1.4 Плоске скло

1.4.1 Огляд сектора промисловості

[19, CPIV, 1998], [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007], [127, Торгова асоціація скляної промисловості «Скло для Європи» (Glass for Europe), 2008]

Виробництво плоского скла – це другий за величиною сектор скляної промисловості у країнах ЄС-27, що становить близько 26 % від загального об'єму виробництва скла у 2005 році, 28 % у 2006 році та 29 % у 2007 році. Цей сектор охоплює виробництво флоат-скла та прокатного скла. Основною продукцією є флоат-скло, а частка прокатного скла складає лише 3,5 % від загального об'єму і зменшується, у той час як об'єм виробництва флоат-скла за минулі роки збільшився.

У 2007 році в цьому секторі було виготовлено приблизно 9,5 мільйона тонн скла у 58 флоат-ваннах, що експлуатуються в країнах ЄС-27. У країнах ЄС-27 працює дев'ять виробників флоат-скла та чотири заводи з виробництва прокатного скла. Плоске скло виготовляється у 16 країнах-членах ЄС.

У 2007 році в цьому секторі працювало приблизно 17 000 осіб, зайнятих у виробництві плоского скла. Щорічний приріст випуску плоского скла у середньому складає порядку 2 – 3 %.

Виробництво плоского скла – це господарська діяльність світового масштабу, що складається з чотирьох основних груп, до яких, у порядку зростання світових потужностей, належать такі компанії: Asahi Glass (AGC Flat Glass Europe), NSG (Pilkington, Велика Британія), Saint-Gobain (Франція) та Guardian Industries (США).

Інформація про те, у чийй власності перебувають флоат-ванни, наведена у Таблиці 1.4 та у Таблиці 1.5 нижче (ЄС-27, 2007).

Таблиця 1.4. Власники та місцезнаходження флоат-ванн у країнах ЄС-27 в 2007 році

Компанія	Кількість ванн	Місцезнаходження
Saint-Gobain	16	Німеччина (4), Франція (3), Бельгія (2), Іспанія (2), Італія (1), Португалія (1), Велика Британія (1), Польща (1), Румунія (1)
AGC Flat Glass Europe	13	Бельгія (4), Франція (2), Італія (2), Нідерланди (1), Чехія (3), Іспанія (1)
Pilkington	12	Німеччина (4), Велика Британія (3), Італія (2), Фінляндія (1), Швеція (1), Польща (1)
Guardian	8	Люксембург (2), Іспанія (2), Німеччина (1), Велика Британія (1), Угорщина (1), Польща (1)
Euroglas	3	Франція (1), Німеччина (2)
Manfredonia Vetro/Sangalli	1	Італія (1)
Sisecam	1	Болгарія (1)
Interpane	1	Франція (1)
Ges Scaieni	1	Румунія (1)
Усього	56	

Таблиця 1.5. Сумісні підприємства, що володіли флоат-ваннами у країнах ЄС-27 в 2007 році

Компанія	Кількість ванн	Місцезнаходження
AGC Flat Glass Europe/Scheuten	1	Бельгія
Saint-Gobain/Pilkington	1	Італія

Географічний розподіл сектору та діапазон розмірів установок наведено у Таблиці 1.6 та у Таблиці 1.7:

Таблиця 1.6. Кількість флоат-ванн у країнах-членах ЄС (ЄС-27) у 2007 році

Країна-член ЄС	Кількість флоат-ванн	Відсотковий розподіл виробництва у ЄС
Німеччина	11	19,0
Франція	7	12,1
Італія	7	12,1
Бельгія	7	12,1
Велика Британія	5	8,6
Іспанія	5	8,6
Польща	3	5,2
Чехія	3	5,2
Люксембург	2	3,45
Румунія	2	3,45
Фінляндія	1	1,7
Нідерланди	1	1,7
Португалія	1	1,7
Швеція	1	1,7
Угорщина	1	1,7
Болгарія	1	1,7
Усього	58	100
<i>Джерело: [127, Торгова асоціація скляної промисловості «Скло для Європи» (Glass for Europe), 2008]</i>		

Таблиця 1.7. Відсоток флоат-ванн з потужністю у вказаних діапазонах

Діапазон потужності (тонн/добу)	% установок у кожному діапазоні потужності в країнах ЄС-27
<400	1
Від 400 до 550	37
Від 550 до 700	48
> 700	14

1.4.2 Вироби та ринки

[19, CPIV, 1998], [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007]

У ЄС виготовляється два типи плоского скла: прокатне скло та флоат-скло. Строго кажучи, існують й інші типи плоского скла, проте вважається, що вони не належать до цього сектора, тому що вони належать до сектору спеціального скла або не відповідають критерію об'єму виробництва у 20 тонн на добу, вказаному в Директиві 2008/1/ЄС. Більша частина прокатного скла – це візерункове або армоване скло, на яке припадає близько 3,5 % загального випуску продукції у цьому секторі. Візерункове скло використовується у садових теплицях, з метою оздоблення або у випадках, коли світло повинно розсіюватися – наприклад, у виготовленні скляних перегородок, вікон для ванних кімнат та фотоелектричних панелей. Решта 95 % випуску продукції припадають на флоат-скло, яке використовується головним чином у будівельній та автомобільній промисловості.

До того, як у 1962 році Пілкінгтон винайшов флоат-процес виготовлення скла, існувало два основні типи безвізерункового скла: листове скло та вітринне скло. Найбільш поширеним методом виробництва листового скла був процес безчовникового витягування (Піттсбургський процес), який полягає у вертикальному витягуванні скла з ванни. У склі в місці витягування встановлюється вогнетривкий напрямний пристрій, а витягнуте скло приймають охолоджені захоплювачі. Скло проходить через відпалювальний вал довжиною близько 12 м, а потім ріжеться на листи потрібної форми. До появи флоат-скла вітринне скло було найбільш високоякісним із доступних видів скла. Вітринне скло виготовляється з прокатного скла або товстого листового скла шляхом шліфування та полірування скла за допомогою обертових дисків на великих столах або конвеєрах. Двосторонній процес полягає в одночасному шліфуванні скла з обох боків. У процесі шліфування та полірування утворюється велика кількість твердих відходів, які потрібно утилізувати.

Переваги флоат-процесу (економність, асортимент продукції, мала кількість відходів та висока якість) були настільки вагомими, що з моменту його впровадження у 1962 році листове скло та вітринне скло поступово замінювалося цим склом і більше не виготовляється в ЄС. Деякі вироби спеціалізованого призначення, виготовлені з прокатного скла, досі поліруються, і все менша кількість листового скла та вітринного скла досі виготовляється в деяких районах світу. У контексті цього документа виробництво листового скла та вітринного скла можна вважати, по суті, застарілими технологіями.

Найважливішими ринками збуту флоат-скла є будівельна та автомобільна промисловість. Найбільшим із цих ринків є будівельна промисловість, на яку припадає від 75 до 85 % випуску продукції, а більша частина решти продукції – від 15 до 25 % – переробляється у скління для автомобільної промисловості. Деяке скло просто ріжеться на шматки потрібного розміру і відразу використовується, проте більшість виготовленого плоского скла переробляється в інші вироби. У автомобільній промисловості такими виробами є багатошарове вітрове скло, бокове та заднє скло і люки в даху автомобіля. Основною обробленою продукцією для будівельної промисловості є ізоляційне скління у вигляді подвійних чи потрійних склопакетів, до складу яких часто входить один шар скла з покриттям. На ці склопакети припадає від 40 до 50 % продукції на будівельному ринку, а решту становлять вироби з покриттям, посріблені, ударостійкі та багатошарові вироби – на кожен з цих видів виробів припадає від 10 до 15 % продукції.

1.4.3 Комерційні та фінансові міркування

[19, CPIV, 1998], [63, Річний звіт CPIV, 2007], [127, Торгова асоціація скляної промисловості «Скло для Європи» (Glass for Europe), 2008]

Загальний об'єм торгівлі з країнами за межами ЄС у середньому складає близько 15 % об'єму виробництва ЄС з незначним додатним торговим сальдо. У районі 10 % об'єму виробництва експортується у країни, що не належать до ЄС, та подібні країни, проте на ринок ЄС імпортується значно менша кількість (6,3 % у 2006 році для необробленого скла) – переважно зі Східної та Південно-Східної Азії. Цей підсумок стосується як обробленого, так і необробленого скла. Плоске скло дорого транспортувати, тож його бажано постачати споживачам, що знаходяться якомога ближче до виробничого об'єкта. Втім, з огляду на 58 ліній з виробництва флоат-скла, що працювали в ЄС станом на 2007 рік, та напружену конкуренцію між компаніями, скло може транспортуватися на значні відстані, проте вони зрештою обмежуються витратами. Переважна більшість скла, виготовленого і обробленого в ЄС, продається в Західній Європі.

Після кількох років досить малих об'ємів імпорту, які до того ж зменшувалися, з 2005 року кількість флоат-скла, імпортованого з-за меж ЄС-27, стрімко зростає, вдвічі перевищивши показник минулих років. У 2007 році об'єми імпорту досягли історичного піку: загальний об'єм імпорту з-за меж ЄС – переважно з Китаю – склав приблизно 11 % загального об'єму виробництва в ЄС. У тому ж році експорт за межі ЄС склав 10,5 % загального об'єму виробництва в ЄС. Через великий надлишок виробничих потужностей у Китаї очікується, що у найближчому майбутньому ці об'єми імпорту будуть і далі зростати. Іншими країнами, що імпортують у Європу великі об'єми продукції, є Туреччина, США, Індонезія, Ізраїль та Росія.

Базове виробництво плоского скла – це розвинена циклічна господарська діяльність з виробництва, по суті, товарів широкого вжитку. У період з 1986 по 2000 рік у цьому секторі спостерігався значний річний приріст від 2 до 3 %. Тенденція до зростання підтвердилася у 2000 – 2006 роки як для країн ЄС-15, так і для країн ЄС-27. Проте надлишок виробничих потужностей у секторі призвів до тиску цін, у ході якого ціни впали в реальному вираженні. Ціни на різних ринках можуть дещо відрізнятися, проте особливо низькі в Німеччині, яка є найбільшим виробником. Попит на плоске скло особливо чутливий до економічних циклів, оскільки він дуже залежить від будівельної та автомобільної галузей. У періоди економічного зростання та високого попиту на плоске скло цей бізнес може досить-таки процвітати, а під час економічних спадів чи рецесій – навпаки.

У 2000 – 2007 роках коефіцієнт використання потужностей становив близько 90 %. У цій галузі загалом побутує думка, що для забезпечення довготермінової прибутковості коефіцієнт використання потужності повинен перевищувати 90 %. Розрахункова динаміка коефіцієнта використання потужності існуючих флоат-ванн у країнах ЄС-27 та виробництва надлишкового продукту представлена у Таблиці 1.8.

Таблиця 1.8. Розрахункова динаміка коефіцієнта використання потужності та виробництво надлишку флоат-скла у країнах ЄС-27

Кінець року	Доступна для продажу потужність	Світові об'єми продажу виробників з країн ЄС-27	Коефіцієнт використання потужності за світовими об'ємами продажу виробників з країн ЄС-27	
			Надлишок	Коефіцієнт використання
	тисячі тонн	тисячі тонн	тисячі тонн	%
2007	9 576	8 921	655	93,16
2008 ⁽¹⁾	9 709	9 141	568	94,15
2009 ⁽¹⁾	10 319	9 516	803	92,22
2010 ⁽¹⁾	10 808	9 938	870	92,00

⁽¹⁾ Розрахункові дані
Джерело: [127, Торгова асоціація скляної промисловості «Скло для Європи» (Glass for Europe), 2008]

Виробництво плоского скла і, зокрема, флоат-скла – це дуже капіталомістка діяльність, яка потребує значних фінансових ресурсів, довготермінових інвестицій та високого рівня технічної майстерності. Тому кількість великих міжнародних виробників невелика. Менші виробники також існують, хоча це й рідкість.

Печі для виробництва флоат-скла працюють безперервно протягом 12 – 15 років (а у деяких випадках навіть довше); після цього проводиться їх капітальний ремонт з частковою або повною заміною конструкції залежно від її стану. Великий капітальний ремонт коштує 30 – 50 мільйонів євро, а нова лінія для виробництва флоат-скла (з типовою продуктивністю 500 тонн на добу) коштує в районі 100 – 150 мільйонів євро.

1.4.4 Основні екологічні проблеми

[65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007]

Основна екологічна проблема, пов'язана з виробництвом плоского скла, полягає в тому, що це високотемпературний енергоємний процес. Це призводить до викидів продуктів згорання та високотемпературного окиснення атмосферного азоту, тобто утворення діоксиду сірки, вуглекислого газу та оксидів азоту. Викиди з печей також містять пил (що утворюється внаслідок переходу в леткий стан і наступної конденсації летких матеріалів у складі шихти) та сліди хлоридів, фторидів та металів, що присутні в сировині у якості домішок. Існують технічні рішення, за допомогою яких можна мінімізувати всі ці викиди, проте кожна технологія має свої фінансові та екологічні наслідки.

Відходи скла, що утворюються на об'єкті, переробляються в печі; у секторі значно вдосконалено переробку відходів обробленої продукції та виробів, використаних споживачами. Бій плоского скла – це корисна сировина для інших сегментів скляної промисловості, особливо для секторів виробництва тарного скла та ізоляційного волокна. За оцінками, до 95 % відходів скла, що утворюються у процесі обробки, тим чи іншим чином переробляються. Виробництво плоского скла загалом не повинно створювати значних проблем із забрудненням води. Вода використовується головним чином для очищення та охолодження, і її можна легко очистити або використати повторно.

У виробництві плоского скла були впроваджені значні вдосконалення, націлені на покращення стану довкілля, викиди було помітно знижено за допомогою первинних та вторинних заходів, і вдалося зменшити питоме споживання енергії. У період з 1960 по 1995 рік споживання енергії знизилося на 60 %, а у період з 1996 по 2006 рік їх вдалося знизити ще на 20 %. Теоретичний мінімум енергії для плавлення скла становить 0,76 МВт·год./тонну (що еквівалентно 2,74 ГДж/тонну), і для подальшого покращення цього показника потрібен значний розвиток технології [128, ECORYS, 2008]. Зареєстровані мінімальні значення питомого споживання енергії становлять близько 5 ГДж/тону на початку пічної кампанії (див. розділ 3.4.5).

Аналізуючи загальний вплив сектору виробництва плоского скла на довкілля, корисно врахувати деякі переваги для довкілля, яких вдасться досягти за допомогою продукції цього сектору. Наприклад, загальний енергетичний баланс, пов'язаний з виробництвом склопакета, охоплює як енергію, спожиту у процесі його виробництва, так і енергію, спожиту будівлею, у якій використовується цей склопакет, за період, на який він встановлюється (скажімо, 30 років).

На будівельний сектор припадає не менше 40 % енергії, що споживається у ЄС, половина якої використовується для обігріву домівок. Модернізація існуючих та нових будівель у Європі шляхом заміни одинарних чи подвійних склопакетів подвійними склопакетами з низькою тепловіддачею значно покращує теплоізоляцію. Втрати тепла при цьому знижуються до менш ніж 20 % у порівнянні з одинарними склопакетами і до менш ніж 40 % у порівнянні зі звичайними подвійними склопакетами. Це може значно вплинути на використання енергії у будівлях.

Високотехнологічні вироби для автомобільного ринку допомагають скоротити споживання палива шляхом зменшення ваги та знизити навантаження на кондиціонер завдяки використанню сонцезахисного скла.

Розрахункове зниження споживання енергії на обігрів, якого можна досягти шляхом заохочення до використання високоефективних, енергозберігальних чи потрійних склопакетів в усіх нових та існуючих будівлях у країнах ЄС-27, еквівалентне 975 000 ТДж енергії на рік, що відповідає аж 97 мільйонам тонн викидів CO₂ на рік. [159, Торгова асоціація скляної промисловості «Скло для Європи» (Glass for Europe), 2009]

За оцінками, викиди CO₂, можливо, вдасться додатково знизити на 15 – 80 тонн на рік завдяки застосуванню сонцезахисного скла у будівлях, обладнаних кондиціонерами. [160, Торгова асоціація скляної промисловості «Скло для Європи» (Glass for Europe), 2008]

Протягом терміну служби скла зниження викидів CO₂ завдяки використанню енергоефективної скляної продукції значно переважить викиди, що утворюються при виробництві скла.

Посилання

[Європейська асоціація виробників плоского скла (GEVP): «ЕНЕРГОЗБЕРІГАЛЬНЕ СКЛО У БУДІВЛЯХ. Вплив на навколишнє середовище та енергозбереження. Внесок галузі виробництва плоского скла у зниження викидів парникових газів та споживання енергії у країнах ЄС-15» ('LOW-E GLASS IN BUILDINGS – Impact On The Environment & On Energy Savings – Contribution of the flat glass industry towards reducing greenhouse gas emissions & energy consumption in the EU-15') (2000)]

[GEVP: «ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПЕРЕВАГИ високотехнологічних подвійних склопакетів у будівлях на території ЄС» ('ENERGY & ENVIRONMENTAL BENEFITS from Advanced Double Glazing in EU Buildings') (березень 2005 року)]

[ECOFYS: «Вплив удосконалення теплоізоляції (CTE2) на коефіцієнт теплового розширення» ('Impact of the improvement of thermal insulation (CTE2) on the CTE') (липень 2004 року)]

[Звіт Нідерландської організації прикладних наукових досліджень (TNO): «Вплив сонцезахисних склопакетів на енергозбереження та зниження викидів CO₂ у Європі» ('Impact of Solar Control Glazing on energy and CO₂ savings in Europe') (липень 2007 року)]

1.5 Скловолокно з безперервних ниток

[66, ОНОВЛЕНІ ДАНІ Європейської асоціації виробників скловолокна (APFE) для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007], [67, Опитування заводів, проведене APFE, 2007]

1.5.1 Огляд сектора промисловості

[19, CPIV, 1998]

Виробництво скловолокна з безперервних ниток – це один із найменших секторів скляної промисловості за тоннажем, проте його продукція має порівняно високе відношення вартості до маси. Цей сектор охоплює виробництво безперервних елементарних скляних ниток, які перетворюються в інші вироби. Це виробництво відрізняється від виробництва скловолоконної ізоляції, яка виготовляється за допомогою іншого процесу і зазвичай іменується «скловатою».

У 2005 році в цьому секторі було виготовлено 933400 тонн волокна від 34 печей, що працювали на 17 об'єктах у країнах ЄС-25: це було головним чином алюмоборосилікатне безлугове скло (скло Е), а також невелика кількість корозієстійкого (С) та лугостійкого (AR) скловолокна. У 2005 році в цьому секторі було безпосередньо зайнято 6500 осіб.

У період з 1997 по 2007 році у секторі спостерігався суттєвий ріст з урахуванням збільшення виробництва за рахунок появи чотирьох нових виробничих установок у Латвії, Чехії та Словаччині. У ЄС налічувалося сім виробників: Ahlstrom, Johns Manville, Lanxess, P-D Oschatz, Owens Corning, PPG та Saint-Gobain Vetrotex. У 2007 році компанія Owens Corning придбала бізнес компанії Saint-Gobain з виробництва армування та композитних матеріалів (Reinforcements and Composites), створивши на його основі власний підрозділ з виробництва армування – OCV Reinforcements. Умовою цього придбання було відокремлення двох об'єктів новоутвореної компанії OCV у новоутворену компанію, відому під назвою 3B-Fibreglass. Компанія Saint-Gobain зберегла за собою свій бізнес із текстильних рішень (Textile Solutions) у вигляді окремої організації. Найбільшою з цих компаній наразі є OCV Reinforcements, яка має заводи у Франції, Німеччині, Італії, Бельгії

та Іспанії. Найбільшими після неї виробниками у ЄС є PPG, 3B та Johns Manville з заводами на всій території ЄС-25.

У 2005 році найбільшим виробником у світовому масштабі були США, які випускали 40 % світової продукції, та Європа та Азія, на кожну з яких припадало від 20 до 25 % відповідно. Найбільшим світовим виробником є компанія Owens Corning, а за нею йдуть Vetrotex та PPG. Географічний розподіл сектору та діапазон розмірів печей наведено у Таблиці 1.9 та у Таблиці 1.10.

Таблиця 1.9. Кількість установок та печей з виробництва безперервних елементарних ниток у країнах-членах ЄС

Країна-член ЄС	Кількість установок	Кількість печей (в експлуатації станом на 2005 рік)	Об'єм виробництва у країнах ЄС-25
Німеччина	3	5	
Бельгія	2	5	
Чехія	2	4	
Франція	2	4	
Італія	2	3	
Фінляндія	1	3	
Словаччина	1	3	
Нідерланди	1	2	
Велика Британія	1	2	
Іспанія	1	2	
Латвія	1	1	
Усього	17	34	933 400 тонн у 2005 році

Таблиця 1.10. Кількість печей з виробництва безперервних елементарних ниток у вказаних діапазонах продуктивності

Діапазон продуктивності (тонн/добу)	<50	Від 50 до 100	> 100
Кількість печей у кожному діапазоні (2005)	11	11	12

1.5.2 Вироби та ринки

[19, CPIV, 1998], [66, ОНОВЛЕНІ ДАНІ APFE для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007]

Скловолокно з безперервних ниток виготовляється і постачається у різноманітних формах: у вигляді рівниць, матів, рублених пасем, текстилю (пряжі), тканини та меленого волокна. Основним кінцевим користувачем цього скловолокна (приблизно 90 %) є виробництво композитних матеріалів (армованого склом пластику – GRP), у якому скловолокно використовується для армування як терморезистивних, так і термопластичних смол. У ЄС композитні матеріали мають велике різноманіття промислових застосувань завдяки своєму високому відношенню міцності до ваги, малій вазі та корозієстійким властивостям. Постійно розробляються нові сфери застосування.

Основними ринками композитних матеріалів є будівельна промисловість, автомобільний та транспортний сектори, а також галузь електротехніки та електроніки. Крім того, вони використовуються у трубах та резервуарах, сільськогосподарському обладнанні, промислових машинах, а також у сфері спорту, дозвілля та морському господарстві.

Одним із швидко зростаючих ринків для скловолоконних композитних матеріалів є, зокрема, відновлювана та вітрова енергетика. Другим за значимістю кінцевим способом використання є виробництво тканин, що використовуються на приблизно тих же ринках, що й композитні матеріали, хоча й, вочевидь, з іншими призначеннями. Основним ринком склотканин є електронна промисловість, у якій вони використовуються для виробництва друкованих плат. З міркувань конкурентоспроможності це виробництво тканин стрімко перемістилося в Азію.

Цей сектор має велику споживачську базу, яка стає все різноманітнішою, і в якій значну частку становить міжнародна торгівля. Ця глобальна торгівля зменшує вплив відмінностей в економічних показниках між конкретними ринками або географічними регіонами. Проте вона збільшує вразливість до конкуренції з боку регіонів, які пропонують продукцію нижчої вартості.

1.5.3 Комерційні та фінансові міркування

[19, СРІV, 1998], [66, ОНОВЛЕНІ ДАНІ APFE для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007]

У секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток спостерігається впевнене зростання у довготерміновій перспективі. Продукція цього сектору досить вартісна, легко транспортується і значною мірою є предметом міжнародної торгівлі. Хоча попит на продукцію зростає, присутня дуже жорстка конкуренція, яка створює тиск на ціни і обмежує прибутковість. Середній коефіцієнт використання потужності у 2005 році становив близько 95 %.

У 2005 році об'єми експорту та імпорту відповідно становили 27 % та понад 44 % випуску продукції в ЄС: ці цифри відображали від'ємне торгове сальдо та зростання частки імпорту, що надходив переважно з Азії.

Виробництво скловолокна з безперервних волокон – це дуже капіталомістка діяльність, яка потребує значних фінансових ресурсів, довготермінових інвестицій та працівників з високим рівнем технічних навичок. Тому кількість великих міжнародних виробників невелика, а крім них є кілька менших виробників.

Печі у цьому секторі працюють безперервно протягом 8 – 12 років; після цього проводиться їх капітальний ремонт з частковою або повною заміною конструкції залежно від її стану. Капітальний ремонт печі середнього розміру (близько 75 тонн на добу) буде коштувати у районі 8 мільйонів євро. Новий завод зіставного розміру на новому неосвоєному майданчику коштував би в районі 75 мільйонів – 90 мільйонів євро включно з інфраструктурою та послугами.

1.5.4 Основні екологічні проблеми

[66, ОНОВЛЕНІ ДАНІ APFE для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007]

У порівнянні з багатьма видами промислової діяльності, у ході виробництва скловолокна з безперервних ниток утворюється порівняно мала кількість відходів. Проте виробництво тонкого волокна може спричинити обрив волокна, а у результаті цього, у свою чергу, може утворитися така кількість відходів на тонну продукції, яка буде перевищувати середнє значення для скляної промисловості. У 2005 році спостерігалися ознаки того, що кількість розплавленого скла, яке захоронюється на полігонах, зменшується: частково завдяки підвищенню ефективності його перетворення, а частково завдяки його переробці шляхом повернення у технологічний процес. Переробка відходів шляхом їх повернення у піч для виробництва скловолокна досі становить великі труднощі, проте спостерігається розширення діяльності з подолання цих труднощів.

Виробництво скляних ниток загалом не повинно створювати значних проблем із забрудненням води. Вода використовується головним чином для очищення та охолодження, проте потенційно можливі викиди, пов'язані з використанням матеріалів покриття. Викиди можуть виникати у ході приготування покриття та роботи з ним, струшуватися з волокон при намотуванні та у ході операцій додаткової обробки. Викиди можна мінімізувати шляхом використання належних технологій транспортування та локалізації розливої речовини, а з залишковими рівнями забруднень можна боротися за допомогою стандартних технологій.

Основна екологічна проблема, пов'язана з виробництвом скловолокна з безперервних ниток, полягає в тому, що це високотемпературний енергоємний процес. Це призводить до викидів продуктів згорання та окиснення атмосферного азоту, тобто утворення діоксиду сірки, вуглекислого газу та оксидів азоту. Викиди з печей також містять пил (що утворюється внаслідок переходу в леткий стан і наступної конденсації летких матеріалів у складі шихти) та сліди хлоридів і металів, що присутні в сировині у якості домішок. Утворений в результаті пил, вилучений з димових газів шляхом фільтрування, у більшості випадків не повертається назад у піч для переробки, оскільки це призвело б до такого явища, як перенос домішок у новий цикл, а також через присутність у пилі агресивних / корозійно-активних компонентів, як-от хлорид натрію (NaCl).

З огляду на характер процесу волокнуутворення, у шихті іноді присутні фториди, вміст яких може різнитися, а це може призвести до викидів фтороводню. Це складне питання, яке детально розглядається у частині 4. Існують технічні рішення, за допомогою яких можна мінімізувати всі ці викиди, проте кожна технологія має свої фінансові та екологічні наслідки. У виробництві скляних ниток були впроваджені значні вдосконалення, націлені на покращення стану довкілля, викиди було помітно знижено, і вдалося зменшити питоме споживання енергії.

Аналізуючи загальний вплив цього сектору на довкілля, корисно врахувати деякі переваги для довкілля, яких вдасться досягти за допомогою композитних матеріалів, виробництво яких є основним кінцевим застосуванням елементарних скляних волокон. Окрім своїх численних технічних переваг, при виробництві композитних матеріалів зазвичай споживається значно менше енергії, ніж при виробництві матеріалів, замість яких вони використовуються, як-от сталь та алюміній. У разі застосування в транспорті вони забезпечують зменшення маси (а це сприяє заощадженню палива), а також мають довший термін служби завдяки високій стійкості до корозії.

Останнім часом вони посприяли успішній розробці конструкцій великих економічно перспективних вітрових електростанцій, особливо їх лопатей, зробивши цінний і вагомий внесок в галузь відновлюваної енергетики та глобальну роботу зі зниження викидів CO₂.

1.6 Сортове скло

1.6.1 Огляд сектора промисловості

[28, Сортове скло, 1998], [68, Оновлені дані про сортове скло, 2007]

Сектор сортового скла – це один із найменших секторів скляної промисловості, на який припадає приблизно 4 % загального випуску продукції. Цей сектор охоплює виробництво скляного столового посуду, кухонного приладдя та декоративних предметів, до яких належать склянки, чашки, миски, тарілки, кухонне приладдя, вази та декоративні прикраси. Виробництво сортового скла дуже широко розосереджене по території ЄС і налічує понад 300 установок, з яких понад 120 знаходяться в Італії, а близько 70 – у Польщі.

Приблизно 60 установок відповідають критерію об'єму виробництва у 20 тонн на добу з огляду на загальну продуктивність варіння установки, що складається з однієї або кількох печей, як зазначено у Директиві 2008/1/ЄС; на ці установки припадає більшість об'єму виробництва у ЄС. У 2006 році загальний об'єм виробництва у країнах ЄС-27 склав близько 1,46 мільйона тонн.

Найбільшими виробниками сортового скла у Європі є Arc International (Франція), Bormioli Rocco e Figlio, Bormioli Luigi та RCR Cristalleria Italiana (Італія), Durobor (Бельгія), Duralex (Франція), Pasabahce (Болгарія), Riedel Nachtmann (Німеччина), Waterford Crystal (Ірландія), Zwiesel (Німеччина) та Libbey (Португалія). Як зазначено вище, існує багато невеликих компаній, які часто спеціалізуються на продукції з високою доданою вартістю (свинцевий криштал, тощо).

Географічний розподіл сектору разом з розрахунковою часткою виробництва та діапазонами розмірів установок наведено у Таблиці 1.11 та у Таблиці 1.12.

Таблиця 1.11. Кількість та розподіл установок для виробництва сортового скла, що відповідають Директиві з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC), у країнах-членах ЄС в 2006 році

Країна-член ЄС	Кількість установок з продуктивністю понад 20 т/добу	Приблизний % об'єму виробництва у ЄС
Франція	7	26,9
Німеччина	8	22,2
Італія	7	11,7
Іспанія	5	10,1
Польща	4	5,5
Чехія	8	5,2
Нідерланди	1	4,8
Словаччина	3	3,0
Бельгія	1	1,7
Португалія	1	1,6
Греція	2	1,6
Болгарія	1	1,3
Угорщина	2	1,2
Ірландія	1	1,1
Австрія	4	0,6
Швеція	1	0,5
Фінляндія	1	0,5
Словенія	2	0,2
Велика Британія	1	0,2
Усього	60	1 463 000 тонн у 2006 році

Джерело: [68, Оновлені дані про сортове скло, 2007]

Таблиця 1.12. Кількість установок з виробництва сортового скла у вказаних діапазонах продуктивності в 2006 році (розрахункова)

Діапазон продуктивності (тонн/добу)	<20	Від 20 до 100	> 100
Кількість установок у кожному діапазоні	> 240	41	19

Джерело: [68, Оновлені дані про сортове скло, 2007]

1.6.2 Вироби та ринки

[28, Сортове скло, 1998]

Сектор сортового скла дуже розмаїтий за своєю продукцією та процесами, що в ньому використовуються. Вироби варіюються від масових споживацьких товарів до цінних келихів та бокалів зі свинцевого кришталю. Вироби формуються як вручну (за допомогою складувальних трубок та різання), так і за допомогою повністю автоматизованих машин. Базовий асортимент виробів окреслено у розділі 1.6.1, при цьому понад 50 % випуску продукції припадає на скляний посуд для пиття.

Більшість виробів виготовляються з вапняно-натрієвого скла, яке може бути прозорим або кольоровим. Рецептури свинцевого кришталю та кришталевого скла використовуються для виробництва склянок, келихів та декоративних предметів з високою блискучістю та густиною. Матове скло використовується для виробництва чашок, тарілок, блюд та жаротривкого посуду. Боросилікатне сортове скло, напевне, більш відоме під деякими популярними торговими марками, а саме Duran (компанія Schott) та Pyrex (компанія Arc International), а основними виробами з нього є кухонне приладдя та жаростійкий столовий посуд. У деяких випадках вироби, виготовлені за різними рецептурами скла, загартовуються для підвищення їх стійкості до механічних та теплових ударів. Склокерамічні вироби використовуються там, де присутні високі температури, – це головним чином кухонне приладдя, – і здатні витримувати великі перепади температур.

База кінцевих споживачів, вочевидь, дуже велика, проте продукція зазвичай безпосередньо продається великим роздрібним та оптовим торговцям, хоча деякі виробники все ж продають її також і безпосередньо населенню.

Різні складові ринки залежать від великого розмаїття факторів. Величезне значення мають смаки споживачів та суспільні тенденції. Наприклад, тенденція до проведення обідів у більш повсякденній обстановці, особливо у Європі, призвела до зростання попиту на дешевші товари нижчої якості, а попит на кольорове скло різниться залежно від конкретного моменту часу та регіону. Для виробника важливо завчасно передбачати ці зміни і відповідним чином реагувати, тож гнучкість є важливою складовою виробничої діяльності.

Внаслідок цього рецептури сортового скла повинні бути спеціально адаптовані до конкретних виробів та вимог до обробки. Навіть базові вапняно-натрієві рецептури можуть значно відрізнятися від інших вапняно-натрієвих рецептур – наприклад, тих, за якими виготовляється тарне або плоске скло.

Посилена механізація виробництва свинцевого кришталю призвела до виробництва дешевших товарів майже такої ж якості, як у товарів ручної роботи. Проте вартісна продукція цього типу особливо чутлива до споживацького сприйняття, і наявність невід'ємної етикетки, що вказує на ручну роботу, досі диктує вищу ціну. Це означає, що виробництво товарів ручної роботи навряд чи обмежиться (принаймні у середньотерміновій перспективі) виробами на окремому замовлення.

1.6.3 Комерційні та фінансові міркування

[28, Сортове скло, 1998]

Як і більшість секторів скляної промисловості, сектор сортового скла – це усталена розвинена господарська діяльність, попит на яку помірно зростає у довготерміновій перспективі. Вироби з сортового скла легко транспортуються і є предметом інтенсивної міжнародної торгівлі між країнами-членами ЄС та країнами за межами ЄС. Основною загрозою для цього сектора є конкуренція на вітчизняних ринках через збільшення об'єму імпорту та збільшення конкуренції на важливих експортних ринках. Це зростання конкуренції призвело до жорсткого тиску на ціни і тому наклало обмеження на прибутковість. У 2005 році об'єми експорту та імпорту становили відповідно 26 % та 28,5 % від випуску продукції в ЄС у перерахунку на тонни. Хоча ці показники означають нульове загальне торговельне сальдо, більшість імпорту надходила з країн Східної і Південно-Східної Азії та Туреччини, об'єм імпорту з яких значно переважав об'єм експорту з ЄС у ці регіони.

Як і в інших секторах промисловості, великомасштабне скловаріння дуже капіталомістке і потребує суттєвих довготермінових інвестицій. Це відбивається на малій частці вітчизняних виробників скла, які виготовляють понад 20 тонн продукції на добу. Хоча ця незначна кількість компаній виготовляє більшу частину продукції, що випускається в ЄС, сектор сортового скла особливий у тому сенсі, що в ньому існує багато менших, не таких капіталомістких установок, які часто спеціалізуються на виготовленні цінних товарів ручної роботи або товарів для спеціалізованих ринків. Ці невеликі об'єми скла можуть виготовлятися у горшкових печах та ванних печах періодичної дії, які порівняно дешеві у будівництві та експлуатації, проте економічно аж ніяк не можуть конкурувати на ринках великих об'ємів.

У секторі сортового скла використовується широкий діапазон розмірів та типів печей, і періодичність ремонту печей відповідно різниться. Великі печі, що працюють на викопному паливі, потребують капітального ремонту через 5 – 8 років роботи. Для електричних печей цей період складає від 3 до 6 років, а для горшкових печей – від 10 до 20 років, при цьому горшки замінюються кожні 3 – 12 місяців. Капітальний ремонт типової електричної печі для виготовлення свинцевого кришталю продуктивністю 30 тонн на добу (без урахування формувальних машин) коштуватиме в районі 2 мільйонів євро, а нова піч коштуватиме 8 мільйонів євро. Капітальний ремонт типової печі, що працює на викопному паливі, для виготовлення вапняно-натрієвого скла продуктивністю 130 тонн на добу (без урахування формувальних машин) коштуватиме в районі 4 мільйонів євро, а нова піч коштуватиме 12 мільйонів євро.

1.6.4 Основні екологічні проблеми

Сировиною для виробництва сортового скла зазвичай є порівняно безпечні, природні або штучні речовини. Винятком є виробництво свинцевого кришталю або кришталевого скла, у якому використовується оксид свинцю та іноді триоксид сурми або миш'яку, який потребує обережного поводження та зберігання для запобігання викидам. У цьому секторі утворюється порівняно невелика кількість відходів, і більшість скляного бою, утвореного в межах виробництва, переробляється. Якщо це неможливо через обмеження, пов'язані з якістю, скляний бій зазвичай повторно використовується або переробляється у секторі тарного скла (крім свинцевого кришталю та кришталевого скла). Привізний скляний бій зазвичай недоцільно використовувати у технологічному процесі з огляду на ті ж міркування щодо якості, зазначені вище.

Більшість типів виробництва сортового скла не повинні створювати значних проблем із забрудненням води. Вода широко використовується для очищення та охолодження, і її можна легко використати повторно або очистити. Проте використання більш токсичних сполук у виробництві свинцевого кришталю та кришталевого скла створює більший потенціал для забруднення. Для мінімізації викидів та боротьби з залишковими рівнями забруднення можна використовувати стандартні технології.

Як і в інших секторах скляної промисловості, основна екологічна проблема, пов'язана з виробництвом сортового скла, полягає в тому, що це високотемпературний енергоємний процес. У випадку печей, що працюють на викопному паливі, це призводить до викидів продуктів згорання та високотемпературного окиснення атмосферного азоту, тобто утворення діоксиду сірки, вуглекислого газу та оксидів азоту. Викиди з печей також містять пил і сліди хлоридів, фторидів та металів, що утворюються в результаті переходу в леткий стан і наступної конденсації летких матеріалів, присутніх у рецептурі шихти. Використання певних видів сировини, що застосовуються для надання кінцевій продукції конкретних властивостей, може призвести до викидів фтороводню у разі виробництва матового скла, що виготовляється з використанням фторовмісної сировини, сполук бору у разі виробництва боросилікатного скла, оксидів азоту у разі використання нітратів, тощо. У разі виконання кислотного полірування також потрібно врахувати відповідні питання, пов'язані з викидами у повітря, воду та утворенням відходів.

Існують технічні рішення, за допомогою яких можна мінімізувати всі ці викиди, проте кожна технологія має свої фінансові та екологічні наслідки. За останні роки були впроваджені значні вдосконалення, націлені на покращення стану довкілля, а викиди та споживання енергії було суттєво зменшено.

1.7 Спеціальне скло

1.7.1 Огляд сектора промисловості

[26, Спеціальне скло, 1998], [73, Пропозиція щодо спеціального скла, 2007]

У 2005 році виробництво у секторі спеціального скла становило близько 2,1 % випуску продукції у скляній промисловості, а за тоннажем продукції цей сектор був п'ятим. Без урахування розчинного скла у цьому секторі було виготовлено 0,770 мільйона тонн продукції (див. Таблицю 1.13), проте загальна продуктивність виробництва складала 1,29 мільйона тонн.

Галузь виробництва спеціального скла – це надзвичайно розмаїтий сектор, який охоплює широкий асортимент виробів порівняно високої вартості, як-от скло для катодно-променевих трубок (КПТ) – панелі та конуси, скло для освітлювальних приладів (трубки та колби для ламп), трубки з боросилікатного скла, лабораторний та технічний скляний посуд, боросилікатне скло та склокераміка (кухонне приладдя та вироби для домашнього застосування в умовах високих температур), а також оптичне скло, кварцове скло, скло для електронної промисловості (наприклад, панелі рідкокристалічних дисплеїв).

Сектор спеціального скла певною мірою перекривається з іншими секторами скляної промисловості, особливо з сектором сортового скла у випадку деяких виробів з боросилікатного скла та склокераміки. Це не вважається суттєвою проблемою, оскільки такі вироби становлять лише незначну частку продукції, що випускається у цьому секторі.

У 2005 році скляні трубки та колби для ламп становили 53,5 %, а скло для КПТ – 21,7 % від загальної потужності, складаючи основну частку виробництва у секторів спеціального скла.

У період з 2005 по 2007 рік закрилося сім заводів з виробництва панелей та конусів для КПТ у Великій Британії, Франції, Німеччині, Литві та Чехії, і в Європі залишився лише один виробник скла для КПТ з одним заводом у Польщі, що належав індійській приватній багатопрофільній корпорації Videoson.

У той час, як виробництва скла для освітлювальних приладів, боросилікатного скла та склокераміки зазвичай перевищують порогове значення продуктивності у 20 тонн на добу, встановлене у Директиві щодо промислових викидів 2010/75/EU, більшість невеликих виробників дрібносерійної спеціалізованої продукції, такої як оптичне скло та скло для електронної промисловості, часто працюють з продуктивністю, меншою за це порогове значення.

Існує ряд комплексних установок, які виготовляють великий асортимент дрібносерійної та великосерійної продукції, і в цих випадках загальний об'єм виробництва може перевищувати пороговий рівень у 20 тонн на добу.

Хоча зазвичай вважається, що виробництво розчинного скла (силікату натрію) входить до складу хімічної промисловості, розчинне скло також може виготовлятися шляхом плавлення піску та кальцинованої соди. Ця діяльність підпадає під визначення, наведене у розділах 3.3 та 3.4 Додатку I до Директиви 2010/75/EU. У контексті початкового документа BREF для скла, прийнятого у 2001 році, вважалося, що ця діяльність належить до сектора спеціального скла, проте зараз це виробництво розглядається у документі BREF для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S) [<http://eippcb.jrc.es/reference/>].

1.7.2 Вироби та ринки

[26, Спеціальне скло, 1998], [73, Пропозиція щодо спеціального скла, 2007]

У Таблиці 1.13 наведено відносний випуск продукції для кожної складової сектору. Майже 80 % загальної потужності припадає на скло для КПТ та скляні трубки і колби для ламп.

Таблиця 1.13. Розподіл сектору спеціального скла станом на 2005 рік

Тип скла	Об'єм виробництва (тонни)	Потужність (тонни/рік)	Потужність сектора (%)
Скло для КПТ (панелі та конуси)	230 000	280 000	21,7
Скляні трубки та колби для ламп	384 000	692 000	53,5
Боросилікатне скло (за винятком трубок)	50 000	90 000	7,0
Інше скло для освітлювальних приладів (за винятком кварцового скла, трубок та лампочок)	30 000	60 000	4,6
Склокераміка	55 000	120 000	9,3
Кварцове скло	5 000	15 000	1,2
Оптичне скло	6 000	10 000	0,8
Інші типи скла	10 000	25 000	1,9
Усього спеціального скла	770 000	1 292 000	100,0
Примітка. Виробництво розчинного скла розглядається у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління (BREF) для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S). Джерело: [74, Розподіл сектору спеціального скла, 2007]			

Найважливіші вироби та ринки для спеціального скла описані нижче.

Скло для катодно-променевих трубок (КПТ) і плоскі панелі

Обвал ринку конусів для КПТ збігається зі стрімким ростом виробництва скла для плоских панелей – зокрема, для телевізорів та комп'ютерних моніторів. Більшість заводів розташовані поблизу основних об'єктів, на яких виготовляються панелі для рідкокристалічних екранів, тобто в Азії. У якості технології виробництва використовується флоат-метод або вертикальне витягування. Наразі у Європі для виробництва скляних панелей побудований лише один завод, що працює за флоат-методом – це завод у Німеччині, що належить компанії Schott AG. Станом на 2008 рік цей завод ще перебував на етапі посиленого вибіркового контролю з участю споживачів, а не на етапі повноцінної комерційної діяльності.

Скло для освітлювальних приладів

Скло для освітлювальних приладів і далі виготовляється у великих об'ємах. До цього сектору належать лампи розжарювання та люмінесцентні лампи (для застосування як у домівках, так і в громадських місцях), галогенні світильники та автомобільні фари. Застосування останніх скорочується, оскільки на заміну скляним фарам приходять полімерні матеріали. У глобальному масштабі галузь освітлення є розвинутою господарською діяльністю, проте її досі дещо підточує імпорту з країн Східної та Південно-Східної Азії. Рефлектори та теплозахисні фільтри / фільтри для захисту від ультрафіолетового випромінювання, що використовуються у відеопроєкторах, виготовляються у невеликих об'ємах, проте мають високу додану вартість.

Скляні трубки

Скляні трубки виготовляються головним чином для потреб фармацевтичної та медичної галузі. Хоча й зазначалося, що в довготерміновій перспективі полімери можуть становити загрозу для цієї господарської діяльності, ринки продовжують зростати на кілька відсотків щороку, а європейські виробничі об'єкти працюють на повну потужність з 2005 року і донині.

Окрім фармацевтичних застосувань, скляні трубки також виготовляються для освітлювальних скляних приладів та лампочок. Це виробництво широко розосереджене по території ЄС, а найбільший об'єм продукції випускається у Німеччині. Ці типи продукції виготовляють 11 компаній: Schott, Osram та Technische Glaswerke Ilmenau (Німеччина); Philips (Нідерланди); Demaglass (Велика Британія); Gerresheimer Pisa та Neubor Glass

(Італія); Lawson Mardon Wheaton (Франція); Averti (Іспанія); EMGO (Бельгія), General Electric (Угорщина).

Склокераміка

Виробництво склокераміки продовжує зростати зі швидкістю близько 10 % за рік (тож виробничі показники з 1997 року зросли майже вдвічі), а основну частку ринку становлять варильні панелі та вікна для камінів. Дві компанії в Європі (Schott у Німеччині та Keraglass у Франції) виготовляють «зелене скло» виключно на території Європи, зазвичай за високих температур та за технологією виробництва тугоплавкого скла. Якщо вироби продаються за межами Європи, вони постачаються у вигляді зеленого скла, а остаточна обробка, тобто «керамізація» та оздоблення, здійснюється поблизу потужностей виробника самих приладів (наприклад, у США або Китаї). Деякі компанії також варять зелене скло у Китаї, проте наразі така продукція не відповідає європейським стандартам проєктування та якості.

Боросилікатне скло, за винятком трубок

Використання боросилікатного скла у споживацьких товарах (наприклад, у кавоварках, кухонному приладді, посуді для мікрохвильових печей, лабораторному обладнанні та компонентах хімічних заводів) є дуже розвиненою галуззю господарської діяльності. На момент укладання цього документа (2010 рік) частина продукції на ринку постачалася країнами з дешевою робочою силою, а виробництву лабораторного скляного посуду все більше загрожували полімери та одноразові матеріали. Нещодавно ця тенденція стала зворотною через високу вартість сировини для виробництва полімерів, а кращі робочі показники боросилікатного скла дали змогу знову завоювати ринок. Новою сферою застосування боросилікатного скла, яка все зростає, є його використання трубок у приймачах сонячної енергії, на яких розміщується обладнання – безпосередньо або після накопичення сонячної енергії відбивними панелями на сонячних електростанціях.

Оптичне та окулярне скло

Виробництво оптичного та окулярного скла – це дві розвинені галузі господарської діяльності, проте їх виробництво у Європі досі підтримувалося на помірному хорошому рівні з огляду на деякі технічні бар'єри. Частка окулярних полімерів досі зростає. Проте в деяких регіонах світу значну частку ринку займає скло. У сфері оптики існують численні випадки застосування з високими вимогами, для яких підходять лише скляні вироби. Цей сектор сильно сегментований: невеликі окремі тоннажі, що характеризуються кількома варіантами складу та рецептурами, з високою доданою вартістю потребують спеціальної, часто унікальної сировини для надання склу конкретних властивостей.

Продуктивність печей варіюється в межах 20 – 200 тонн/добу для вапняно-натрієвих видів скла та в межах 20 – 50 тонн/добу для боросилікатних видів скла. У якості печей для виробництва вапняно-натрієвого скла використовуються переважно регенеративні печі з поперечним полум'ям, а у якості печей для виробництва боросилікатного скла у більшості випадків використовуються електричні печі, серед яких є як рекуперативні, так і киснево-паливні. У Таблиці 1.14 наведено основні установки у ЄС, які виготовляють спеціальне скло.

Таблиця 1.14. Географічний розподіл основних виробників спеціального скла у ЄС

Країна-член ЄС	Тип продукції	Установки
Німеччина	Скляні трубки / колби для ламп / склокераміка	3
	Плоскі панелі	1
Польща	Скло для КПТ	1
	Скляні колби для ламп	1
	Боросилікатне кухонне приладдя	1
Франція	Скляні трубки / колби для ламп / склокераміка	2
Італія	Скляні трубки	2
Бельгія	Скляні трубки / колби для ламп	1
Нідерланди	Скляні трубки / колби для ламп	1
Велика Британія	Скляні трубки / колби для ламп	1
Іспанія	Скляні трубки / колби для ламп	1
Угорщина	Скляні колби для ламп / освітлювальні елементи	6
Австрія	Фари	1
Усього		22

1.7.3 Комерційні та фінансові міркування

[26, Спеціальне скло, 1998], [19, SPIV, 1998], [73, Пропозиція щодо спеціального скла, 2007]

Типи виробництв спеціального скла варіюються від розвиненої усталеної господарської діяльності до виробництв, що обслуговують ринки, які інтенсивно розвиваються, а деякі компанії працюють на широкому спектрі ринків. Темпи росту, прибутки та перспективи можуть дуже різнитися для кожної складової сектора. Наприклад, у 1996 році в Європі дуже швидко зростало виробництво скла для КПТ, що використовувалися у комп'ютерних моніторах, у той час як попит на оптичне скло у Європі був у стані стагнації через конкуренцію з боку альтернативних матеріалів. Загальний темп росту сектору в період з 1986 по 1996 рік був стабільним; при цьому вартість виробленої продукції зросла з 1 750 до 2 760 мільйона євро. У 2005 році ситуація була кардинально іншою: попит на конуси КПТ падав, а ринок плоских панелей зростав.

У 2005 році об'єми експорту спеціального скла з ЄС склали 81 716 тонн, а об'єми імпорту в ЄС – 90 773 тонни, створюючи таким чином значний торговий дефіцит. Найбільша частка імпорту (близько 45 %) походила з країн Східної та Південно-Східної Азії, де 21,4 % припадало на Китай.

Великомасштабне скловаріння – це дуже капіталомістке виробництво, яке потребує значних довготермінових інвестицій та великої технічної майстерності. Тому у ЄС мало виробників спеціального скла, які виготовляють понад 20 тонн скла/добу. Хоча ця незначна кількість компаній виготовляє більшу частину продукції, що випускається в ЄС, у секторі спеціального скла існує багато менших, не таких капіталомістких установок, які часто спеціалізуються на виготовленні цінних, високоякісних і технічно складних товарів.

Ці невеликі об'єми скла виготовляються в малих печах, часто електричних, які експлуатуються з короткими кампаніями. Незважаючи на малий масштаб, ці операції зазвичай також потребують значних довготермінових інвестицій у високоякісне обладнання, кваліфіковані кадри та поглиблену дослідно-конструкторську роботу.

У секторі спеціального скла використовується широкий спектр печей, і періодичність ремонту печей відповідно різниться. Великі печі для виробництва спеціального скла, що працюють на викопному паливі, потребують капітального ремонту через 6 – 7 років роботи. У випадку електричних печей періодичність капітального ремонту складає від 3 до 4 років. Через велике розмаїття в межах сектора типові витрати важко передбачити; приклади інвестиційних витрат для основної продукції сектора спеціального скла наведені у Таблиці 1.15.

Таблиця 1.15. Інвестиційні витрати для установок з виробництва спеціального скла

Одиниця продукції	Потужність	Випуск продукції за рік	Загальні інвестиції (у мільйонах)
Боросилкатне кухонне приладдя, лабораторне скло тощо	Одна піч (35 – 40 т/добу)	Зазвичай 26 мільйонів штук	35 – 40 євро
Склокерамічні варильні плити для духовок	Одна піч (65 т/добу)	3,5 мільйона штук	75 євро
Скляні трубки, плавлення та витягування	Дві печі (30 – 35 т/добу)	Чистий вихід – 16 000 тонн	50 – 70 євро
Колби для ламп (вапняно-натрієве скло)	Одна піч (80 т/добу)	100 мільйонів штук	40 – 50 євро
Джерело: [161, Спеціальне скло, 2008]			

1.7.4 Основні екологічні проблеми

[73, Пропозиція щодо спеціального скла, 2007]

З огляду на широкий асортимент та спеціалізований характер продукції, що виготовляється у секторі спеціального скла, у цьому секторі використовується ширший асортимент сировини, ніж у більшості інших секторів. Наприклад, деякі вироби (конуси для КПТ, оптичний флінт) містять велику кількість оксиду свинцю – понад 20 %. Деякі варіанти складу можуть потребувати спеціалізованих освітлювачів, таких як оксиди миш'яку та сурми, а деякі види оптичного скла можуть містити до 35 % фторидів і 10 % оксиду миш'яку.

У цьому секторі утворюється порівняно невелика кількість відходів, і більшість скляного бою, утвореного в межах виробництва, переробляється. Використання скляного бою, що утворюється за межами виробництва та після використання виробів споживачами, у технологічному процесі обмежене з міркувань якості. Для полегшення переробки відходів було розроблено ініціативи зі стандартизації рецептур скла для КПТ, проте на час укладання цього документа (2010 рік) виробництво КПТ в ЄС кардинально скоротилося, як зазначено у розділі 1.7.1. Вода широко використовується для очищення та охолодження, і її можна легко використати повторно або очистити. Виробництво спеціального скла може створювати проблеми з забрудненням води у результаті операцій полірування та шліфування, особливо у випадках, коли скло містить свинець. Викиди можна мінімізувати за допомогою належних технологій транспортування та локалізації розливої речовини, а з залишковими рівнями забруднень можна боротися за допомогою стандартних технологій.

Основна екологічна проблема, пов'язана зі скловарними печами, які працюють на викопному паливі, полягає в тому, що це високотемпературний енергоємний процес. Це призводить до викидів продуктів згорання та високотемпературного окиснення атмосферного азоту, тобто утворення діоксиду сірки, вуглекислого газу та оксидів азоту. Викиди з печей також містять пил, а у сировині присутні сліди хлоридів, фторидів та металів. Використання певних видів сировини, що застосовуються для надання кінцевій продукції конкретних властивостей, може призвести до викидів фтороводню у разі використання фторовмісної сировини, сполук бору у разі виробництва боросилікатного скла, оксидів азоту у разі використання нітратів та металів у разі використання освітлювачів чи знебарвлювачів (наприклад, Sb, As, Se). Якщо у шихті використовуються токсичні матеріали, слід вживати належних заходів для контролю потенційних викидів, що виникають у результаті транспортування та зберігання матеріалів, а також викидів з печей. Існують технічні рішення, за допомогою яких можна мінімізувати всі ці викиди, проте кожна технологія має свої фінансові та екологічні наслідки. За останні роки були впроваджені значні вдосконалення, націлені на покращення стану довкілля, а викиди та споживання енергії було суттєво зменшено за допомогою як первинних, так і вторинних заходів.

1.8 Мінеральна вата

1.8.1 Огляд сектора промисловості

[27, EURIMA, 1998], [69, Зібрані дані EURIMA, 2007]

На сектор мінеральної вати припадає приблизно 10 % загального тоннажу, що випускається у скляній промисловості. Цей сектор охоплює виробництво ізоляційних матеріалів на основі скловати та кам'яної вати, які, по суті, є доволіно переплетеними масами волокна різної довжини, скріпленими в'язучою речовиною на основі смоли. Хоча терміном «скловолокно» іноді позначають скловату, ізоляцію не слід плутати з виробами, що належать до сектору виробництва скловолокна з безперервних ниток, оскільки ці вироби виготовляються за допомогою різних технологічних процесів і збуваються на різних ринках.

У 2005 році в цьому секторі було безпосередньо зайнято понад 21 000 осіб, що працювали на 62 установках, і виготовлялося 3,6 мільйона тонн продукції вартістю близько 3 000 мільйонів євро. У період з 1996 року (ЄС-15) по 2005 рік (ЄС-25) випуск продукції зріс з 2 мільйонів до 3,62 мільйона тонн.

У ЄС працюють п'ять основних виробників: Saint-Gobain (21 установка у 13 країнах-членах ЄС); Rockwool International (15 установок у 10 країнах-членах ЄС); Paroc (7 установок у 4 країнах-членах ЄС); URSA (7 установок у 7 країнах-членах ЄС: Іспанія, Франція, Бельгія, Німеччина, Словенія, Угорщина та Польща) і Knauf Insulation/Heraklith (об'єдналися у 2006 році з 10 установками у 6 країнах-членах ЄС). Більшість цих компаній мають потужності у країнах, що не входять до складу ЄС, або в інших секторах промисловості. Крім того, у ЄС є кілька незалежних виробників.

Географічний розподіл сектору мінеральної вати, розрахункова частка виробництва та діапазони розмірів установок наведені у Таблиці 1.16 та у Таблиці 1.17. Проте тут не враховується новий завод, який буде збудований у місті Анже, Франція.

Таблиця 1.16. Кількість установок з виробництва мінеральної вати у країнах ЄС-27

Країна-член ЄС	Кількість установок	Приблизний % об'єму виробництва у ЄС
Німеччина	10	18,1
Польща	6	13,3
Франція	5	10,2
Нідерланди	2	8,8
Велика Британія	5	7,1
Данія	3	5,8
Фінляндія	5	5,6
Іспанія	4	4,8
Швеція	3	4,2
Бельгія	2	4,1
Чехія	2	3,4
Словенія	3	3,0
Угорщина	3	2,7
Словаччина	1	2,2
Австрія	2	1,9
Італія	2	1,5
Литва	1	1,4
Португалія	2	1,0
Греція	1	0,8
Ірландія	1	0,2
Румунія	1	0,2
Болгарія	0	0,0
Кіпр	0	0,0
Естонія	0	0,0
Латвія	0	0,0
Люксембург	0	0,0
Мальта	0	0,0
Усього	64	3 654 333 тонни

Джерело: [69, Зібрані дані EURIMA, 2007], [133, Внесок EURIMA за листопад 2008]

У Таблиці 1.17 наведена кількість установок, що підпадали під вказані діапазони об'єму виробництва станом на 2005 рік. На кількох із цих установок експлуатується більш ніж одна піч. Ці цифри відображають фактичний випуск продукції у 2005 році, і, за оцінками, більшість установок працювали на 10 – 20 % нижче повної потужності. Середній об'єм виробництва на установку у 2005 році був у районі 58 064 тонн. Слід зазначити, що ці цифри вказані для тоннажу та для даної сфери застосування; вироби з кам'яної вати мають набагато більшу щільність, ніж вироби зі скловати, особливо в діапазоні менших значень щільності.

Таблиця 1.17. Кількість установок з виробництва мінеральної вати у вказаних діапазонах продуктивності

Діапазон продуктивності (тонн/добу)	<27	Від 27 до 82	Від 82 до 164	Від 164 до 274	> 274
Діапазон продуктивності (тонн/рік)	<10 000	Від 10 000 до 30 000	Від 30 000 до 60 000	Від 60 000 до 100 000	>100 000
Кількість установок у кожному діапазоні	4	12	24	17	7

Примітка. Кількість днів виробництва / рік: 350

Джерело: [69, Зібрані дані EURIMA, 2007], [133, Внесок EURIMA за листопад, 2008]

1.8.2 Вироби та ринки

[27, EURIMA, 1998]

Мінеральна вата вперше була виготовлена у 1864 році шляхом спрямування струменю пари на розплавлений шлак, що виходив з доменної печі. Близько 1870 року з'явилися перші комерційні патенти і розпочалося виробництво. Цей ринок почав помітно зростати під час Другої світової війни, коли виник попит на дешеві панельні будинки для заміни пошкоджених домівок. У 1943 році лише у США було виготовлено понад 500 000 тонн мінеральної вати. У найбільш розвинених країнах теплоізоляція набула широкого вжитку і використовувалася майже у всіх видах будівель. Окрім своїх теплоізоляційних властивостей, ізоляція з мінеральної вати має хороші акустичні і протипожежні властивості.

До основних виробів належать рулонні ізоляційні матеріали малої щільності, плити середньої та високої щільності, засипна вата для задування та ізоляція для труб. Основні ринки для цих виробів такі: теплоізоляція будівель (стіни, дахи, підлога, тощо); застосування у сфері обігріву та вентиляції; промислові (технічні) установки (технологічні трубопроводи, резервуари, хімічні заводи, шельфові споруди та морська справа); пожежний захист; акустика (звукопоглинання та звукоізоляція); інертні ґрунтові субстрати та покращення фізичних властивостей ґрунту. Сковата та кам'яна вата взаємозамінні у багатьох випадках застосування, проте у деяких випадках краще використовувати один продукт, а не інший. Кам'яну вату зазвичай краще використовувати в умовах високих температур або у сфері пожежного захисту, а скловата часто використовується тоді, коли критичне значення має мала вага.

Найважливішим ринком для мінеральної вати є будівельна промисловість, на яку припадає до 70 % випуску продукції, і яка дуже залежить від панівних економічних умов та від нормативної бази.

Незважаючи на рівень технічних знань, необхідний для виробництва ізоляційного волокна, воно є, по суті, товаром широкого вжитку. Існує мало характеристик, на підставі яких можна розрізнити вироби, що конкурують на одних і тих же ринках, тож конкуренція базується головним чином на ціні. Це призвело до суттєвого зниження вартості та скорочення розмірів компаній у межах сектора. Цінова конкуренція слабша на ринку «технічної» продукції, на якому потрібні вироби з високою доданою вартістю, як-от жорсткі трубні секції для роботи в умовах високих температур та в умовах, що потребують вогнетривких властивостей.

Оскільки для будівельної промисловості потрібні вироби, розраховані на середній діапазон температур, для цієї сфери доступне велике розмаїття альтернативних ізоляційних матеріалів, серед яких найбільш поширеними є такі матеріали: пінопласт (основний конкурент), целюлозне волокно (подрібнений газетний папір), вермикуліт та перліт, а також піноскло. Жоден із цих матеріалів не може зрівнятися з мінеральною ватою за всіма характеристиками (низька ціна, теплові характеристики, акустичні характеристики, горючість та простота монтажу), проте всі вони займають своє місце на ринку.

1.8.3 Комерційні та фінансові міркування

[27, EURIMA, 1998], [9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03, 1996]

Сектор мінеральної вати – це дуже розвинена господарська діяльність з темпом росту близько 3 % за рік, і його конкурентоспроможність постійно зростає. Вироби з мінеральної вати мають низьке відношення вартості до об'єму, що накладає обмеження на відстань, на яку їх економічно вигідно транспортувати. Незважаючи на це, ці вироби є предметом інтенсивної торгівлі в межах ЄС, проте на торгівлю з країнами за межами ЄС припадає менш ніж 5 % виготовленої продукції. Звісно, торгівля з країнами за межами ЄС інтенсивніша у тих країнах-членах ЄС, які межують з країнами, що не входять до складу ЄС.

Виробництво мінеральної вати – це дуже капіталомістка діяльність, яка потребує значних фінансових ресурсів, довготермінових інвестицій та високого рівня технічної

майстерності. Це створює суттєвий бар'єр для виходу на ринок, і більшість виробників є великими компаніями з тривалим досвідом господарської діяльності. Існує лише кілька невеликих незалежних виробників.

У секторі мінеральної вати використовуються газокисневі, рекуперативні та електричні печі для виробництва скловати і переважно вагранки на гарячому дутті для виробництва кам'яної вати. Печі мають обмежений термін служби, і періодичність заміни печі різниться залежно від конструкції. Рекуперативні та газокисневі печі потребують капітального ремонту через 8 – 12 років роботи, а електричні печі – через 3 – 6 років. Вагранки довше працюють без ремонту і не експлуатуються безперервно протягом тривалого часу – зазвичай вони працюють протягом 1 – 3 тижнів між періодами зупинки.

Типовий завод з виробництва скловати продуктивністю 60 000 тонн на рік потребує інвестиційних витрат приблизно у 100 мільйонів євро. Завод з виробництва кам'яної вати, який виготовляє приблизно такий же об'єм продукції (тобто приблизно 120 000 тонн на рік), потребує приблизно таких же інвестицій. Витрати на заміну скловарної печі зіставні з витратами, вказаними для інших секторів скляної промисловості.

1.8.4 Основні екологічні проблеми

Як і інші види діяльності у виробництві скла, виробництво скловати є високотемпературним, енергоємним процесом. У випадку печей, що працюють на викопному паливі, це призводить до викидів продуктів згорання та високотемпературного окиснення атмосферного азоту, тобто утворення діоксиду сірки, вуглекислого газу та оксидів азоту. Викиди з печей також містять пил та сліди хлоридів, фторидів і металів, якщо вони присутні у сировині в якості домішок.

У секторі мінеральної вати є ще два важливі джерела викидів: зона формування (у якій на волокна наноситься в'язуча речовина) та стверджувальна піч (у якій продукція сушиться, а в'язуча речовина твердне). Викиди із зони формування з великою ймовірністю містять значну кількість твердих часток, фенолу, формальдегіду, аміаку та води. Викиди зі стверджувальних печей містять легкі компоненти в'язучої речовини, продукти розпаду в'язучої речовини та продукти згорання, що утворюються в пічних пальниках.

Існують технічні рішення, за допомогою яких можна мінімізувати всі ці викиди, проте кожна технологія має свої фінансові та екологічні міжсередовищні наслідки. У виробництві мінеральної вати були впроваджені значні вдосконалення, націлені на покращення стану довкілля. Викиди вдалося значно знизити, а споживання енергії було суттєво скорочене.

Виробництво ізоляції з мінеральної вати загалом не повинно створювати значних проблем із забрудненням води. Базові технологічні процеси є кінцевими споживачами води, яка витрачається головним чином при випаровуванні з зони формування та стверджувальної печі. Системи технологічного водопостачання зазвичай виконані як замкнений контур, що поповняється чистою водою, проте необхідно вживати запобіжних засобів для запобігання забрудненню систем подавання чистої води. Викиди можна мінімізувати за допомогою належних технологій транспортування та локалізації розливої речовини, а з залишковими рівнями забруднень можна боротися за допомогою стандартних технологій.

Аналізуючи загальний вплив цього сектору на довкілля, корисно врахувати деякі переваги для довкілля, яких вдасться досягти за допомогою продукції цього сектору. Для виробництва мінеральної вати потрібно досить мало енергії у порівнянні з енергією, яку потенційно можна заощадити при використанні цих виробів. За менш ніж один місяць з моменту монтажу вироби з мінеральної вати можуть заощадити всю кількість енергії, яка була витрачена на їх виготовлення. Через 50 років використання, що є типовим терміном для будівель, заощаджена кількість енергії може у 1000 разів перевищити енергію, спожиту у ході виробництва. У порівнянні з типовими викидами CO₂ при виробництві електроенергії з викопного палива, за 50 років використання така продукція також може запобігти викидам CO₂, які у 1000 разів перевищують викиди під час її виробництва. За вищих температур – наприклад, у трубах, котлах та на технологічних установках – заощадження можуть бути значно більшими, і період екологічної окупності інвестицій може становити кілька днів, а не тижнів.

1.9 Високотемпературне ізоляційне волокно

1.9.1 Огляд сектора промисловості

[41, Європейська торгова асоціація виробників високотемпературного ізоляційного волокна (ECFIA), 1998], [116, ECFIA, 2008], [143, Дані ECFIA за листопад, 2008]

У цьому документі розглядається лише виробництво «аморфного» високотемпературного ізоляційного скловолокна (ВТІВ) шляхом плавлення мінеральних речовин. Деякі види волокна (наприклад, полікристалічне волокно на основі глинозему – PCW) можуть виготовлятися за методом золь-гель, який є хімічним процесом, проте ці види діяльності не підпадають під визначення, наведені у розділах 3.3 або 3.4 Додатку I до Директиви 2008/1/ЕС, а тому не будуть розглядатися у цьому документі.

Наразі (у 2010 році) в ЄС існує чотири заводи-виробники, і розрахунковий об'єм виробництва у 2005 році склав приблизно 42 750 тонн (тобто 0,11 % від загального об'єму виробництва у скляній промисловості і 1,2 % від об'єму виробництва у секторі мінеральної вати), походзячи головним чином з Великої Британії, Франції та Німеччини. У ЄС працює три компанії: Thermal Ceramics (одна виробнича установка), Unifrax (дві виробничі установки) та Rath (одна установка). Географічний розподіл виробничих установок наведено у Таблиці 1.18.

Таблиця 1.18. Розподіл установок з виробництва ВТІВ у країнах-членах ЄС

Країна-член ЄС	Кількість установок
Франція	2
Німеччина	1
Велика Британія	1
Усього	4

1.9.2 Вироби та ринки

[41, ECFIA, 1998], [116, ECFIA, 2008], [70, Асоціація німецьких інженерів (VDI) 3469-1, 2007], [71, VDI 3469-5, 2007]

[129, EN 1094-1, 2008], [176, TRGS 619, 2007]

По суті, існує два типи неорганічного високотемпературного ізоляційного волокна (ВТІВ). Окрім аморфного волокна (волокна на основі силікатів лужно-земельних металів – AES та алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна – ASW/RCF), яке застосовується найчастіше, на ринку також доступне полікристалічне волокно на основі глинозему – PCW).

Строго кажучи, види волокна на основі силікатів лужно-земельних металів (AES) належать до групи мінеральної вати за своїм хімічним складом. Проте через специфіку його використання у сферах, де присутні високі температури, їх відносять до виробів групи ВТІВ.

Аморфне високотемпературне ізоляційне волокно, що містить до 58 % Al_2O_3 , може виготовлятися за допомогою процесу плавлення.

Згідно з Європейським стандартом EN 1094-1 («Ізоляційні вогнетривкі вироби. Частина 1. Термінологія, класифікація та методи випробування виробів з високотемпературного ізоляційного волокна» – див. www.cen.eu/cenorm/index.htm), аморфні види ВТІВ, про які йдеться у цьому документі, можна класифікувати наступним чином:

- алюмосилікатне скловолокно (ASW), також відоме як вогнетривке керамічне волокно (RCF):
 - алюмосилікатне скловолокно (високого ступеня чистоти);
 - алюмо-кремній-цирконієве скловолокно;
- скловолокно на основі силікатів лужно-земельних металів (AES):
 - кальцієво-силікатне скловолокно;
 - кальцієво-магнієво-силікатне скловолокно;
 - кальцієво-магнієво-цирконієво-силікатне скловолокно;
 - магнієво-силікатне скловолокно.

Кальцієво-магнієво-цирконієво-силікатне скловолокно більше не виготовляється, проте на установках досі є обладнання для його виготовлення.

Усі вироби групи ВТІВ мають спільні характеристики, серед яких:

- мала об'ємна густина;
- низька теплоємність;
- низька теплопровідність, та
- майже необмежена стійкість до теплових ударів.

Вироби з алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна (ASW/RCF) особливо добре підходять для значного заощадження енергії в умовах високих температур від 600 °С і до 1400 °С. Скловолокно AES (на основі силікатів лужно-земельних металів) складається з аморфних волокон, виготовлених шляхом плавлення суміші CaO, MgO, SiO₂ та ZrO₂. Ці вироби зазвичай використовуються за робочих температур <1200 °С.

На Рисунку 1.2 вказані найбільш поширені види високотемпературного ізоляційного волокна для застосування в умовах температур від 600 до 1800 °С.

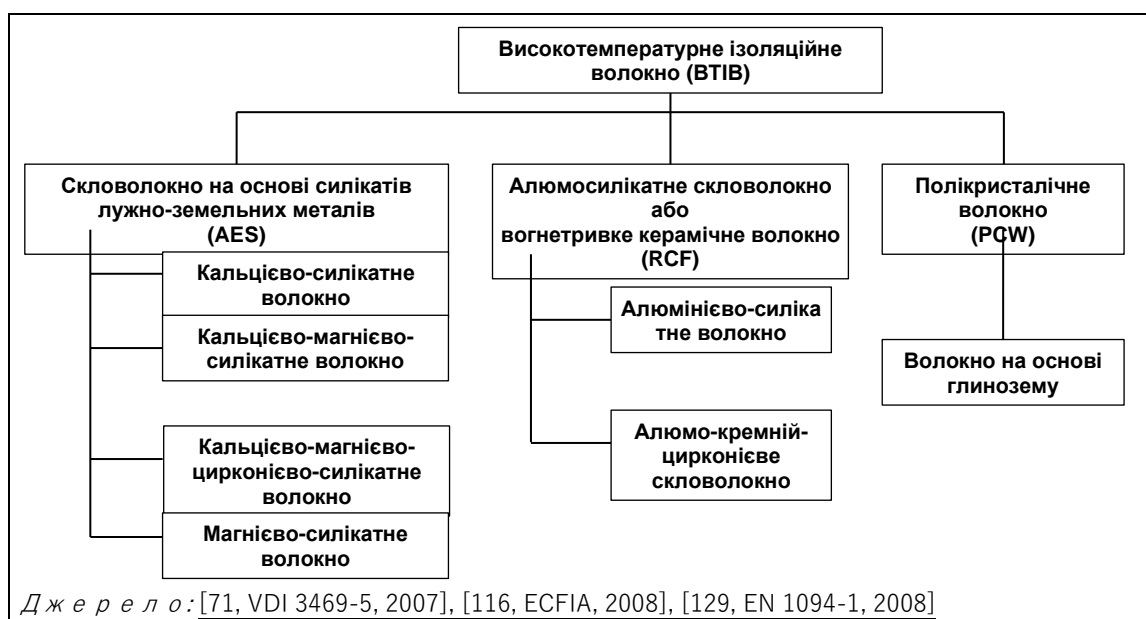


Рисунок 1.2. Найбільш поширені види високотемпературного ізоляційного волокна для температур понад 600 °С і до 1800 °С

Аморфне алюмосилікатне волокно (ASW/RCF) головним чином використовується як високотемпературний ізоляційний матеріал (600 – 1400 °С) для промислового обладнання (90 % використовується у якості футеровки печей та промислової ізоляції, 8 % – в автомобільній галузі, та 2 % – для пожежного захисту). Скловолокно на основі силікатів лужно-земельних металів (AES) використовується головним чином у побутових приладах (33 %), у якості промислової ізоляції (45 %), для пожежного захисту (12 %), в автомобільній галузі (4 %) та в інших сферах застосування (6%). Основними формами, у яких випускається продукція, є насипне волокно, килими (повсть або модулі), будівельний картон, папір, вакуум-формовані вироби та тканини. Усі згадані вироби є похідними від насипного волокна.

Багато виробів продаються у традиційні галузі важкої промисловості, такі як хімічна і нафтохімічна промисловість, чорна та кольорова металургія, керамічна, скляна та цементна промисловість, тощо. Вироби з ВТІВ мають порівняно високу вартість, і їх економічно вигідно транспортувати на більшість ринків у світі. Окрім використання в пічних установках, ці вироби часто перетворюються або використовуються у складі інших виробів, таких як автомобільні каталітичні перетворювачі, сажові фільтри дизельних двигунів [177, VDI 3677, частина 1, ескізна редакція, 2009], прокладки, гільзи поршнів та теплові екрани. Близько 30 – 40 % первинної продукції використовуються як компоненти у вторинних випадках застосування.

1.9.3 Комерційні міркування

[41, ECFIA, 1998], [116, ECFIA, 2008]

Галузь виробництва ВТІВ виготовляє спеціалізовану продукцію головним чином для промислового застосування. У порівнянні з усім сектором виробництва мінеральної вати, це крихітна галузь (1,2 %), яка становить ще меншу частку сектора виробництва скла у цілому (0,11 %). Внаслідок укрупнення компаній в межах цього сектора станом на 2008 рік у ЄС існувало всього три компанії, що виготовляли аморфне ВТІВ.

Основним чинником, що впливає на галузь виробництва ВТІВ, є собівартість виробництва (енергія, сировина та трудові ресурси).

Розрахункова вартість нової фабрики з типовою продуктивністю складає 6 – 8 мільйонів євро. Печі нагріваються за рахунок електроенергії і мають термін служби від 10 до 20 років; при цьому вартість нової печі за оцінками становить 100 000 – 200 000 євро. Оновлення печей (заміна електродів, футеровки, тощо, залежно від потреб) виконується приблизно кожні три місяці – відповідно, витрати на технічне обслуговування становлять близько 20 000 євро.

Основними чинниками, що впливають на промислових споживачів цієї продукції, є вигоди від заощадження енергії, зниження викидів CO₂, підвищення якості їх власної продукції та більшої універсальності агрегату, у якому використовується ВТІВ. Значна кількість продукції експортується, а об'єми імпорту порівняно малі.

З огляду на значні переваги, згадані вище, у порівнянні з іншими вогнетривкими матеріалами (як-от цегла та вогнетривкий бетон), вироби з ВТІВ особливо добре підходять для випадків, коли потрібно досягти суттєвого заощадження енергії та зниження викидів парникових газів (тобто CO₂). Наприклад, повідомлялося, що при застосуванні модулів з ВТІВ у сталеливарній промисловості вдалося заощадити до 30 % енергії у порівнянні з використанням традиційної футеровки. У деяких сферах застосування в умовах низьких температур (<800 °C) існує конкуренція з боку мінеральної вати, а у спеціальних сферах застосування з дуже високими температурами (>1300 °C) – з боку полікристалічного волокна на основі глинозему (PCW). Вироби з кам'яної вати та скловати значно дешевші, ніж вироби з алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна (ASW/RCF) та волокна на основі силікатів лужно-земельних металів (AES), у той час як вироби з полікристалічного волокна на основі глинозему дорожчі. Завдяки унікальним тепловим та фізичним властивостям ВТІВ ця продукція не зазнає безпосередньої конкурентної загрози з боку матеріалів-замінників. Те, який саме виріб найкраще підходить для конкретного випадку застосування, визначається вимогами самого застосування та технічними умовами процесу виробництва – у тому числі в порівнянні з ізоляційною вогнетривкою цеглою та вогнетривким бетоном.

1.9.4 Основні екологічні проблеми

[116, ECFIA, 2008]

На відміну від інших секторів скляної промисловості, у секторі ВТІВ використовуються виключно електричні печі опору, тож безпосередні викиди з печей дуже низькі і легко контролюються (за допомогою фільтрів для видалення пилу).

Основною екологічною проблемою є викиди твердих часток у повітря, які, у випадку операцій подальшої обробки, можуть містити волокнистий пил. Ця проблема вирішується за допомогою систем фільтрування повітря.

За визначеннями Директиви про небезпечні речовини 67/548/EEC (див. Регламент (Європейської комісії) № 1272/2008), алюмосилікатне скловолокно / вогнетривке керамічне волокно (ASW/RCF) класифікується як канцероген Категорії 2; це визначення перейшло у Регламент (Європейської комісії) щодо класифікації, маркування та пакування (CLP) № 1272/2008. Волокно на основі силікатів лужно-земельних металів (AES) звільнене від обмежень, що накладаються цією класифікацією.

З огляду на класифікацію волокна, викиди волокон на робочому місці та у навколишнє середовище необхідно ретельно контролювати.

Рівні утворення відходів зазвичай порівняно низькі. Існує невелика кількість водних викидів, які містять зважені тверді частки. У ході операцій додаткової обробки можуть утворюватися деякі органічні сполуки. Рівні викидів з заводів, які виготовляють ВТІВ, дуже низькі. Усі установки в ЄС за необхідності оснащені обладнанням для зниження викидів пилу.

1.10 Фрити

1.10.1 Огляд сектора промисловості

[47, Іспанська асоціація виробників фрит, полив та керамічних пігментів (ANFFECC), 1999]

Сектор фрит зазвичай пов'язується з керамічною промисловістю, проте входить до змісту цього документа, оскільки підпадає під визначення, наведене у розділі 3.4

Додатку I до Директиви 2008/01/ЄС. За оцінками, об'єм виробництва фрит у ЄС у 2005 році склав 1,25 мільйона тонн – таким чином, виробництво фрит є одним із найменших секторів скляної промисловості. Кількість працівників, зайнятих у цій сфері, важко визначити, оскільки у багатьох компаніях виробництво фрит становить лише невелику частку господарської діяльності. Цей сектор охоплює виробництво фрит для полив та емалей, які використовуються для оздоблення керамічних матеріалів та металів. На скляні фрити або керамічні фрити припадає близько 95 % загально виробництва фрит (кераміка та емаль).

За оцінками, у ЄС є близько 50 таких установок, більшість яких знаходяться в Іспанії та Італії. Найбільшим виробником фрит у світі є Іспанія, на яку припадає понад 80 % загального об'єму виробництва у ЄС.

У Таблиці 1.19 представлено географічний розподіл установок з виробництва фрит загальною продуктивністю >20 тонн/добу, розташованих у Європі.

Таблиця 1.19. Розподіл установок з виробництва фрит загальною продуктивністю >20 тонн/добу (оцінка станом на 2008 рік)

Країна-член ЄС	Кількість установок
Іспанія	21
Італія	9
Німеччина	5
Чехія	2
Франція	2
Нідерланди	2
Польща	2
Велика Британія	2
Португалія	1
Бельгія	1
Австрія	1
Усього	48 (за оцінками)
<i>Джерело: [99, ІТС-C080186, 2008]</i>	

У Таблиці 1.20 представлено розподіл виробничих потужностей для установок, розташованих в Іспанії, які складають більшу частину сектора виробництва фрит.

Таблиця 1.20. Кількість установок з виробництва фрит, що знаходяться в Іспанії, у вказаних діапазонах продуктивності (розрахункові значення)

Діапазон продуктивності (тонн/добу)	<50	Від 50 до 150	> 150
Кількість установок у кожному діапазоні	4	12	5
<i>Джерело: [98, ANFFECC, Становище сектора виробництва фрит, 2005], [99, ІТС-C080186, 2008]</i>			

1.10.2 Вироби та ринки

[47, ANFFECC, 1999], [9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03 1996]

Головним застосуванням скляних фрит є виробництво керамічних полив та пігментів. При нанесенні на поверхню керамічних виробів, таких як плитка та столовий посуд, і наступному обпалюванні ці поливи утворюють непроникне, захисне і декоративне покриття. Фрити можуть продаватися у чистому вигляді виробникам керамічної продукції, які виготовляють власні поливи, або ж виробники фрит можуть самі виготовляти і постачати поливи. Як правило, більш ніж половина фрит, виготовлених у цьому секторі, використовується в самому секторі для виробництва полив.

Емалеві фрити використовуються у виробництві емалей, головним застосуванням яких є їх нанесення на металеві поверхні для створення покриття, стійкого до хімічних та фізичних впливів. Головним ринком для емалей є виробництво обладнання для приготування їжі, а також їх використання у якості покриття варильних панелей, духовок, грилів, тощо. До інших сфер застосування емалей належать баки для зберігання, силоси, ванни, електронні компоненти та вивіски. Емалеві фрити складають лише близько 5 % загального об'єму виробництва фрит.

Фрити – це порівняно вартісна продукція малого об'єму, і витрати на їх транспортування зазвичай складають порівняно малу частку від загальної ціни продукції. Укрупнення цієї галузі у світовому масштабі призвело до того, що наразі широкі міжнародні ринки обслуговує менша кількість заводів, проте ці заводи більші.

Хоча ця галузь є провідним і стратегічно важливим сектором промисловості у ЄС, слід враховувати загрозу, пов'язану з виробництвом фрит за межами ЄС, оскільки екологічні норми, вартість сировини та соціально-економічні умови можуть посилити їх надходження на ринок і конкуренцію з фритами, що виготовляються у ЄС.

1.10.3 Комерційні міркування

[47, ANFFECC, 1999], [9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03 1996]

Об'єм виробництва фрит суттєво збільшився, а Іспанія за останні кілька років збільшила об'єми продажу фрит. Підприємства зазнають жорсткої міжнародної конкуренції з країнами за межами ЄС. Хоча велика кількість фрит, виготовлених у ЄС, використовуються в межах ЄС, експорт у країни за межами ЄС також є важливим ринком для виробників керамічних фрит. Виробництво керамічних фрит – це міцно усталена галузь промисловості, яка протягом багатьох років постачає фрити у керамічний сектор. Конкуренція з боку інших типів полив, які не містять фрит, дуже слабка, оскільки вони не мають належних технічних властивостей.

Для столового посуду розроблені альтернативні матеріали, як-от пластикові покриття, проте вони потерпають від тих же проблем, пов'язаних з їх схильністю до вилугування, що й сирі поливи, особливо у присутності органічних кислот, які зазвичай містяться у їжі. Невідомо, якою мірою пластикові покриття можуть вплинути на ринок фритованих полив для керамічної плитки. Матеріали-замінники є незначною загрозою для емалевих полив. Альтернативні матеріали, як-от фарби, потенційно можуть використовуватися у подібних сферах застосування, проте вони не можуть зрівнятися з властивостями поливи за тепловою стійкістю, хімічною стійкістю, стійкістю до дряпання та «здатність до очищення».

1.10.4 Основні екологічні проблеми

Основною екологічною проблемою, пов'язаною з виробництвом фрит, є те, що процес їх виробництва енергоємний і потребує високої температури. Ця обставина призводить до викидів продуктів згорання, які містять оксиди азоту внаслідок окиснення атмосферного азоту за високої температури в печі і внаслідок переходу матеріалів, що містяться в суміші шихти, у леткий стан. Викиди з печі також містять пил, який утворюється в результаті переходу в леткий стан і наступної конденсації летких матеріалів, у складі яких можуть міститися різні елементи, залежно від типу сировини та речовин, що використовуються у суміші шихти, – наприклад, сліди хлоридів, фторидів та металів.

В принципі, можна реалізувати технічні рішення для мінімізації всіх цих викидів, проте кожна технологія має відповідні фінансові та екологічні наслідки, які слід ретельно оцінити для визначення доцільності цієї технології.

Вода використовується головним чином для охолодження у процесі фриткування та у процесах очищення установки. Вода завжди використовується у замкнених контурах.

Відходи утворюються у дуже малих кількостях – головним чином за рахунок твердих часток, уловлених з водяних контурів. У багатьох випадках відходи від обладнання для зниження викидів пилу можна переробити шляхом повернення у піч.

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ

У перших трьох загальних розділах цієї частини розглядаються поширені види сировини та міркування щодо її плавлення, які стосуються більшості секторів скляної промисловості. У наступних розділах окремо описані конкретні питання, що стосуються кожного з цих секторів. Три з цих секторів, а саме сектори виробництва кам'яної вати, фрит та високотемпературного ізоляційного волокна, відрізняються від інших за деякими матеріалами та технологіями, що в них використовуються. Ці відмінності розглядаються у розділах, присвячених кожному сектору.

2.1 Транспортування матеріалів

З огляду на розмаїття скляної промисловості у ній використовується велике різноманіття сировини. Більшість цих матеріалів є твердими органічними сполуками – мінералами, що зустрічаються у природі, або штучними продуктами. Вони різняться від дуже грубозернистих матеріалів до дрібнодисперсних порошків. У більшості секторів також використовуються рідини та, меншою мірою, гази.

До газів, що використовуються, належать водень, азот, кисень, діоксид сірки, пропан, бутан та природний газ. Вони зберігаються і транспортуються у традиційні способи – безпосередньо через трубопроводи, у спеціальних резервуарах для безтарного зберігання та у балонах. Використовується широкий асортимент рідких матеріалів, у тому числі деякі матеріали, що потребують обережного транспортування, як-от фенол та сильні мінеральні кислоти. У цій галузі промисловості використовуються всі стандартні форми зберігання та транспортування – наприклад, безтарне зберігання, єврокуби (IBC), барабани та невеликі контейнери. Технології, які потенційно можна використовувати для мінімізації викидів у результаті зберігання та транспортування рідин, розглядаються у частині 4.

Дуже грубозернисті матеріали (тобто матеріали з діаметром часток >50 мм) використовуються лише у виробництві кам'яної вати. Ці матеріали постачаються за допомогою залізничних чи автомобільних вантажних перевезень і транспортуються безпосередньо у силоси або складаються в купи на складських майданчиках. Складські майданчики можуть бути відкритими, частково закритими або повністю закритими; у цьому секторі промисловості є приклади всіх трьох способів їх влаштування. Якщо грубозернистий матеріал зберігається у силосах, вони зазвичай відкриті і заповнюються за допомогою конвеєрної системи. Далі матеріали транспортуються у піч за допомогою закритих конвеєрних систем. Матеріали змішуються просто шляхом їх одночасного накладання на подавальний конвеєр.

Зерниста та порошкоподібна сировина постачається у залізничних цистернах чи автомобілях-цистернах і транспортуються у силоси для безтарного зберігання пневматичним або механічним способом. Для пневматичного транспортування матеріалів потрібно, щоб вони були у цілому сухими. Повітря, витіснене з силосів, зазвичай фільтрується. Матеріали меншого об'єму можуть постачатися у мішках або бочках і зазвичай подаються у змішувальні резервуари самопливом.

У великих безперервних процесах сировина транспортується в невеликі проміжні силоси, звідки вона віддається, часто автоматично, для отримання «шихти» з точно заданою рецептурою. Після цього шихта перемішується і транспортується в зону печі, у якій вона подається в піч з одного або кількох бункерів. У цій галузі промисловості зустрічаються різноманітні живильні механізми, які варіюються від повністю відкритих систем до повністю закритих шнекових живильних систем. Для зниження викидів пилу під час транспортування та «винесення» дрібних часток з печі у шихті потрібно підтримувати певний відсоток води – зазвичай 0 – 4 % (у деяких процесах, наприклад, при виробництві боросилікатного скла, використовуються сухі компоненти шихти). Воду можна вносити у вигляді пари наприкінці операції змішування, проте компоненти сировини можуть самі містити певну кількість води. У виробництві вапняно-натрієвого скла пара іноді використовуються для підтримання температури вище 37 °C та запобігання висиханню шихти внаслідок гідратації кальцинованої соди.

З огляду на свою абразивність та більший розмір часток, скляний бій зазвичай транспортують окремо від первинних матеріалів шихти – він може завантажуватися в піч у відміряних кількостях за допомогою окремої системи.

У періодичних процесах шихтоскладальна установка набагато менша, і керування нею часто здійснюється вручну. Перемішана шихта може зберігатися у невеликих пересувних бункерах, кожен з яких містить одну порцію для завантаження у скловарну піч. Іноді змішуються кілька порцій для завантаження в піч з різними рецептурами, які зберігаються поблизу скловарної печі для використання протягом певного періоду варіння скла. Як і у випадку з великомасштабним варінням скла, змішану шихту не можна надто довго зберігати перед використанням, оскільки різні компоненти можуть осісти, і тоді буде складно отримати однорідний розплав. Присутність води у шихті допомагає боротися з цією її властивістю.

2.2 Варіння скла

Варіння – поєднання окремих компонентів сировини за високої температури для отримання розплавленої скломаси – є центральним етапом виробництва скла. Існують численні способи варіння скла залежно від бажаного продукту, його кінцевого застосування, масштабу діяльності та панівних комерційних чинників. Рецептūra скла, види сировини, технологія варіння, вибір палива та розмір печі – усе це залежить від цих чинників.

Час перебування розплаву скла у печі суттєво різниться залежно від типу скла, що виготовляється. Мінімальний час перебування у печі є критично важливим параметром для забезпечення якості скла. Зазвичай чим вища якість скла, що виготовляється, тим довшим повинен бути час перебування у печі для забезпечення ідеальної гомогенізації та видалення камінців, бульбашок, тощо, які можуть бути присутні у розплаві і погіршують властивості кінцевого виробу. Відмінності у часі перебування розплаву скла в печі безпосередньо пов'язані з питомим споживанням енергії, а отже, для заданої потужності скловарної печі конкретному типу скла, що виготовляється, може відповідати кардинально інший рівень споживання енергії.

2.2.1 Сировина для виробництва скла

[19, CPIV, 1998], [22, Schott, 1996], [66, ОНОВЛЕНІ ДАНІ APFE для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007]

[100, Редакція Довідкового документа з найкращих технологій та методів управління (BREF) від Міжнародної федерації виробників кришталю (ICF), 2007]

Найважливіші види сировини для виробництва скла наведені у Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Важливі види сировини для виробництва скла

Склоутворювальні матеріали
Кременистий пісок, технологічний скляний бій, скляний бій виробів, використаних споживачем
Проміжні продукти та модифікатори
Кальцинована сода (Na_2CO_3), вапняк (CaCO_3), обпалене вапно (CaO), доломіт ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), обпалений доломіт ($\text{CaO} \cdot \text{MgO}$), польовий шпат, нефеліновий сієніт, карбонат калію, флюорит, глинозем, оксид цинку, оксид свинцю, карбонат барію, карбонат стронцію, базальт, безводний сульфат натрію, сульфат кальцію та гіпс, сульфат барію, нітрат натрію, нітрат калію, боровмісні матеріали (наприклад, тетраборат натрію, колеманіт, борна кислота), оксид сурми, триоксид миш'яку, шлак з доменних печей (суміш кальцію, алюмінію, силікату магнію та сульфідів заліза).
Барвники / знебарвлювачі
Хроміт заліза ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$), оксид заліза (Fe_2O_3), оксид кобальту, селен / селеніт цинку, вуглець, сульфіді (пірит).

Детальна таблиця видів сировини наведена у розділі 3.2.1.

Пісок – це найважливіша сировина для виробництва скла, яка є головним джерелом SiO_2 . Це поширений вид сировини, проте пісок з більшості покладів недостатньо чистий для виробництва скла. Температура плавлення піску надто висока, щоб його було економічно вигідно плавити, тому для зниження температури плавлення потрібен флюс – зазвичай оксид натрію.

Основним джерелом оксиду натрію (Na_2O), який виконує функцію флюсу, є кальцинована сода (Na_2CO_3). Під час варіння скла оксид натрію стає частиною розплаву, і з нього вивільняється вуглекислий газ. У якості освітлювача та окиснювача додається сульфат натрію, який є додатковим джерелом оксиду натрію. Оксид натрію включається до складу скла; при цьому вивільняються газоподібні оксиди сірки, які виходять через розплав. Карбонат калію (K_2CO_3) діє як флюс і використовується у деяких процесах, особливо при виробництві спеціального скла. Оксид калію включається до складу скла; при цьому вивільняється вуглекислий газ.

Інші оксиди металів додаються до скла для зміцнення його структурної сітки з метою підвищення його міцності та хімічної стійкості. Таким чином діє оксид кальцію (CaO), який додається до скла у складі карбонату кальцію (CaCO_3), що вноситься у вигляді вапняку або крейди. Оксид кальцію також може додаватися у складі доломіту, що містить як карбонат кальцію, так і карбонат магнію (MgCO_3). Оксид алюмінію (Al_2O_3) додається для поліпшення хімічної стійкості та для збільшення в'язкості за низьких температур. Він зазвичай додається у вигляді нефелінового сієніту ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$), польового шпату або глинозему, проте також присутній у шлаку доменних печей та польовошпатовому піску.

Оксиди свинцю (PbO та Pb_3O_4) використовуються для покращення дзвінкості та для збільшення показника заломлення скла з метою надання кращої блискучості таким виробам, як свинцевий криштал. У якості альтернативи оксидам свинцю можна використовувати оксид барію (отримується з карбонату барію), оксид цинку або оксид калію, проте ці сполуки забезпечують меншу густину та блискучість, ніж потрібно для свинцевого кришталю. У більшості випадків заміна PbO іншими компонентами має той недолік, що вона погіршує придатність скла ручної роботи для обробки.

Триоксид бору (B_2O_3) є обов'язковим компонентом деяких видів продукції, особливо спеціального скла (боросилікатних видів скла) та скловолокна (скловати та безперервних ниток). Його найважливішим ефектом є зменшення коефіцієнта розширення скла, проте у складі волокон він також змінює в'язкість та текучість, сприяючи волокноутворенню, і надає стійкості до агресивного впливу води.

У наведеній нижче Таблиці 2.2 перелічені деякі компоненти, що використовуються для забарвлення скла. Барвники можуть додаватися в основну шихту або в канал після печі (у вигляді кольорової фрити).

Таблиця 2.2. Компоненти, що використовуються для забарвлення силікатного скла

Елемент	Іон	Колір
Мідь	(Cu^{2+})	Блакитний
Хром	(Cr^{3+})	Зелений
	(Cr^{6+})	Жовтий
Марганець	(Mn^{3+})	Фіолетовий
Залізо	(Fe^{3+})	Жовтувато-коричневий, бурштиновий у поєднанні з сульфідами
	(Fe^{2+})	Синювато-зелений
Кобальт	(Co^{2+})	Густий синій, проте рожевий у боратному склі
	(Co^{3+})	Зелений
Нікель	(Ni^{2+})	Сірувато-коричневий, жовтий, зелений, від синього до фіолетового, залежно від скляної матриці
Ванадій	(V^{3+})	Зелений у силікатному склі, коричневий у боратному склі
Титан	(Ti^{3+})	Фіолетовий (плавиться у відновлювальних умовах)
Неодим	(Nd^{3+})	Червонувато-фіолетовий
Селен	(Se^0)	Рожевий або бронзовий (також Se^{2+} , Se^{4+} та Se^{6+} , залежно від типу скла)
Кадмій	(Cd^{2+})	Жовтий, оранжевий, червоний, а також підсилювач кольору
Празеодим	(Pr^{3+})	Світло-зелений

Матеріали, які містять фториди (наприклад, флюорит (CaF_2)), використовуються для надання певним виробам непрозорості. Це досягається шляхом утворення кристалів у склі, які роблять його матовим і непрозорим. Фториди також використовуються у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток з метою оптимізації поверхневого натягу і характеристик текучості для сприяння волокноутворенню та мінімізації обривів ниток.

Все більшого значення у виробництві скла набуває такий вид сировини, як скляний бій (бите скло) – як скляний бій, утворений на самому виробництві, так і привізний скляний бій, або скляний бій відмінного складу. Практично у всіх процесах переробляється скляний бій, утворений на самому виробництві, проте у деяких процесах існують обмеження, пов'язані з якістю, які можуть не дозволяти забезпечити постачання скляного бою відмінного складу достатньої якості та однорідного складу таким чином, щоб це було економічно доцільно. На більшості виробництв скловолокна з безперервних ниток зворотний скляний бій виробництва не переробляється, в той час як у секторі тарного скла частка скляного бою у шихті іноді перевищує 80 %. Для плавлення скляного бою потрібно менше енергії, ніж для свіжої сировини, і кожна 1 тонна скляного бою замінює приблизно 1,2 тонни свіжого матеріалу в рецептурі шихти для більшості видів вапняно-натрієво-силікатного скла.

Щоб гарантувати належну якість скляного бою для конкретного процесу варіння скла та характеристик кінцевого продукту, необхідно обмежити вміст або взагалі виключити присутність у ньому кераміки, склокераміки, металів, органічних речовин, тощо. Викиди деяких забруднюючих речовин можна безпосередньо пов'язати з використанням скляного бою.

Детальніша інформація про використання скляного бою наведена у розділі 4.8.3.

2.2.2 Процес варіння скла

[22, Schott, 1996]

Процес варіння скла – це складне поєднання хімічних реакцій та фізичних процесів. У цьому розділі наведено лише стислий підсумок деяких важливих аспектів цього процесу. Варіння скла можна поділити на кілька етапів, кожен з яких потребує вкрай пильного контролю.

Нагрівання

Традиційним і найбільш поширеним способом підведення тепла до скломаси є спалювання викопного палива над шаром шихти або купами шихти та над скломасою. Шихта безперервно подається в піч, а потім виводиться з печі у розплавленому стані. Температура, необхідна для варіння та освітлювання скла, залежить від точної рецептури, проте знаходиться в межах 1300 – 1550 °C. За цих температур у процесах теплообміну переважає теплообмін випромінюванням – зокрема, зі склепіння печі, яка нагрівається полум'ям до температур, що досягають 1650 °C, проте також із самого полум'я. У кожній конструкції печі підведення тепла влаштоване і контролюється таким чином, щоб створювати різницю температур у розплавленій скломасі та збуджувати у скломасі рециркуляційні потоки за принципом вільної конвекції для забезпечення постійної однорідності готового скла, що подається у процес формування. Маса розплавленого скла, що міститься в печі, підтримується сталою, і середній час її перебування в печі є величиною порядку 24 годин виробництва у печах для варіння тарного скла, і становить 60 – 72 години у печах для варіння флоат-скла.

Первинне варіння

Через низьку теплопровідність матеріалів шихти процес варіння скла спочатку досить повільний, а отже, дає достатньо часу для протікання численних хімічних та фізичних процесів. У міру того, як матеріали нагріваються, волога випаровується, деякі компоненти сировини розкладаються, і вивільняються гази, зв'язані у сировині. Перші реакції (декарбонізація) протікають за температури близько 500 °C. Сировина починає плавитися за температури від 750 до 1200 °C. Спочатку пісок починає розчинятися під впливом флюсів. Кремнезем, виділений з піску, сполучається з оксидом натрію, що виділяється з кальцінованої соди, та з іншими матеріалами шихти, утворюючи силікати. У той же час внаслідок розкладання гідратів, карбонатів, нітратів і сульфатів вивільняються великі об'єми газів; при цьому виділяється вода, вуглекислий газ, оксиди азоту та оксиди сірки. Розплавлена скломаса зрештою стає прозорою, і етап варіння скла завершується. Об'єм розплаву складає близько 35 – 50 % об'єму свіжої шихти внаслідок втрати газів та зникнення порожнеч між частками матеріалу.

Освітлення та гомогенізація

Перш ніж зі скляного розплаву можна буде формувати вироби, його, як правило, потрібно зробити повністю однорідною і видалити з нього всі бульбашки. Для більшості скляних

виробів необхідно забезпечити повне розчинення і рівномірний розподіл усіх компонентів і видалити бульбашки з розплавленої скломаси. Видалення бульбашок з розплаву називається процесом освітлення (очищення), який складається з первинного освітлення (ріст бульбашок, спливання бульбашок і відведення газу з розплаву) та вторинного освітлення (розчинення бульбашок у розплаві під час керованого охолодження).

Відразу після варіння або плавлення сировини утворюється в'язкий розплав з розчиненими газами (повітря, CO_2) та малими (мошка) або великими (пузирі) газовими бульбашками. У більшості однорідних скляних виробів (плоске скло, столовий посуд, скловолокно з безперервних ниток, скло для дисплеїв, тара, трубки, тощо) для досягнення необхідної якості скла потрібно видалити всі чи майже всі ці бульбашки або запобігти їх утворенню. Видалення газів зі скляного розплаву не обмежується видаленням бульбашок, пухирів та мошки з розплавленої скломаси, але також передбачає відведення розчинених газів зі скляного розплаву. Ефективне відведення газів, таких як азот та CO_2 , з розплавленої скломаси зменшує ризик «скипання» (утворення нових бульбашок у розплаві) та утворення пухирів після процесу первинного варіння – наприклад, внаслідок взаємодії розплаву з вогнетривкими матеріалами. Більший розмір бульбашок і, відповідно, більш інтенсивне спливання бульбашок у розплаві сприяє видаленню цих бульбашок, відводячи їх на поверхню скляного розплаву під час первинного варіння. Вивільнення газів під час первинного варіння сприяє дифузії освітлювальних газів в існуючі бульбашки у скляному розплаві: завдяки цьому вони починають рости і швидше піднімаються (швидкість спливання бульбашок пропорційна квадрату діаметра бульбашки); це призведе до збільшення розміру бульбашок, а отже, і швидкості спливання бульбашок за формулою Стокса у в'язкому розплаві. Швидкість спливання пропорційна оберненому значенню в'язкості скляного розплаву, а в'язкість скла строго залежить від температури скляного розплаву, і тому зменшується зі збільшенням температури. Бульбашки, які ростуть, також захоплюють з розплаву інші розчинені гази, такі як водяна пара, CO_2 та N_2 (відведення газів).

Механізм первинного освітлення скляного розплаву передбачає видалення бульбашок за рахунок росту бульбашок та пришвидшеного спливання бульбашок у розчині в поєднанні з відведенням газу (видаленням розчинених газів з розплаву шляхом поглинання газів бульбашками). Процес вторинного освітлення протікає під час керованого охолодження розплавленої скломаси, коли відбувається зворотне поглинання бульбашок, що залишилися, яке призводить до зменшення розміру бульбашок або повного розчинення бульбашок.

Оскільки в'язкість за високих температур низька, а освітлювачі розкладаються за температур, які перевищують температуру початку освітлення, процес первинного освітлення протікає у зонах найвищих температур у скловарній ванній печі.

Вивільнення освітлювальних газів, необхідне для протікання процесу первинного освітлення, залежить від температури, вмісту освітлювача у шихті та розплаві і ступеня окиснення. Освітлювачі додаються до сировинної шихти і, як правило, розчиняються у розплавленій скломасі. За підвищених температур (вище температур, за яких була розплавлена шихта) освітлювач повинен розкластися і утворити газоподібні продукти дисоціації (O_2 , SO_2), або ж освітлювач може випаровуватися з розплаву (з утворенням парів, які дифундують в існуючі бульбашки/мошку). Найбільш поширеним освітлювачем, що застосовується у скляній промисловості, є сульфат натрію, при розкладанні якого утворюються гази SO_2 та O_2 . До інших освітлювачів належать оксиди миш'яку та сурми, з яких утворюється газоподібний кисень, або хлорид натрію, з якого утворюються пари NaCl . Для того, щоб при освітлюванні міг вивільнитися газоподібний кисень, миш'як та сурма повинні бути присутні у розчині в максимально окисненому стані; у деяких випадках з цією метою у суміш шихти потрібно додати нітрати.

Ступінь окиснення (стан окиснення-відновлення) визначає валентність багатовалентних іонів у розплаві та скляній продукції. Валентність важлива не лише для процесу освітлення, а й для визначення кольору скла, оскільки багатовалентні іони, такі як хром, залізо, мідь та сірка, можуть забарвлювати скло у певний колір залежно від їх валентності. Стан окиснення-відновлення скляного розплаву можна змінити за допомогою нітратів та сульфатів (окиснювачів) або вуглецю (відновлювача).

Вибір освітлювача (для хімічного освітлення) залежить від типу скла, що виготовляється. Деякі види скла не повинні містити сульфатів (таким є скло для дисплеїв) або потребують таких освітлювачів, з яких освітлювальні гази вивільняються лише за дуже низьких (скло, що видувається вручну) або дуже високих температур (у випадках, коли в'язкість достатньо низька – зазвичай $<50 \text{ Па}\cdot\text{с}$). Крім того, вибір освітлювачів залежить від ступеня окиснення, за якого потрібно варити скло для отримання потрібного кольору; деякі освітлювачі діють лише в дуже сильних окисних умовах. Таким чином, вибір освітлювачів залежить від температури у розплаві, стану окиснення-відновлення скла та екологічних міркувань. Освітлення за допомогою сульфатів зазвичай протікає за температур понад 1300°C у більшості вапняно-натрієво-силікатних скляних розплавів, залежно від стану окиснення-відновлення шихти (наприклад, залежно від присутності та вмісту сульфатів і вуглецю в рецептурі шихти).

При зміні атмосферних умов у печі – наприклад, після переходу печі з повітряного обігрівання на кисневе обігрівання – часто потрібно скоригувати склад шихти.

У якості освітлювача найчастіше використовується сульфат натрію – особливо для таких типів скла, як звичайне плоске скло, більшість видів тарного скла, вапняно-натрієво-силікатне скло для столового посуду, скловолокно з безперервних ниток (алюмоборосилікатне безлугове скло – скло Е) та вапняно-натрієво-силікатне скло для освітлювальних приладів. Сульфат натрію розкладається на оксид натрію (який включається до складу скла) та газоподібні оксиди сірки і газоподібний кисень, який може поглинатися склом або викидатися з відхідними пічними газами.

Для покращення гомогенізації розплавленої скломаси у неї можна підводити бульбашки пари, кисню, азоту або, частіше, повітря за допомогою обладнання, встановленого на дні ванної печі. Це сприяє циркуляції та перемішуванню скла і покращує теплообмін. У деяких процесах – наприклад, при виробництві оптичного скла – можуть використовуватися механічні мішалки, встановлені у скловарній ванній печі, у виробничій зоні або у живильниках, для досягнення необхідного високого ступеня однорідності. У невеликих печах (особливо для виробництва спеціального скла) може використовуватися ще одна технологія, відома як очищення: вона полягає у підвищенні температури скла, завдяки чому воно стає менш в'язким, і бульбашки легше піднімаються на поверхню.

Максимальні температури склепіння у скловарних печах такі: для тарного скла – 1600°C , для плоского скла – 1620°C , для спеціального скла – 1650°C , для скловолокна з безперервних ниток – 1650°C і для скловати – близько 1400°C (проте можуть бути вищими) [103, Беркенс (Beerkens), «Освітлення скла. Бор» (Fining glass. Boron), 2008].

Стан окиснення-відновлення скла

Як уже було зазначено вище, стан окиснення-відновлення скла є важливим технологічним аспектом процесу варіння скла, який впливає на етап освітлення скляного розплаву, колір скла та його характеристики поглинання інфрачервоного випромінювання (поглинання тепла).

Стан окиснення-відновлення скла часто вимірюється шляхом визначення рівноважного тиску кисню (p_{O_2}) у розплаві (парціальний тиск у рівновазі з розчиненим киснем). Об'єм розчиненого кисню у розплаві залежить головним чином від присутності та кількості окиснювачів (які є джерелом кисню) або відновлювачів (які реагують з киснем і поглинають його) у рецептурі шихти. З-поміж окиснювачів найважливішими є сульфати, нітрати та багатовалентні іони у максимально окисненому стані (наприклад, Fe_2O_3 , Sb_2O_5 , As_2O_5 , SnO_2 , CeO_2). Типовими відновлювачами є органічні сполуки (присутні головним чином у привізному скляному бої), вуглець, сульфід та відновлені форми багатовалентних іонів.

Відмінність у стані окиснення-відновлення розплаву може призвести до суттєвої зміни кольору скла. Наприклад, присутність окису заліза (Fe^{3+}) надає склу жовтувато-коричневий колір, а присутність закису заліза (Fe^{2+}) – синювато-зелений колір.

Стан окиснення-відновлення та присутність у розплаві певних багатовалентних іонів може вплинути на кількість тепла, що поглинається склом, і, відповідно, на процес варіння та формування.

Для виробництва кількох типів скла необхідні окисні умови, тому у рецептурі шихти повинні бути присутні додаткові окиснювачі, такі як нітрати або надлишок сульфатів.

Якщо у шихті використовується призначений для переробки привізний скляний бій, який містить скло, зварене у відновлювальних умовах (наприклад, бурштинове скло), або органічні забруднювачі (рештки харчових продуктів та/або напоїв, папір, пластик), для підтримання або виправлення кольору скла та надання рецептурі шихти належних освітлювальних властивостей часто потрібно забезпечити надлишок окиснювача.

Для виготовлення інших видів скла, таких як бурштинове скло та спеціальні види зеленого скла, потрібні відновлювальні умови. У цих випадках сильно окиснена атмосфера у печі може несприятливо вплинути на колір скла.

Умови варіння скла, за яких стан окиснення-відновлення скла стає мінливим, часто призводять до значного посилення переходу речовин у скловарній печі в легкий стан, а це, у свою чергу, потенційно може збільшити викиди твердих часток та газоподібних речовин. Це явище може бути особливо помітне для викидів оксидів сірки. Відновлення на поверхні скляного розплаву під дією відновлювального полум'я може посилити випаровування лугів (посилена корозія матеріалів верхньої будови печі) та збільшити вміст пилу в димових газах.

Кондиціонування

Етап кондиціонування за нижчих температур протікає після етапів варіння та освітлення скла. У ході цього процесу всі розчинні бульбашки, що залишилися, знову поглинаються розплавом. Водночас розплав повільно охолоджується до робочої температури від 900 до 1350 °C.

При порційному варінні скла ці кроки виконуються один за одним, проте у печах безперервної дії етапи варіння скла протікають одночасно у різних місцях ванної печі. Шихта завантажується з одного кінця ванної печі і проходить через різні зони у ванній печі та каналі живильника, де протікає первинне варіння, освітлення та кондиціонування. Процес освітлення у печі безперервної дії є найбільш тонким з етапів варіння скла.

Скло не проходить через ванну піч по прямій лінії від завантажувача шихти (отвору завантажувальної кишені) до протоку та живильників або каналів, де скло нагрівається до типової робочої температури / температури формування. Натомість скло відхиляється, рухаючись у ванній печі різними можливими траєкторіями, залежно від потоків, що виникають під дією вільної конвекції та примусової конвекції, включно з рециркуляційними потоками та нерухомими областями розплаву (застійними зонами). Купа шихти, або холодна суміш сировини, плавиться не лише на поверхні, а й знизу під дією ванни розплавленої скломаси. Під нижнім шаром шихти утворюється порівняно холодне скло з бульбашками, яке стікає на дно ванної печі. Належні конвекційні течії повинні виносити цей матеріал на поверхню, оскільки освітлення у ванних печах відбувається головним чином на поверхні розплаву, де бульбашки для виходу з розплаву повинні підніматися лише на невелику відстань. Якщо теплові течії рухаються надто швидко, вони перешкоджають освітленню, надто рано виносячи скло у зону кондиціонування. Для створення ідеальних шляхів течії скломаси у внутрішню структуру ванної печі можна вбудувати напрямні стінки або перегородки.

2.3 Технології варіння скла

[19, CPIV, 1998]

У цьому розділі підсумовані найважливіші технології варіння скла, що використовуються у скляній промисловості. У секторах виробництва кам'яної вати та фрит використовуються різні технології, які окремо розглядаються у відповідних розділах для кожного сектора. Вибір технології варіння скла залежить від багатьох чинників, проте особливо від необхідної потужності, рецептури скла, цін на паливо, існуючої інфраструктури та екологічних показників. Наприклад, у якості загального орієнтиру (у якого неминуче є винятки), зазвичай застосовуються наведені нижче критерії.

- На установках великої потужності (>500 т/добу) майже завжди використовуються регенеративні печі з поперечним полум'ям.
- На установках середньої потужності (від 100 до 500 т/добу) переважно використовуються регенеративні печі з підковоподібним полум'ям, хоча, залежно від обставин, також можуть використовуватися регенеративні, рекуперативні

скловарні агрегати з поперечним полум'ям, а у деяких випадках киснево-паливні або електричні скловарні печі.

- На установках малої потужності (від 25 до 100 т/добу) зазвичай використовуються рекуперативні скловарні агрегати, регенеративні печі з підковоподібним полум'ям, електричні скловарні печі та киснево-паливні скловарні печі.

У Таблиці 2.3 наведена оцінка різних типів печей, що існують у ЄС, з зазначеною кількістю та потужністю печей кожного типу.

Таблиця 2.3. Оцінка типів печей у ЄС станом на 2005 рік (для установок продуктивністю >20 т/добу)

Тип печі	Кількість печей	% від загальної кількості	Продуктивність варіння скла (т/рік)	Середня продуктивність варіння скла (т/добу)
З підковоподібним полум'ям	225	35,8	16 100 000	196
З поперечним полум'ям	145	23,1	20 300 000	384
Електричні	43	6,85	800 000	51
Кисневі	35	5,6	1 600 000	125
Рекуперативні	120	19,1	3 300 000	75
Інші типи	60	9,55	900 000	41
Усього	628	100	43 000 000	188

Джерело: [130, CPIV, 2008]

Скловарні печі зазвичай розраховані на варіння великих об'ємів скла протягом типового терміну служби у 10 – 12 років, а у деяких випадках – до 20 років і більше; їх продуктивність варіюється від 20 до 1 000 тонн скла на добу. Скло розміщується у ванній печі, яка побудована з блоків належного вогнетривкого матеріалу, зазвичай має у цілому прямокутну форму і закрита куполоподібною стелею або склепінням. Електричні печі тяжіють до більш квадратної форми з плоскою стелею і відкриті з одного боку для доступу шихти. Вогнетривкі блоки утримуються в потрібному положенні зовнішнім сталевим каркасом. Використовується багато конструкцій печей, які зазвичай розрізняють за способом нагрівання, застосованою системою підігрівання повітря, що подається для згорання, та розташуванням пальників.

Виробництво скла – це дуже енергоємний вид діяльності, і вибір джерела енергії, технології нагрівання та методу використання відхідного тепла має центральне значення для конструкції печі. Вибір цих же особливостей є одним із найважливіших чинників, що впливають на екологічні показники та енергоефективність операції варіння скла. Трьома основними джерелами енергії для виробництва скла є природний газ, мазут та електроенергія. У першій половині ХХ сторіччя багато виробників скла використовували генераторний газ, що утворювався в результаті реакцій повітря та води з вугіллям за температур розжарювання.

Природний газ усе ширше застосовується у скляній промисловості завдяки своїй економності, високій чистоті, простоті керування, а також завдяки тому, що для нього не потрібно споруджувати сховища. У порівнянні з мазутом, він призводить до менших викидів діоксиду сірки та CO₂, проте часто призводить до більших викидів NO_x.

У галузі прийнято вважати, що мазутне полум'я, яке випромінює більше енергії, ніж газове полум'я, забезпечує кращу теплопередачу до розплаву. Крім того, якщо порівнювати газове та мазутне опалення, різна теплоємність відповідних відхідних газів означає різні втрати енергії з димовими газами. З іншого боку, різні типи мазуту, що використовуються у процесі варіння скла, потрібно підігрівати до 110 – 120 °С, аби в'язкість палива стала достатньо низькою для його передавання, транспортування та вприскування (розпилення) через форсунки пальника. У багатьох великих печах є обладнання для роботи як на природному газі, так і на мазуті. Для переходу на інший тип палива просто потрібно замінити самі пальники. У багатьох випадках договори на постачання газу укладаються на умовах переривчастого постачання у період пікового споживання, тож виникає необхідність переведення об'єкта на інший вид палива. Основною причиною переходу з газу на мазут і навпаки є існуюче співвідношення цін на паливо. Для покращення керування підведенням тепла у печах, які працюють переважно на газу, на одному або кількох вльотах нерідко спалюють мазут. Крім того, все більшого поширення набуває використання суміші мазуту та газу; у цьому випадку використовується один належний пальник.

Третім поширеним джерелом енергії для виробництва скла є електроенергія. Електроенергія може використовуватися як єдине джерело енергії або у поєднанні з викопними видами палива; це питання детальніше розглядається в інших відповідних розділах цього документа. Електроенергія може використовуватися для підведення енергії у три основні способи: нагрівання опором, за якого струм проходить через розплавлену скломасу; індукційне нагрівання, за якого тепло утворюється під дією змін в навколишньому магнітному полі; та використання нагрівальних елементів. Нагрівання опором – це єдина технологія, яка увійшла до комерційного вжитку у скляній промисловості, і це єдина технологія, яка розглядається у цьому документі.

2.3.1 Регенеративні печі

[19, CPiV, 1998], [2, Міністерство охорони навколишнього середовища Великої Британії, 1991]

Термін «регенеративний» означає вид системи використання відхідного тепла, що використовується у виробництві скла. Пальники, що працюють на викопному паливі, зазвичай розташовані в отворах для підведення повітря, що надходить у зону горіння / отворів для виходу відхідних газів або під ними. Тепло, що міститься у відхідних газах, використовується для підігрівання повітря перед спалюванням. Цього досягають шляхом пропускання відхідних газів через камеру, що містить вогнетривкий матеріал, який поглинає тепло. У печі одночасно горить лише один з двох наборів пальників. Через заданий час – зазвичай 20 хвилин – напрямок циклу згорання у печі змінюється на зворотний, і повітря для згорання пропускається через камеру, попередньо нагріту відхідними газами. У регенеративній печі є дві регенераційні камери: поки одна камера нагрівається відхідними газами, що надходять від процесу згорання, інша камера підігріває повітря, що подається для згорання. Типові температури підігрівання повітря (залежно від кількості вльотів) зазвичай знаходяться в межах 1200 – 1350 °C, а іноді досягають 1400 °C.

На Рисунку 2.1 схематично зображена регенеративна піч з поперечним полум'ям.

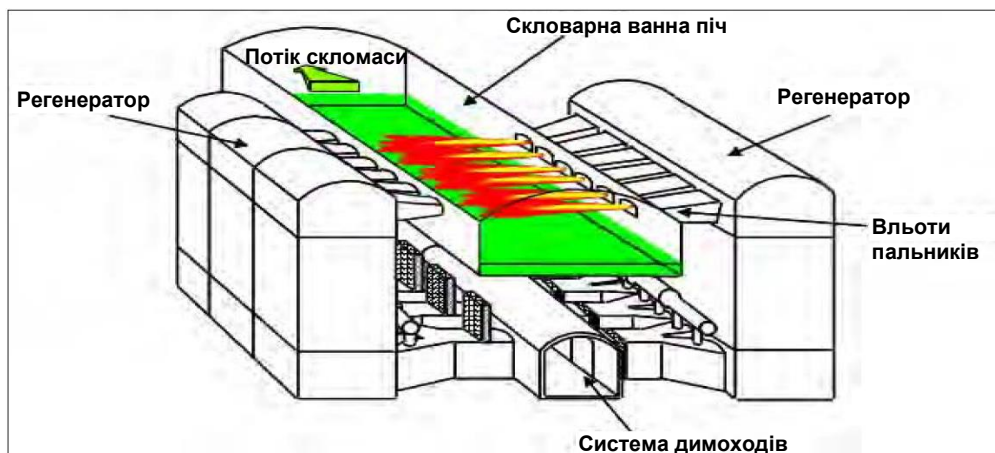


Рисунок 2.1. Регенеративна піч з поперечним полум'ям

У регенеративній печі з поперечним полум'ям вльоти системи згорання та пальники розташовані уздовж боків печі, а регенераційні камери розташовані з одного боку печі і сполучені з піччю через горловини вльотів. Полум'я проходить над розплавом безпосередньо у протилежні вльоти. Кількість вльотів, що використовуються, – до восьми вльотів – залежить від розміру і потужності печі та її конкретної конструкції. У деяких великих печах можуть бути відділені регенераційні камери для кожного вльоту пальника.

Цей тип конструкції, у якому ефективно використовується велика кількість пальників, особливо добре підходить для великих установок, даючи змогу створювати різницю температур по довжині печі, необхідну для появи потрібних конвекційних течій у скляному розплаві.

На Рисунку 2.2 зображено поперечний переріз регенеративної печі.

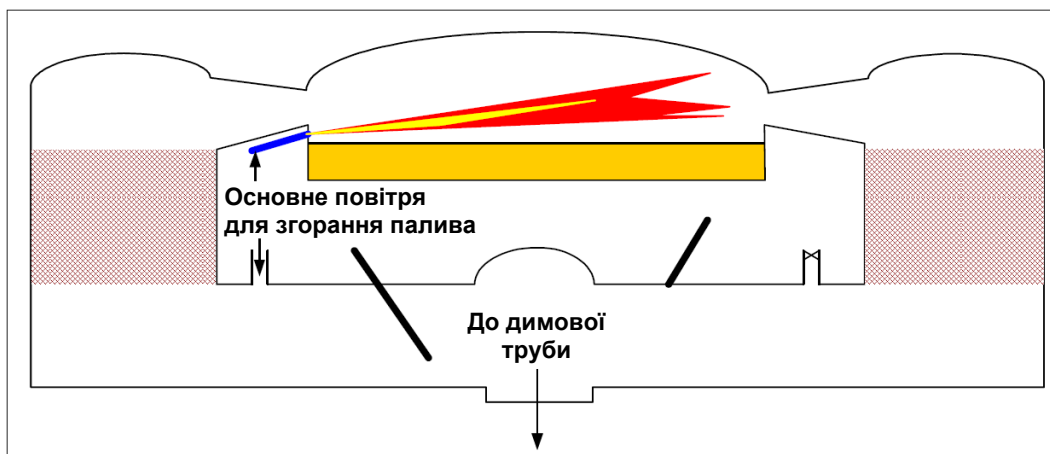


Рисунок 2.2. Поперечний переріз регенеративної печі

Регенеративна піч з підковоподібним полум'ям працює за тим же принципом, проте у ній дві регенераційні камери розташовані на одному кінці печі, і у кожній з них передбачене по одному вльоту. Полум'я проходить по U-подібній траєкторії, повертаючись у сусідню регенераційну камеру через другий вліт. Така конструкція дає змогу реалізувати дещо більш економічну регенераційну систему, ніж конструкція з поперечним полум'ям, проте температурний профіль печі не так гнучко регулюється, тому ця конструкція рідше використовується у великих печах.

У цілому, печі з підковоподібним полум'ям більш енергоефективні, ніж печі з поперечним полум'ям, з двох основних причин: по-перше, в них менше вльотів пальників, а отже, менші втрати енергії через вльоти, які можуть бути досить великими, а по-друге, час перебування газоподібних продуктів згорання у печі з підковоподібним полум'ям більший, ніж у печі з поперечним полум'ям, тож полум'я протягом довшого часу випромінює енергію у шар шихти та скляний розплав.

На Рисунку 2.3 схематично зображена однопрохідна регенеративна піч з підковоподібним полум'ям.

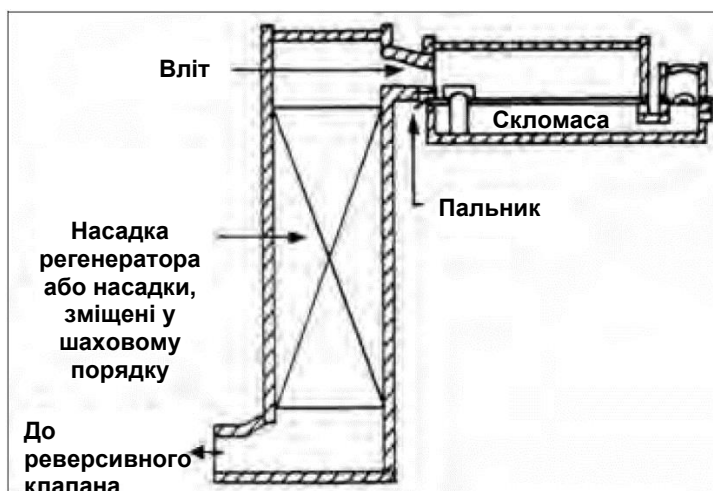


Рисунок 2.3. Однопрохідна регенеративна піч з підковоподібним полум'ям

На Рисунку 2.4 зображена регенеративна піч з підковоподібним полум'ям, вигляд у плані.

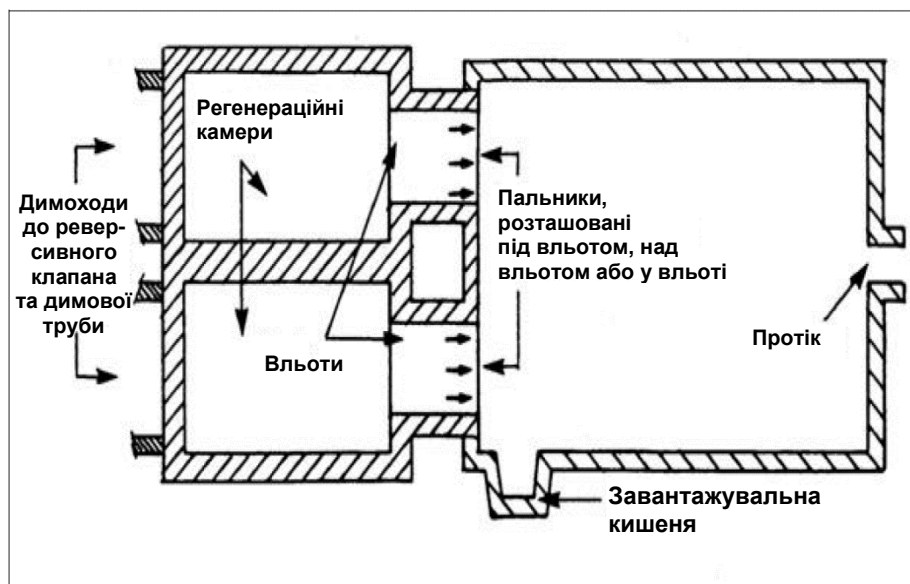


Рисунок 2.4. Регенеративна піч з підковоподібним полум'ям: вигляд у плані

На більшості традиційних заводів з виробництва тарного скла використовуються регенеративні печі з підковоподібним полум'ям або з поперечним полум'ям, а всі печі для виробництва флоат-скла мають конструкцію регенеративної печі з поперечним полум'ям. Температури підігрівання зазвичай знаходяться у діапазоні 1300 – 1350 °С, а іноді досягають вищих значень – до 1400 °С, і таким чином забезпечують дуже високий термічний ККД.

2.3.2 Традиційна рекуперативна піч

[19, СРІV, 1998]

Рекуператор – це ще один поширений різновид системи використання відхідного тепла, який зазвичай використовується у невеликих печах. У цьому типі конструкції вхідне холодне повітря опосередковано підігрівається безперервним потоком відхідних газів через металевий (або у виняткових випадках керамічний) теплообмінник. Температури підігрівання повітря обмежуються значеннями близько 800 °С для металевих рекуператорів, тож кількість тепла, що регенерується за допомогою цієї системи, менша, ніж у випадку регенеративної печі. Нижча безпосередня енергоефективність може компенсуватися додатковими системами використання відхідного тепла, що працюють на відхідних газах і використовуються для підігрівання сировини або виробництва пару. Проте одним із наслідків є те, що питома продуктивність варіння скла у традиційних рекуперативних печах обмежується 2 тоннами/м²/добу у порівнянні з типовим значенням 3,2 тонни/м²/добу для регенеративної печі у секторі виробництва тарного скла. Цю нестачу продуктивності варіння скла можна частково компенсувати використанням електричного форсування.

Хоча початково скловарні агрегати (або печі прямого нагрівання) не завжди були обладнані рекуператорами, зараз це стало правилом, і термін «скловарний агрегат» став синонімом традиційної рекуперативної печі. Пальники розташовані уздовж кожного боку печі. Утворені структури конвективних потоків в оптимальному варіанті виносять гарячі газоподібні продукти згорання на поверхню порівняно холодного шару шихти, перш ніж гази вийдуть з камери згорання через випускний виліт. Це забезпечує максимальну теплопередачу до шихти та скляного розплаву.

Цей тип печі використовується в першу чергу тоді, коли потрібно забезпечити високу гнучкість роботи печі з мінімальними початковими капітальними витратами, особливо у випадках, коли масштаб діяльності надто малий, щоб було економічно вигідно використовувати регенератори. Рекуперативні печі краще підходять для установок малої потужності, хоча нерідко зустрічаються і печі більшої потужності (до 400 тонн на добу).

Печі спеціальної конструкції, як-от скловарні печі LoNO_x® та Flex®, також є печами рекуперативного типу з різними додатковими функціями, які докладніше описані у розділі 4.4.2.3.

2.3.3 Киснево-паливне варіння скла

Суть цієї технології полягає в тому, щоб замінити повітря, яке подається для згорання, киснем (зі ступенем чистоти (>90 %)). Завдяки зникненню з атмосфери згорання більшої частки азоту зменшується об'єм відхідних газів, які майже повністю – приблизно на дві третини – складаються з вуглекислого газу та водяної пари. Це дає змогу заощадити енергію, оскільки зникає необхідність нагрівати атмосферний азот до температури полум'я. Значно скорочується утворення термічних оксидів азоту NO_x, оскільки єдиний азот, що присутній в атмосфері згорання – це залишковий азот у складі кисню, азот у паливі, азот, що утворюється в результаті розпаду нітратів, та азот з підсмоктаного повітря, якщо воно присутнє.

Киснево-паливні печі загалом мають таку ж базову конструкцію, як і скловарні агрегати, і обладнані кількома боковими пальниками та одним вильотом для виходу відхідних газів. Проте у печах, розрахованих на спалювання кисню, не застосовуються системи використання відхідного тепла для підігрівання кисню, що подається на пальники.

Хоча технологія киснево-паливного варіння скла добре відпрацьована у деяких секторах скляної промисловості (наприклад, у виробництві скловолокна з безперервних ниток та деяких типів спеціального скла), в інших секторах вона досі вважається технологією, що перебуває на етапі розробки, оскільки з нею пов'язані потенційно високі фінансові ризики. Проте наразі тривають ґрунтовні роботи з її розробки, і зі збільшенням кількості заводів ця технологія набуває ширшого вжитку. Ця технологія детальніше розглядається у розділі 4.4.2.5.

2.3.4 Електричне варіння скла

[19, CPIV, 1998], [9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03, 1996], [2, Міністерство охорони навколишнього середовища Великої Британії, 1991], [71, VDI 3469-5, 2007]

Основою електричної печі є короб з вогнетривкою футеровкою, опорою якого слугує сталева рама, і у який збоку, зверху або – найчастіше – знизу печі вставлені електроди. Енергія для варіння скла підводиться за рахунок нагрівання опором при проходженні струму крізь розплавлену скломасу. Проте при запуску печі на початку кожної кампанії необхідно використовувати викопне паливо. Піч працює безперервно, а її термін служби становить від 2 до 7 років. Розплавлена скломаса зверху вкривається шаром шихти, яка поступово плавиться знизу вгору, тому ця піч називається скловарною піччю «з холодним склепінням». Свіжа шихта вноситься через верх печі, зазвичай за допомогою конвеєрної системи, яка рухається через всю поверхню печі. Більшість електричних печей оснащені системами рукавних фільтрів, зібраний якими матеріал повертається назад у скловарну піч для переробки.

Ця технологія широко застосовується у невеликих печах, особливо для виробництва спеціального скла. Це зумовлено головним чином тим, що термічний ККД печей, які працюють на викопному паливі, знижується зі зменшенням розміру печі, і втрати тепла на тонну розплаву для невеликих печей можуть бути досить високими. У порівнянні з такими печами, теплові втрати з електричних печей набагато менші, і тому для невеликих печей різниця у собівартості варіння скла при електричному нагріванні та нагріванні за допомогою викопного палива менша, ніж для великих печей. Серед інших переваг електричного варіння скла для невеликих печей – менші витрати на модернізацію, порівняно проста експлуатація та кращі екологічні показники з точки зору безпосередніх викидів. Втім, у повній економічній та екологічній оцінці слід враховувати опосередковані викиди.

Рентабельність електричних печей обмежена максимальним граничним розміром печі, який тісно пов'язаний з поточною вартістю електроенергії у порівнянні з викопним паливом. У електричних печах зазвичай можна досягти більшої інтенсивності плавлення

на квадратний метр печі, а термічний ККД електричних печей (який залежить від енергії, що підводиться до печі, а не від первинної енергії, потрібної для виробництва електроенергії) у два-три рази більший, ніж для печей, що працюють на викопному паливі.

Проте у випадку великих печей цього зазвичай недостатньо для компенсації більших витрат на електроенергію.

Завдяки відсутності згорання при електричному варінні скла об'єми утворених відхідних газів надзвичайно малі, а це означає, що кількість винесених твердих часток мала, і вторинне обладнання для зниження викидів, якщо воно є, може бути меншого розміру. Викиди летких компонентів шихти значно нижчі, ніж зі звичайних печей, завдяки менш інтенсивному потоку скла та поглинанню і реагуванню газоподібних викидів у шарі шихти. Основним газоподібним викидом є вуглекислий газ, що утворюється з вуглецевих матеріалів у складі шихти.

Проте у глобальному контексті переваги для навколишнього середовища, пов'язані з використанням електричного варіння скла, слід зіставляти з викидами, що утворюються на електростанції, та ККД виробництва і розподілу електроенергії.

При електричному варінні скла ускладнення виникають через використання у шихті нітрату натрію або нітрату калію. У скляній промисловості загалом вважається, що нітрати потрібні в електричних печах з холодним склепінням, щоб створювати необхідні окисні умови для забезпечення стабільного, безпечного та ефективного виробничого процесу. Проблема нітратів полягає в тому, що вони розпадаються у печі, виділяючи оксиди азоту.

Це стосується не всіх видів скла, які виготовляються в електричних печах. Наприклад, у рецептурі високотемпературного ізоляційного скловолна (алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна – ASW/RCF та волокна на основі силікатів лужно-земельних металів – AES) не потрібно використовувати нітрати.

2.3.5 Комбіноване варіння скла на викопному паливі та електроенергії

[19, CPIV, 1998], [9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03, 1996]

Існує два головні підходи до використання цієї технології: нагрівання переважно за рахунок спалювання викопного палива з електричним форсуванням або переважно електричне нагрівання, яке підтримується викопним паливом. Звісно, частка кожного типу відведення тепла може різнитися для кожної технології.

Електричне форсування – це метод локального підведення додаткового тепла до скляного розплаву у скловарній печі шляхом пропускання електричного струму через електроди, розташовані в бокових стінках (горизонтальні електроди) або через дно ванної печі (вертикальні електроди). У більшості випадків використовуються стержневі електроди, проте у скляній промисловості також застосовуються пластинчасті електроди. У скляній промисловості ця технологія поширена в печах, що працюють на викопному паливі. Вона традиційно використовується для збільшення пропускної здатності печі, що працює на викопному паливі, відповідно до періодичних коливань попиту без постійних витрат на експлуатацію великої печі. Обладнання, потрібне для цієї технології, можна встановлювати під час роботи печі, і технологія часто використовується для підтримання питомого знімання скломаси з печі на потрібному рівні, коли термін експлуатації печі добігає кінця, або для підвищення потужності існуючої печі.

Електричне форсування також можна використовувати для зниження безпосередніх викидів з печі, замінюючи спалювання палива електричним нагріванням для заданого питомого знімання скломаси. Зазвичай за рахунок електричного форсування забезпечується від 5 до 20 % загальної підведеної енергії, хоча можна досягти й вищих показників. Проте інтенсивне електричне форсування не використовується як довготерміновий спосіб нагрівання на базовому рівні виробництва, оскільки з ним пов'язані великі експлуатаційні витрати. Електричне форсування змінної інтенсивності часто використовується у виробництві кольорового скла, оскільки у зеленому та бурштиновому склі тепло погано передається випромінюванням. У випадку електричного

форсування електроди підводять додаткове тепло, особливо у нижні шари скляного розплаву в ванній печі.

Менш поширеною технологією є використання газу чи мазуту у якості допоміжного палива для печей, які у цілому нагріваються електроенергією. При цьому на поверхні шихти просто запалюється полум'я, яке додатково нагріває матеріал, сприяючи його плавленню. Цю технологію іноді називають гострим дуттям, і вона часто використовується для подолання деяких експлуатаційних труднощів, які виникають при 100%-во електричному варінні скла.

2.3.6 Періодичне порційне варіння скла

[22, Schott, 1996]

У випадках, коли потрібно виготовляти невеликі об'єми скла, особливо якщо рецептура скла регулярно змінюється, може бути економічно не вигідно експлуатувати піч безперервної дії. У таких випадках використовуються горшкові печі або ванні печі періодичної дії, у яких варяться окремі порції сировини. Більшість скловарних процесів цього типу не входять до сфери контролю Директиви, оскільки в них продуктивність варіння скла у більшості випадків менша, ніж 20 тонн на добу. Проте у секторах виробництва сортового скла та спеціального скла є ряд прикладів, коли такі печі працюють з продуктивністю вище цього рівня – особливо у випадках, коли на одній і тій же установці виконується більш ніж один вид діяльності.

У горшковій печі внутрішні стінки зазвичай виготовлені з вогнетривкої цегли, куполоподібне склепіння – з силікатної цегли, а зовнішні стінки – з ізоляційної цегли. По суті, горшкова піч складається з нижньої частини, у якій підігрівається повітря для горіння (за допомогою регенеративної або рекуперативної системи), та верхньої частини, у якій розташовані вльоти, і яка слугує плавильною камерою. У верхній частині передбачено від шести до дванадцяти вльотів з вогнетривкої глини, у яких можна варити різні типи скла.

Існує два види горшків: горшки відкритого типу та горшки закритого типу. Горшки відкритого типу не мають кришок, і скло вільно контактує з атмосферою печі. Горшки закритого типу повністю закриті кожухом, і єдиним отвором у них є набірне вікно. У горшках відкритого типу керування температурою здійснюється шляхом регулювання горіння в печі; у горшках закритого типу горіння протікає з однаковою інтенсивністю, і температура регулюється шляхом відкривання або закривання набірного вікна. Потужність кожного горшка зазвичай знаходиться в межах 100 – 500 кг, а термін служби складає від 2 до 3 місяців за безперервної роботи.

Піч гріється цілодобово щодня, проте температура в ній змінюється (температура скла – лише для горшків закритого типу) залежно від фази виробничого циклу. Шихта зазвичай завантажується у горшки під вечір і плавиться ввечері; за ніч температура збільшується для освітлення розплаву, тож наступного ранку скло можна обробити. Під час варіння скла температура досягає рівня від 1300 до 1600 °C, залежно від типу скла, а під час виймання та обробки скла температура в печі знаходиться в межах 900 – 1200 °C.

Ванні печі періодичної дії є наступним ступенем розвитку горшкових печей і мають більшу потужність – в районі 10 тонн на добу. Конструктивно вони більше нагадують чотирикутний традиційної печі, проте так само заповнюються новою порцією шихти щодня. Скло зазвичай вариться вночі і надходить у виробництво наступного дня. Вони дають змогу в будь-який момент змінювати тип скла, що вариться в печі, і використовуються головним чином для виробництва кольорового скла, кришталевого скла, легкоплавких видів спеціального скла та фрит (керамічних та емалевих фрит).

2.3.7 Спеціальні конструкції печей

[59, SORG 1999], [60, SORG 1999]

Увага до зниження викидів NO_x спонукала деяких проєктувальників печей запропонувати печі у вигляді скловарних агрегатів, у яких поєднані різні функції, які дають змогу використовувати нижчі температури полум'я. Найвідомішою з печей цього типу є скловарний агрегат LoNOX[®].

Скловарний агрегат LoNO_x ® – це піч рекуперативного типу, у якій поєднується освітлення у мілкій ванні та підігрівання сировини для досягнення нижчих рівнів NO_x – потенційно за рахунок нижчих теплових характеристик. У освітлювачі з мілкою ванною критичний струм, який має велике значення, змушений проходити по траєкторії, що пролягає поблизу поверхні скломаси: це зменшує перепад температур між поверхнею скломаси та верхньою будовою печі. Така піч може працювати за нижчих температур, ніж традиційна піч з такими ж характеристиками. Ця технологія більш вичерпно описана у розділі 4.4.2.3.

Ще однією конструкцією печі є скловарний агрегат Flex® , що представлений на ринку головним чином як альтернатива горшковим печам та ванним печам періодичної дії. Він працює на поєднанні електроенергії та природного газу: у результаті отримуємо компакту піч з низькими робочими температурами та малим споживанням енергії. Піч розділена на варильну зону та зону освітлення, сполучені протоком. Зона освітлення складається з невисокого порогу, після якого йде заглиблена ділянка. Варильна частина нагрівається електроенергією, а зона освітлення нагрівається газом, проте на її вході додатково можуть бути присутні електроди. Відхідні гази з зони освітлення проходять через варильну зону і над шихтою. Кілька низьких арок не дозволяють випромінюванню з гарячої ділянки печі потрапити у холодніші ділянки: завдяки цьому велика частка енергії, що міститься у відхідних газах, передається шихті.

Розділення варильної зони та зони освітлення є запорукою гнучкості роботи печі. Під час періодів простою температури знижуються, і процеси переходу у легкий стан в результаті освітлення стають менш інтенсивними. У печі не потрібно влаштовувати випуск, а завдяки малому об'єму скла нормальна робоча температура швидко відновлюється. Малий об'єм також допомагає швидше змінювати склад скла.

2.4 Тарне скло

[19, CPiV, 1998], [2, Міністерство охорони навколишнього середовища Великої Британії, 1991]

У цьому розділі йдеться про виробництво пакувального скла на основі вапняно-натрієвих та модифікованих вапняно-натрієвих рецептур за допомогою повністю автоматизованих технологічних процесів. Виготовлення інших виробів розглядається у розділах, присвячених секторам сортового та спеціального скла. Типовий склад тарного скла наведено у Таблиці 2.4 нижче. З огляду на розмаїття цього сектора майже всі технології варіння скла, описані у розділі 2.3, зустрічаються у виробництві тарного скла.

Таблиця 2.4. Типовий склад тарного скла

Компонент	Відсоток за масою
Оксид кремнію (SiO_2)	71 – 73
Оксид натрію (Na_2O)	12 – 14
Оксид кальцію (CaO)	9 – 12
Оксид магнію (MgO)	0,2 – 3,5
Оксид алюмінію (Al_2O_3)	1 – 3
Оксид калію (K_2O)	0,3 – 1,5
Триоксид сірки (SO_3)	0,05 – 0,3
Модифікатори кольору, тощо	Слідова кількість

Найважливішими параметрами, які потрібно враховувати при проєктуванні технологічного процесу, є: тип та потужність печі (включно з регенераторами), набір доступних джерел енергії (мазут, газ, електрика), прогнозне споживання скляного бою та необхідна експлуатаційна гнучкість (різні кольори, вага та форма готових виробів, тощо).

Найбільш типовою і широкоживаною технологією варіння скла у галузі виробництва тарного скла є регенеративна піч з підковоподібним полум'ям, оскільки для таких печей властивий широкий діапазон продуктивності варіння скла та експлуатаційна гнучкість, необхідна для задоволення ринкового попиту та досягнення хорошої енергоефективності. Найчастіше використовуються печі у діапазоні потужності 300 – 350 тонн/добу.

Скляна тара виготовляється за допомогою двоетапного процесу формування з використанням технологій пресування та видування. Автоматичне виробництво пляшок складається з п'яти ключових етапів:

1. отримання шматка скломаси (краплі) належної маси та температури;
2. формування первинної заготовки у першій формі (чорновій формі) за допомогою тиску, що створюється стисненням повітрям (видування) або металевого плунжера (пресування);
3. передавання первинної заготовки (пульки) в кінцеву форму (чистову форму);
4. завершення процесу формування шляхом роздування тари стисненням повітрям до обрисів кінцевої форми;
5. виймання готового виробу для виконання процесів обробки після формування.

Розплавлена скломаса витікає з печі по каналу живильника у збиральну чашу (лоток), розташовану на його кінці. З дна збиральної чаші через отвори належного розміру піднімається кілька (від одного до чотирьох) паралельних потоків скломаси. Ці потоки скломаси, які регулюються механічною плунжерною системою, розрізуються механічними ножицями на відрізки точної довжини: таким чином утворюються прості скляні «краплі» у формі ковбасок. Уся система формування крапель називається «живильним механізмом». Краплі одночасно відрізаються від паралельних потоків скломаси і одночасно формуються у паралельних формах на формувальній машині. Ці машини називаються склоформувальними машинами з одно-, дво-, три- або чотирикрапельним живленням: останній різновид машин розрахований на великосерійне виробництво невеликої тари. Найбільш поширеними є склоформувальні машини з двокрапельним живленням. Печі для виробництва тарного скла подають скломасу на дві і більше таких формувальних машин через окремий канал живильника для кожної машини.

На ножиці розбризкується суміш води та емульсійного масла, аби вони не перегрівалися, і до них не прилипала скломаса. З живильного механізму краплі спрямовуються по системі жолобів у чорнові форми на формувальній машині.

Процес формування виконується у два етапи, як показано на Рисунку 2.5. Початкове формування заготовки може здійснюватися шляхом пресування плунжером або шляхом видування стисненням повітрям, залежно від типу тари. Операція остаточного формування завжди здійснюється шляхом видування для отримання кінцевого порожнистого формованого виробу. Ці два процеси відповідно називаються «пресовидувним формуванням» та «формуванням видуванням». Сформована тара передається на етапи виробництва після формування, що виконуються на конвеєрах безперервної дії. Пресовидувне формування особливо добре підходить для виробництва банок, проте також широко використовуються у виробництві пляшок полегшеного типу. Формування видуванням більш гнучке, і його частіше використовують для виробництва пляшок стандартної ваги та виробів складнішої форми. Спрощені схеми двох основних процесів формування зображені на Рисунку 2.5.

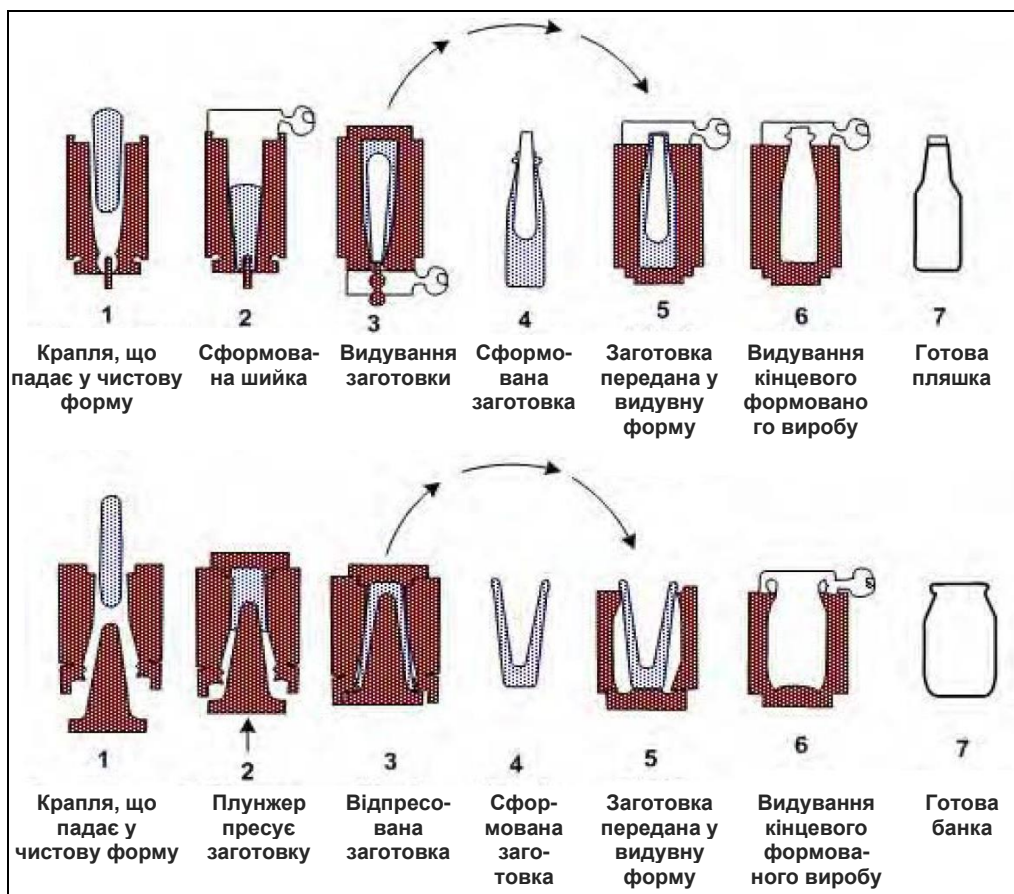


Рисунок 2.5. Формування видуванням та пресовидувне формування

У процесі формування температура скломаси знижується аж до 600 °С, аби тара достатньо затверділа на момент, коли вона буде забрана конвеєром. Тепло відводиться за допомогою великих об'ємів повітря, яке обдуває форми і продувається крізь них. Щоб скломаса не прилипала до модулів, на конкретні деталі форми вручну та автоматично наносяться різні високотемпературні розділові мастила на основі графіту («тампонування»). Форми потребують періодичного чищення та технічного обслуговування.

Потік скломаси з каналу живильника слід підтримувати сталим, щоб підтримувати необхідну температурну стійкість, в'язкість та однорідність скломаси, що подається у процес формування. Якщо процес формування в одній із ділянок переривається, краплі гарячої скломаси відводяться по жолобах до основи, де вони охолоджуються водою, розділяються на фрагменти і повертаються у шихтоскладальний цех разом з усім іншим виробничим браком, який потрібно переробити як технологічний скляний бій.

Перші автоматичні машини були обертової конструкції, і, хоча формувальні машини для виробництва столового посуду досі працюють за цим принципом, тара виготовляється майже виключно на більш гнучких секційних склоформувальних машинах (IS) з лінійним розташуванням секцій. Секційна склоформувальна машина складається з кількох окремих агрегатів для виготовлення тари (секцій), змонтованих в ряд. Кожна секція має кілька гнізд форми, кількість яких відповідає кількості крапель, які потрібно паралельно формувати. Краплі подаються одна за одною на різні секції за допомогою черпаково-жолобної системи (системи розподілу і подавання крапель). Секційні склоформувальні машини зазвичай складаються з 6 – 20 секцій, залежно від об'єму та типу ринку, який вони обслуговують. Однією з головних переваг секційних склоформувальних машин є можливість незалежної зупинки секцій для регулювання або заміни деталей форм.

За допомогою автоматичного процесу виробництва тари можна виготовляти пляшки та банки майже будь-якого розміру, форми та кольору. Чим простіша форма, тим швидший темп виробництва; на 12-секційних склоформувальних машинах з чотирьокрапельним живленням круглі пивні пляшки полегшеного типу виготовляються зі швидкістю до 750 штук/хвилину.

Швидке охолодження зовнішньої поверхні тари створює у склі великі перепади напружень, а відтак робить його крихким. Щоб уникнути цього, тару пропускають крізь відпалювальну піч (лер) безперервної дії, де вони повторно нагрівають до 550 °С, а тоді охолоджуються в контрольованих умовах для запобігання появі додаткових напружень. Лери нагріваються газом або електроенергією, проте після того, як лер нагрівся до робочої температури, основним джерелом енергії, яка забезпечує нагрівання, є тепло від тари, що надходить у лер. Після того, як тара достатньо охолонула, вона проходить автоматичний контроль з автоматичним відбраковуванням виробів, які не відповідають встановленим допускам або мають інші дефекти якості. Після проходження контролю продукція складається на піддони у картонних коробках або навалом, упаковується і надходить на склад, де зберігається до відвантаження замовнику.

Загальна ефективність виробництва вимірюється як коефіцієнт готової до упаковки продукції, тобто відсоткове відношення тоннажу упакованої тари (готової до відвантаження) до тоннажу скла, звареного у печі. На установках, які виготовляють тару для харчових продуктів та напоїв, зазвичай досягається коефіцієнт готової до упаковки продукції від 85 до 94 %. Більш вартісна парфумерна та фармацевтична продукція підлягає більш суворому контролю, а середній коефіцієнт готової до упаковки продукції для неї становить близько 70 %.

Для покращення характеристик продукції на неї можна наносити поверхнєве покриття – відразу після формування, коли вироби все ще нагріті до температури понад 500 °С («нанесення покриття на вході в лер», часто з використанням SnO_2), або після відпалювання («нанесення покриття після виходу з леру», полімерне покриття). Обидва способи обробки – на вході в лер та після виходу з леру – майже завжди застосовуються у поєднанні один з одним. Покриття зазвичай наноситься на зовнішню поверхню тари.

Скляна тара транспортується через різні системи контролю, пакування, розпакування, наповнення та переупакування. Для того, щоб тарні вироби не пошкоджували одне одного і могли ковзати крізь напрямні системи без пошкодження, на виході з відпалювального виробу на вироби може наноситися мастило. З цією метою використовується олеїнова кислота, сумісна з харчовими продуктами, та матеріали на основі поліетилену, які наносяться шляхом розпилювання розбавленої водної суспензії або шляхом контакту виробів з парами. Ці види обробки загалом не створюють значних викидів у навколишнє середовище.

Гарячі поверхнєві покриття – зазвичай дуже тонкий шар оксиду олова або оксиду титану – можуть наноситися на скляну тару відразу після її виходу з формувальної машини. У поєднанні з наступним нанесенням на поверхню холодного мастила це запобігає пошкодженню поверхні скла у ході подальшого транспортування. Покриття з оксиду металу діє як підкладка, яка утримує органічні молекули мастила на поверхні скла, а це дає змогу зробити виріб дуже стійким до дряпання за допомогою простих мастил, сумісних з харчовими продуктами. Обробка на вході в лер також покращує механічну стійкість.

Самі шари покриття повинні бути невидимими, а отже, дуже тонкими. Товщина гарячого поверхнєвого покриття зазвичай становить $<0,01$ мкм. Для створення рівномірного покриття такої товщини воно наноситься шляхом хімічного осадження з газової фази (CVD) з використанням безводних хлоридів олова чи титану або певних металорганічних сполук. При цьому використовується мала кількість матеріалу, порядку 2 – 10 кг/добу на виробничу лінію залежно від швидкості виробництва.

Виготовлена скляна тара у певних випадках може оброблятися у процесах додаткової обробки для додавання оздоблення та ідентифікаційних ознак перед відвантаженням замовнику. Така обробка може виконуватися у вигляді нанесення етикеток, що приклеюються під тиском, чи термоусадних етикеток або керамічного оздоблення, що наноситься під дією тепла.

2.5 Плоске скло

[19, CPIV, 1998]

Строго кажучи, термін «плоске скло» охоплює всі види скла, виконані плоскими,

незалежно від способу їх виробництва. Проте у контексті цього документа він означає продукцію з флоат-скла та прокатного скла. Більшість інших видів плоского скла, що виготовляються у промисловому масштабі, належать до сектору спеціального скла (наприклад, керамічні варильні панелі), або ж масштаб їх виробництва менший, ніж вказані у Директиві 20 тонн/добу. Інші методи виробництва великих кількостей плоского скла для будівельної та автомобільної галузей у Європейському Союзі вважаються застарілими. Ця продукція називається листовим склом та вітринним склом і стисло розглядається у частині 1. Більшість продукції з плоского скла виготовляється за базовими вапняно-натрієвими рецептурами; типовий склад плоского скла наведено у Таблиці 2.5. Флоат-скло та прокатне скло виготовляються майже виключно у регенеративних печах з поперечним полум'ям.

Таблиця 2.5. Типовий склад плоского вапняно-натрієвого силікатного скла

Компонент	Відсоток за масою
Діоксид кремнію (SiO_2)	72,6
Оксид натрію (Na_2O)	13,6
Оксид кальцію (CaO)	8,6
Оксид магнію (MgO)	4,1
Оксид алюмінію (Al_2O_3)	0,7
Оксид калію (K_2O)	0,3
Триоксид сірки (SO_3)	0,17
Мікрокомпоненти (модифікатори кольору та випадкові домішки, що потрапили у скло з сировиною)	Слідова кількість

2.5.1 Процес виробництва флоат-скла

Основний принцип флоат-процесу полягає в тому, що розплавлена скломаса ллється на поверхню ванни з розплавленого олова, і з неї формується стрічка, верхня та нижня поверхні якої стають паралельними під дією сили тяжіння та поверхневого натягу.

Флоат-ванна (басейн) складається зі сталевого корпусу, опорою якого слугує сталевий каркас, і обшита футеровкою з вогнетривкої цегли, усередині якої міститься розплавлене олово. Довжина флоат-ванни – приблизно від 55 до 60 м, а ширина – від 4 до 10 м. Флоат-ванна розділена на 15 – 20 відсіків. Ванна повітронепроникна, і в ній підтримується слабка відновлювальна атмосфера шляхом вприскування суміші азоту та водню. Це необхідно для того, щоб поверхня олова не окиснювалася, інакше це призведе до руйнування вкрай важливої поверхні контакту між склом та оловом. У якості рідини для ванни використовується розплавлене олово, оскільки це єдина рідина, яка залишається рідкою і не створює значного тиску насичених парів у потрібному діапазоні температур.

Розплавлена скломаса витікає з печі по каналу, обшитому вогнетривкою футеровкою, який може нагріватися для підтримання належної температури скла. У кінці каналу скломаса ллється на поверхню олов'яної ванни через спеціальний носик («зливний лоток»), який забезпечує належний розподіл скломаси по поверхні. Керування потоком скломаси здійснюється за допомогою регульованої вогнетривкої підвісної закривки у каналі (передній «шибер»). У місці першого контакту скломаси з оловом температура металу становить близько 1000 °C, далі метал охолоджується приблизно до 600 °C на виході ванни. По мірі проходження по поверхні ванни скломаса набуває рівномірної товщини і майже ідеальної площинності розплавленого олова.

На Рисунку 2.6 зображена схема процесу виробництва флоат-скла.

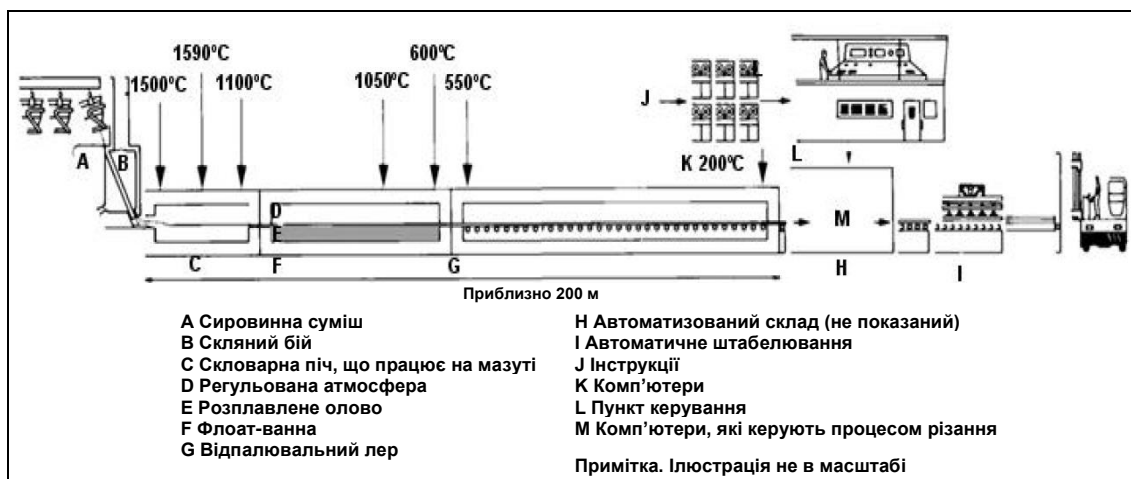


Рисунок 2.6. Процес виробництва флоат-скла

Усередині флоат-ванни є кілька пар верхніх роликів, які охолоджуються водою, і які можна регулювати за напрямком, висотою, глибиною проникнення та кутом. Ці ролики підхоплюють лист скла з обох країв за допомогою зубчатих коліс і витягують його у довжину та ширину. Товщиною скла – зазвичай від 1,5 до 19 мм – можна керувати за допомогою інтенсивності потоку скла та швидкості обертання роликів. Скло має максимальну природну товщину на поверхні олова, а для виготовлення товщого скла можна встановити графітові бар'єри.

На виході флоат-ванни скляна стрічка виймається відривними роликами і пропускається крізь тунель з регульованою температурою – лер – для відпалювання. На початку лера стрічка з обох боків обприскується SO_2 : таким чином виконується поверхнева обробка для захисту скла від контакту з роликами. Лер розділений на секції, у яких відбувається нагрівання та опосередковане або безпосереднє охолодження за рахунок примусової або природної конвекції. Таким чином скло поступово охолоджується з 600 до 60 °C для зменшення остаточних напружень, що виникли у процесі формування, до прийнятного рівня. Для виконання цієї операції потрібен час та місце, а від місця наливання скла на поверхню флоат-ванни до лінії різання простягнута безперервна скляна стрічка довжиною 200 м.

Охолоджена скляна стрічка розрізується у процесі виробництва рухомим різаком; кут нахилу різача відносно лінії залежить від швидкості лінії (90°, якщо вона не рухається). Краї стрічки зі слідами ролика відрізаються і повертаються в піч як скляний бій для переробки. Далі скляні листи оглядаються, упаковуються і зберігаються на складі для продажу або додаткової обробки.

У процесі виробництва на скло можуть наноситися покриття для покращення характеристик продукту (наприклад, поливи з низькою тепловіддачею). Процеси нанесення покриття у процесі виробництва залежать від конкретного випадку, і у галузі в цілому дуже мало заводів, на яких є обладнання для нанесення покриття у процесі виробництва. Покриття наноситься на стрічку скла, що рухається, поки вона гаряча, шляхом розбризкування на її поверхню сполук кремнезему або олова, де вони вступають у реакції, утворюючи необхідну плівку. Цей процес загалом складається з двох окремих етапів нанесення покриття: нанесення ґрунтовки на кремнієвій основі та нанесення окремого верхнього шару покриття – наприклад, оксиду олова, легованого фтором. З огляду на характер хімічних речовин, що використовуються, можуть виникати викиди кислотних газів та дрібнодисперсних твердих часток, для боротьби з якими зазвичай використовується спеціальна система зниження викидів.

2.5.2 Процес виробництва прокатного скла (візерункового та армованого скла)

Процес виробництва прокатного скла схематично зображений на Рисунку 2.7 нижче.

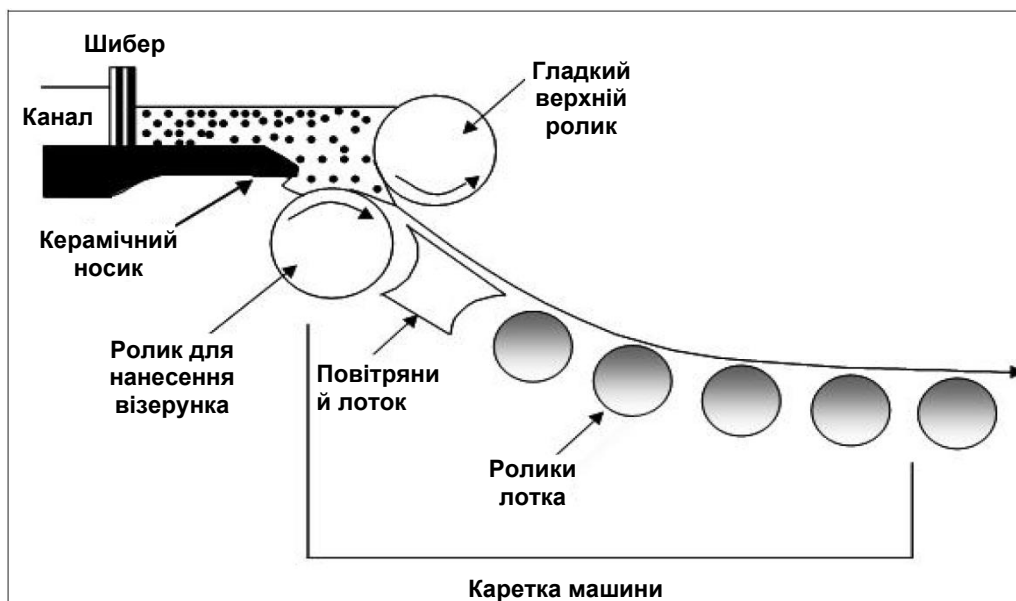


Рисунок 2.7. Процес виробництва прокатного скла

Прокатне скло формується за допомогою безперервного процесу двостороннього вальцювання. Розплавлена скломаса за температури близько 1000 °С стискається між сталевими роликми, що охолоджуються водою, для утворення стрічки з регульованою товщиною та візерунком поверхні.

Скломаса транспортується зі скловарної печі у канал живильника для досягнення необхідної температури перед роликним проходом. Залежно від потужності печі та потрібного виходу продукції, скломасу з однієї печі можна подавати на одну або дві машини. Ролики, що обертаються, втягують розплавлену скломасу у прохід, з якої вона виходить у вигляді стрічки, товщина якої визначається проміжком між роликми. Типова ширина стрічки – близько 2 метрів. При проходженні скломаси крізь ролики, що охолоджуються водою, від неї відводиться тепло. Для правильного протікання процесу та забезпечення належної якості виробу вкрай важливо контролювати температуру на поверхні поділу між матеріалами. Стрічка, що виходить з роликів, достатньо в'язка, щоб не зазнавати суттєвого звуження і витягуватися за рухомі ролики приблизно на 2 метри. Тут вона додатково охолоджується і переноситься далі у випалювальний лер за температури близько 600 °С.

У цьому процесі ролики виконують три функції: формують стрічку, наносять на неї вибраний візерунок і відводять тепло. Ролики повинні бути дуже точно механічно оброблені з бездоганною осьовою симетрією та рівномірним візерунком без дефектів на всій поверхні ролика.

Асортимент візерунків, які можуть наноситися на вироби, дуже широкий, тому для задоволення ринкового попиту у візерунки потрібно часто вносити зміни. Таким чином, одним із важливих міркувань при проектуванні машини є простота заміни ролика для нанесення візерунка. Найбільш загальноприйняте рішення полягає в тому, щоб встановити поряд дві прокатні машини на перевідній рейці. Це дає змогу змонтувати нові ролики для нанесення візерунка на запасній машині, готовій стати на місце, коли візерунок потрібно буде змінити. Для виконання цієї операції потік скла потрібно зупинити за допомогою металевої стріли, встановленої в каналі перед роликми.

Процес вальцювання розширився і на виробництво скла, армованого дротом. Для цього застосовуються дві різні технології. У першій технології використовуються два канали, через які до формувальної машини підводяться два потоки скла, а у другому методі потрібен лише один потік скла і один канал. Дротова сітка подається вниз з ролика,

підвішеного над машиною, і заводиться у «скляну подушку», що утворюється потоком скла, який входить у проміжок між двома роликами. Технічні характеристики, контроль і загартування дротової сітки мають велике значення для забезпечення якості продукції.

2.6 Скловолокно з безперервних ниток

[19, CPIV, 1998], [9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03, 1996], [131, APFE, 2008]

Найбільш широкоживаним складом суміші для виробництва скловолокна з безперервних ниток є алюмоборосилікатне безлугове скло (скло Е), на яке припадає понад 98 % випуску продукції у цьому секторі. Типовий склад скла Е для загального застосування наведено у Таблиці 2.6.

Для виробів зі скловолоконної пряжі перевагу віддають складу, сертифікованому за стандартом ASTM D578-00, який наведено у Таблиці 2.7. Для виробництва безперервних ниток також використовуються суміші іншого складу, проте у ЄС така продукція виготовляється лише у вкрай малих кількостях. Технології варіння скла, що використовуються для цих інших рецептур, дуже специфічні і загалом не є характерним прикладом технологій, що використовуються в цьому секторі у цілому. У контексті цього документа розглядається лише виробництво скла Е.

Таблиця 2.6. Типовий склад скла Е для виробів із скловолокна для загальних випадків застосування

Компонент	% за вагою
B ₂ O ₃	Від 0 до 10
CaO	Від 16 до 25
Al ₂ O ₃	Від 12 до 16
SiO ₂	Від 52 до 56
MgO	Від 0 до 5
Загальний вміст оксидів лужних металів	Від 0 до 2
TiO ₂	Від 0 до 1,5
Fe ₂ O ₃	Від 0,05 до 0,8
Фториди	Від 0 до 1,0

Таблиця 2.7. Типовий склад скла Е для виробів із скловолоконної пряжі, що використовуються у виробництві друкованих плат та аерокосмічній галузі

Компонент	% за вагою
B ₂ O ₃	Від 5 до 10
CaO	Від 16 до 25
Al ₂ O ₃	Від 12 до 16
SiO ₂	Від 52 до 56
MgO	Від 0 до 5
Na ₂ O та K ₂ O	Від 0 до 2
TiO ₂	Від 0 до 0,8
Fe ₂ O ₃	Від 0,05 до 0,4
Фториди	Від 0 до 1,0

Скломаса для виробництва скловолокна з безперервних ниток зазвичай виготовляється у рекуперативних печах з поперечним полум'ям, у яких викопне паливо спалюється в повітрі. Хоча досі існує декілька печей з кисневим форсуванням, спостерігається помітна тенденція до використання 100 %-во киснево-паливних печей – у 2005 році вони склали 43 % всіх печей, що експлуатувалися в Європі. Як у повітряно-паливних, так і в киснево-паливних печах можна реалізувати електричне форсування (у 2005 році ця технологія була присутня у 50 % печей). Регенеративні печі не використовуються у цьому секторі, оскільки розмір таких печей порівняно малий, і за температури, характерної для регенератора, можлива конденсація боратів, яка призводить до серйозних проблем. Найбільш поширеною рецептурою скла, що використовується в цьому секторі, є скло Е,

для якого властивий дуже низький вміст лугів, а отже, низька електропровідність. На час укладання цього документа (2010 рік) варіння скла Е з використанням 100 %-во електричного варіння вважається економічно не вигідним.

Розплавлена скломаса витікає з переднього кінця печі у канали живильника через ряд каналів з вогнетривкою футеровкою, що підігріваються за рахунок спалювання газу. На дні кожного каналу живильника є кілька «фільтрів» для подавання розплавленої скломаси у сопла в нижній пластині фільтри для волокноутворення. Фільтри – це складні коробчасті конструкції з перфорованою металевою пластиною (фільтрною пластиною) на дні та з кількома сотнями відкаліброваних отворів (насадок фільтри), які виготовляються з благородних металів, таких як платиново-родієві сплави. Фільтри нагріваються за допомогою електроенергії, і її температура з великою точністю регулюється по всій поверхні для забезпечення сталої витрати розплавленої скломаси з кожного отвору.

Скломаса, що протікає крізь насадки фільтри, витягується і потоншується за допомогою намотувального пристрою з високою швидкістю обертання, в результаті чого утворюються безперервні нитки. Конкретні діаметри ниток у діапазоні від 5 до 24 мкм отримуються шляхом точного регулювання лінійної швидкості витягування (яка може варіюватися від 5 до 70 м/с). Відразу під фільтрою скляні нитки різко охолоджуються завдяки сукупній дії металевих ребер, які охолоджуються водою, потоку повітря з великою витратою та розбризкування струменів води.

Нитки стягуються до купи і пропускаються через ролик або пас, який наносить на кожну нитку водну суміш, що складається головним чином з полімерної емульсії або розчину. Це покриття також називають в'язучою речовиною або замаслювачем, і воно виконує одну або обидві з двох функцій: захищає нитки від стирання одне об одну під час наступних обробних та транспортних операцій; та/або слугує для зміцнення полімерів, забезпечуючи хороше зчеплення скловолокна зі смолою. Вміст в'язучої речовини у нитках зазвичай знаходиться в межах 0,5 – 1,5 % за вагою. Матеріал покриття може бути різним залежно від кінцевого використання продукції. До типових компонентів покриття належать плівкоутворювачі (наприклад, полівінілацетат, крохмал, поліуретан, епоксидні смоли), апрети (наприклад, органофункціональні силани), модифікатори рН (наприклад, оцтова кислота, хлороводнева кислота, солі амонію) та мастила (наприклад, мінеральні масла, поверхнево-активні речовини).

Нитки з нанесеним покриттям збираються у пучки, що називаються пасмами, і у такому вигляді проходять наступні етапи обробки, залежно від типу армування, що виконується. До пасем може застосовуватися звичайна або безпосередня обробка. У ході звичайної обробки пасма намотуються на обертову оправку мотального пристрою, утворюючи «куличі» вагою до 50 кг. Куличі, що містять до 1,5 % в'язучої речовини та до 15 % води, маркуються і передаються далі для змащування. Для деяких випадків застосування куличі можуть оброблятися в мокрому вигляді, проте у більшості випадків вони повинні проходити через сушильні печі. Сушильні печі обігріваються газом, парою, електроенергією або опосередковано гарячим повітрям. Основними видами продукції є рублені пасма, рівниці, мати з рублених пасем, пряжа, тканини та мелене волокно.

Рублені пасма виготовляються шляхом розмотування куличів і подавання елементарних ниток у машину з обертовим лопатевим циліндром. Рублені пасма зазвичай мають довжину від 3 мм до 25 мм і розносяться у різноманітні пакунки вагою до 1 тонни. Рівниці виготовляються шляхом розмотування та об'єднання пасем з різних куличів таким чином, щоб їх було достатньо для досягнення потрібної ваги скла на одиницю довжини.

Мати з рублених пасем скловолокна виготовляються шляхом нарізання пасем, що розмотуються з куличів або рівниць, у циліндричних рубальних машинах. Рубальні машини розташовані таким чином, щоб рублені пасма можна було подавати на рухому конвеєрну стрічку шириною до 3,5 м. Пасма обприскуються вторинною в'язучою речовиною – наприклад, водним розчином полівінілацетату або порошком насиченого поліефіру. Загальний вміст в'язучої речовини знаходиться в межах від 2 до 10 %. Далі вологий мат рухається на конвеєрі крізь сушильно-ствердзувальну піч, а потім проходить крізь пару ущільнювальних роликів, і після цього намотується на оправку. Таким чином можна виготовляти мати різної щільності та ширини. Готові мати упаковуються в коробки, типова вага яких складає 50 кг.

Вироби з пряжі виготовляються з висушених формувальних куличів або з вологих куличів: у цьому випадку пасма сушаться під час операції кручення. Пряжа виготовляється на крутильній машині (або крутильній рамі), на якій розміщується до 100 куличів. Пасма розмотуються з кулича, скручуються у пряжу і намотуються на бобіну. Це складний процес, подібний до того, що використовується у текстильній промисловості. Зазвичай на крутильній машині виготовляється лише одна нитка пряжі з одного пасма, проте також (хоча й рідше) виготовляється пряжа, намотана з кількох ниток.

Тканина зі скловолокна виготовляється шляхом нарізання пасем, розмотаних з куличів, на циліндричних рубальних машинах, з яких продукт подається безпосередньо на розбивач або у єврокуби для пізнішого використання. Після роздрібнення у розбивачі волокно подається на конвеєрну стрічку з дротової сітки способом мокрого викладання. У якості в'язучої речовини додається водний розчин різних типів смол, полівінілового спирту та латексу: його вміст може досягати 20 % (вміст сухої речовини). На дротовій сітці полотно рухається крізь сушильно-стверджувальну піч. Після цього тканина намотується на барабан. Таким чином зі скловолокна можна виготовляти тканину різної щільності та ширини.

Мелене волокно виготовляється шляхом розмелювання куличів або рублених пасем на шматки довжиною 50 – 300 мкм. Мелене волокно розноситься у різноманітні пакунки вагою від 20 кг до 1 тонни.

Рублені пасма, рівниці та мати з безперервних ниток також можуть виготовлятися за допомогою процесів безпосереднього отримання. Рублені пасма виготовляються шляхом безпосереднього подавання пасма у швидкісну рубальну машину з наступним нанесенням покриття. Пасма збираються і, залежно від способу використання продукції, упаковуються вологими або сушаться. Рівниці безпосереднього отримання виготовляються за допомогою фільтрної пластини з певною кількістю отворів різного діаметру, що відповідають характеристикам потрібного продукту. На нитки може бути нанесене покриття, і після цього рівниця сушиться звичайним чином. Мат з безперервних ниток виготовляється шляхом безпосереднього укладання пасем на конвеєр, що рухається, і їх обприскування в'язучою речовиною у вигляді водного розчину або порошку. Для забезпечення правильного укладання ниток на конвеєр використовується спеціальний пристрій. Мат проходить крізь сушильну піч та ущільнювальні ролики, а потім намотується на оправку і упаковується.

2.7 Сортове скло

[28, Сортове скло, 1998]

Цей сектор є одним із найбільш розмаїтих секторів скляної промисловості: у ньому виготовляється великий асортимент продукції і використовується широкий спектр процесів. Технологічні процеси варіюються від ювелірної ручної роботи при виготовленні декоративного свинцевого кришталю до великосерійних методів з високим ступенем механізації, що використовуються при виготовленні низьковартісних виробів масового споживання. Більшість видів сортового скла виготовляються з вапняно-натрієвого скла за рецептурами, подібними до рецептур тарного скла. Проте ці рецептури зазвичай складніші з огляду на специфічні вимоги до якості та більш різноманітні процеси формування. Як і у випадку тарного скла, барвники можуть додаватися в піч або в живильник. До інших основних типів сортового скла належать:

- матове (непрозоре) скло, яке містить фториди або фосфати;
- чистий свинцевий криштал, свинцевий криштал та кристале скло, офіційні визначення яких (рецептури та властивості) встановлені Директивою Ради 69/493/ЕЕС про кристале скло;
- боросилікатне скло, яке містить бор і особливо добре підходить для кухонного приладдя завдяки дуже малому коефіцієнту теплового розширення;
- склокераміка для кухонного приладдя, яка має ще менший коефіцієнт теплового розширення.

Широкий спектр виробів та технологічних процесів означає, що у цьому секторі з великою ймовірністю будуть використовуватися практично всі технології варіння скла, описані у розділі 2.3 – від горшкових печей до великих регенеративних печей. На відміну від виробництва тарного скла, привізний скляний бій не набув широкого застосування через

обмеження, пов'язані з якістю, проте у цьому секторі повсюдно використовується зворотний скляний бій.

Процеси формування поділяються на дві основні категорії: автоматична обробка та ручна або напівавтоматична обробка. Автоматична обробка подібна до процесів, що використовуються у секторі тарного скла. Скло з печі подається через один або кілька каналів живильника у формувальну машину, в якій вироби виготовляються за допомогою форм. Точна технологія формування залежить від розмірів виробу, який виготовляється. Чотири основні технології такі: «пресовидувне формування», «формування видуванням», пресування та відцентрове формування. Технології «пресовидувного формування» та «формування видуванням», по суті, такі ж, як і в секторі виробництва тарного скла (див. розділ 2.4), тому вони не розглядаються далі в цьому розділі, хоча конструкції машин і умови роботи (швидкість, вимоги до якості) для них відрізняються.

Процес пресування порівняно простий і використовується для виготовлення доволі мілких виробів, у яких ширина шийки більша або дорівнює ширині основи. Він полягає у пресуванні гарячої скляної краплі між формою та плунжером, як показано на Рисунку 2.8. Температура скляного розплаву на вході може бути різною залежно від рецептури, проте для вапняно-натрієвого скла вона зазвичай складає 1150 °С.

На Рисунку 2.8 представлена схема процесу пресування при формуванні скляних виробів.

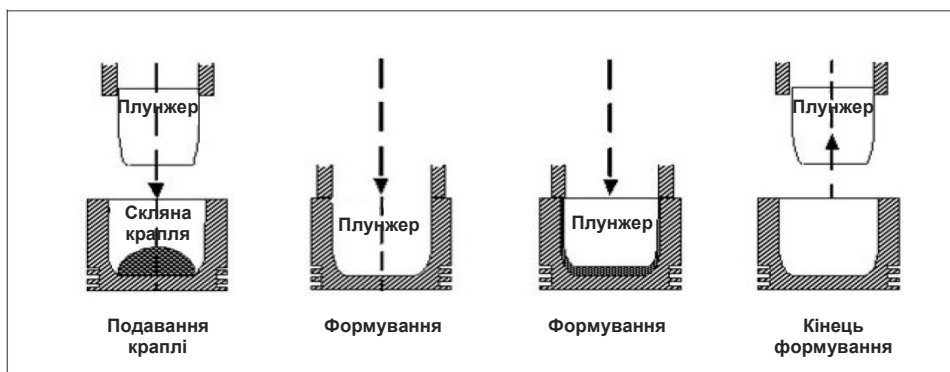


Рисунок 2.8. Процес пресування при формуванні скляних виробів

Процес відцентрового формування використовується для виготовлення круглих виробів, таких як тарілки та мілкі миски. Гаряча скляна крапля падає у форму, яка після цього починає обертатися. Під час обертання форми в ній формується виріб під дією результуючої відцентрової сили.

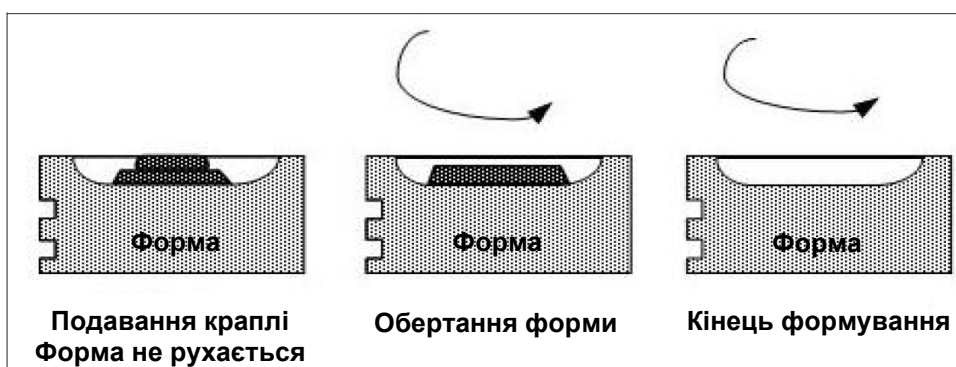


Рисунок 2.9. Процес відцентрового формування при формуванні скляних виробів

Сформовані вироби зазвичай обробляються шляхом вогневого полірування та шліфування для отримання належної якості поверхні. Для цього часто потрібні дуже високі температури, які створюються шляхом обпалювання у газокисневому або, у деяких випадках, киснево-водневому полум'ї. Перевагами цих процесів є зменшене питоме споживання енергії, простота використання та менші об'єми вихлопних газів. Після обпалювання вироби проходять крізь відпалювальний лер, і на їх поверхню може наноситися покриття. Операції відпалювання та нанесення покриття після виходу з леру подібні до операцій, що використовуються у виробництві тарного скла, і тому далі не описуються (див. розділ 2.4). У деяких випадках вироби проходять не крізь відпалювальний лер, а крізь гартувальну піч

для підвищення їх стійкості до механічних та теплових ударів. При виробництві деяких виробів потрібно з'єднати дві і більше окремих деталей після повторного розплавлення певних їх ділянок. Це стосується ніжок та підставок скляних посудин і ручок чашок та склянок. Ці деталі виготовляються окремо шляхом пресування, витягування або видавлювання. Ніжки скляних посудин часто витягуються з тіла скляної посудини, і до них лише додається окрема підставка.

Для виробів ручної роботи працівник вручну набирає скло через порожнисту трубку – безпосередньо з печі або з живильника. Шляхом короткого вдуння повітря в трубку виготовляється невелике порожнисте тіло (пулька), яка потім доводиться до потрібної форми шляхом обертання в дерев'яній або металевій формі. Вироби передаються у відпалювальний лер для усунення всіх внутрішніх напружень і обробляються шляхом вогневого полірування, шліфування та повторного нагрівання. При напівавтоматичному виробництві деякі етапи технологічного процесу (набирання скла, формування і транспортування) виконуються машинами або роботами. Загалом виготовлення виробів ручної роботи в більшості випадків підпадає під дію Директиви 2010/75/EU лише тоді, коли воно виконується на установці, на якій здійснюються інші види діяльності з виробництва скла.

Після того, як базові вироби були сформовані, вони можуть оброблятися з виконанням однієї або кількох операцій холодного оздоблення. Деякі з цих операцій викладені нижче.

Різьблення – це операція, у якій на заготовках скляних виробів за допомогою різальних кругів, шаржованих алмазом, вирізьблюються точні попередньо вибрані візерунки. Цей процес може виконуватися вручну або автоматично, залежно від конкретного виробу. У якості охолоджувальної рідини при різьбленні використовується вода (іноді з додаванням мастила, тощо), яка також змиває з виробу дрібні осколки скла. Використана вода очищується і скидається або використовується повторно. Краї виробів іноді шліфуються і поліруються за допомогою подібних, але менш спеціалізованих технологій.

У результаті різьблення на склі утворюється сіра необроблена поверхня. Для відновлення початкового вигляду поверхні скла його занурюють у полірувальну ванну з фтороводнової та сірчаної кислоти. Кислоти роблять поверхню скла гладкою, оскільки шорсткі ділянки мають більшу площу поверхні, і тому розчиняються швидше. На поверхні скла утворюється білий «наліт» (що складається з сульфату свинцю). Після промивання у гарячій воді скло знову стає блискучим.

З поверхні полірувальної ванни виділяються пари HF та SiF₄. Для видалення цих парів використовуються баштові скрубери. Під час цієї операції утворюється кремнійфтористоводнева кислота (H₂SiF₆) з типовими концентраціями до 35 %, а кисла мийна вода потім нейтралізується. Як варіант, кислоту H₂SiF₆ можна зібрати і, якщо це доцільно, використовувати у якості початкової сировини в хімічній промисловості. Кислу промивальну воду також потрібно періодично нейтралізувати. Наразі розробляються альтернативні технології, які можна буде використовувати замість кислотного полірування – наприклад, механічне полірування та високотемпературне полірування за допомогою полум'я або лазера.

Для створення привабливих візерунків можна використовувати й інші технології, яких є велике різноманіття. Серед них – оздоблення емаллю, декорування «морозним візерунком» шляхом піскоструминної обробки або травлення кислотою, а також гравірування. Викиди, пов'язані з цими операціями, та їх об'єми малі у порівнянні з основними етапами обробки.

2.8 Спеціальне скло

[26, Спеціальне скло, 1998], [2, Міністерство охорони навколишнього середовища Великої Британії, 1991], [22, Schott 1996], [132, Спеціальне скло 2008]

Сектор спеціального скла дуже розмаїтий і охоплює широкий асортимент виробів, які можуть суттєво різнитися за складом, методами виробництва та кінцевими користувачами. Крім того, можна вважати, що багато виробів перекриваються з іншими секторами, особливо з сектором сортового скла у випадку боросилікатного скла. У минулому основною продукцією сектора спеціального скла було скло для катодно-променевих трубок, проте на час укладання цього документа (2010 рік) цей тип продукції майже зник на території ЄС, а основну частку продукції складають трубки та колби для ламп.

Більшість інших виробів порівняно дрібносерійні, і об'єм їх виробництва часто значно менший, ніж порогове значення у 20 тонн/добу. Проте багато з цих дрібносерійних виробів виготовляються на установках, для яких загальний об'єм виробництва від усіх видів діяльності перевищує цю цифру. У Таблиці 2.8 наведені варіанти складу основних скляних виробів для сектора спеціального скла. Деякі склади скла значно різняться для різних виробів, і цифри, вказані для них у таблиці, слід вважати лише орієнтовними.

У цьому розділі окреслені основні методи виробництва, що використовуються у секторі спеціального скла.

З огляду на розмаїття цього сектору, в ньому використовується широкий спектр технологій варіння скла, проте малі об'єми виробництва означають, що більшість печей досить невеликі. Найбільш поширеними технологіями є рекуперативні печі, газокисневі печі, електричні скловарні агрегати та ванні печі періодичної дії. У деяких випадках – наприклад, у виробництві скла для КПТ – також використовуються регенеративні печі. Слід зазначити, що температури варіння спеціального скла можуть бути вищими, ніж для більшості традиційних складів скла масового виробництва. Зокрема, для боросилікатного скла та склокераміки потрібні температури варіння скла понад 1650 °С. Такі високі температури та складні рецептури можуть призводити до більших викидів у навколишнє середовище на тонну продукції ніж, наприклад, для вапняно-натрієвих виробів. Менший масштаб виробництва у поєднанні з високими температурами також означає, що енергоефективність такого виробництва загалом нижча, і терміни служби печей у цьому секторі загалом коротші.

Високі вимоги до якості певних видів продукції, таких як оптичне скло та склокераміка, означають, що, починаючи з освітлювальної ділянки, у компоненти потрібно додавати платину (або вкривати платиною) для запобігання забрудненню.

Як і в інших секторах, після варіння та освітлення розплавлена скломаса витікає з печі по каналах живильника з регульованою температурою до формувального апарата, який знаходиться далі на лінії. Основні технології формування, що використовуються у секторі спеціального скла, такі:

- виробництво шляхом пресовидувного формування (боросилікатне скло, столовий посуд та кухонні вироби);
- процес ротаційного формування (формування з пасти) (боросилікатне скло, лампи);
- процес притискного видування (або видування з осадженням) (боросилікатне скло, сортове скло);
- вальцювання (плоска склокераміка);
- пресування (скло для КПТ та лампи);
- процес безперервного витягування стрічки скла (колби для ламп);
- процес відцентрового формування (боросилікатне скло);
- видавлювання трубок за допомогою процесів Даннера та Велло (скляні трубки, у тому числі для освітлювальних приладів);
- лиття (блоки оптичного скла та деякі спеціальні вироби);
- процес витягування (витягування вниз для тонкоплівкового скла, як-от скло для дисплеїв, витягування вверх для боросилікатного скла);
- формування на розплавленому металі (боросилікатне скло).

Процеси виробництва скла шляхом пресовидувного формування та формування видуванням, по суті, такі ж, як описано для сектора тарного скла (див. розділ 2.4). Процес вальцювання, що використовується для виготовлення таких виробів, як варильні панелі для кухонних плит, є зменшеним у масштабі варіантом процесу, описаного для сектора плоского скла, проте з гладкими роликами. Ці процеси не описуються далі у цьому документі – за інформацією про них слід звернутися до попередніх розділів (розділ 2.5.2).

У процесі пресування скло контактує з усіма частинами матеріалу металевої форми. Прес-форма складається з трьох частин: порожниста форма, плунжер, при входженні якого у форму між ним та формою залишається проміжок, який визначає товщину скляної стінки, та ущільнювальне кільце, яке направляє плунжер при його вийманні з форми. Скляна крапля подається у форму і пресується плунжером, напрямним пристроєм для якого слугує кільце, за рахунок гідравлічного чи пневматичного зусилля. Через плунжер та форму від скла відводиться велика кількість тепла, і після того, як скло затверднуло,

плунжер виймається. Більшість пресів працюють на поворотних столах, на яких зазвичай є від 4 до 20 форм (максимум – 32 форми); скло для КПТ найчастіше виготовляється на поворотних столах з 11 формами. Поворотний стіл крок за кроком проводить скло через етапи завантаження, пресування, охолодження та виймання.

Колби для ламп можуть виготовлятися за допомогою процесу безперервного витягування стрічки скла. Стрічка скла формується шляхом вальцювання розплавленої скломаси між двома роликками, що охолоджуються водою. Після виходу з роликів стрічка скла рухається крізь машину на кількох пластинах з отворами, які утворюють безперервну транспортувальну стрічку, перфоровану отворами. По мірі того, як стрічка скла рухається вперед, вона потрапляє під розташований зверху безперервний ланцюг видувних голівок: кожна видувна голівка збігається з отвором на транспортувальній стрічці. Струмін повітря з видувної голівки продуває скло крізь отвір, і зі скла утворюється сформована колба всередині обертової форми, яка підходить під колбу і закриває її знизу. Рухаючись далі на стрічці, сформована колба вивільняється з форми, охолоджується повітрям, а потім відділяється від стрічки скла і передається на конвеєрну стрічку. На конвеєрній стрічці колби рухаються крізь відпалювальний лер, а після нього надходять на етапи охолодження, контролю і пакування. Таким чином можна досягти темпу виробництва понад 1 000 колб за хвилину.

Видавлювання можна використовувати для виготовлення виробів, для яких встановлені дуже жорсткі допуски на розмір, з видів скла, які мають круту криву в'язкості, або видів скла, схильних до кристалізації. Це економний метод виготовлення різних суцільних або порожнистих профілів, поперечний переріз яких має гострі краї, для промислового застосування. За допомогою методів багатопарового видавлювання можна поєднувати два або три типи скла – наприклад, для виготовлення компонентів, вкритих оболонкою з хімічно стійкого скла.

Найбільш широкоживаним методом безперервного витягування скляних трубок є процес Даннера. Безперервне пасмо розплавленої скломаси тече на так звану оправку Даннера – вогнетривке осердя, нахилене під невеликим кутом, яке повільно обертається. На нижньому кінці оправки утворюється порожниста колба, з якої витягується трубка. Порожнина у склі підтримується за допомогою стержня – порожнистої оправки, крізь яку продувається повітря. Після переходу в горизонтальне положення трубка, яка твердіє, транспортується на роликовому транспортері до тягнущого агрегату, за яким вона ріжеться на відрізки довжиною 1,5 м, а іноді й більше. Ці машини здатні виготовляти понад 3 м скляної трубки за секунду.

Процес Велло – це другий за поширеністю процес приблизно з такою ж продуктивністю, як процес Даннера. Склomаса, що виходить із печі, тече по каналу живильника і стікає вниз через отвір (кільце), а порожнина у склі підтримується за допомогою трубки з конічним отвором (дзвоном), розташованої під кільцем. Усе ще м'яка трубка переводиться у горизонтальне положення і стягується, рухаючись по роликовому транспортеру, а тоді охолоджується і розрізується, як у процесі Даннера.

Варіацією процесу Велло є процес витягування вниз, який можна використовувати для виробництва трубок діаметром до 360 мм. Скло витягується вниз крізь вакуумну камеру і пропускається крізь герметизовану ірисову діафрагму – кільцевий шибер, який можна відрегулювати для різного розкриття отвору. Четвертий процес – це процес витягування вгору, у якому скляна трубка витягується вертикально вгору з чаші, яка обертається. Зона витягування обгороджена керамічним циліндром, який обертається, і один кінець якого занурений у скло. Порожнина формується за допомогою струменя повітря, що подається під поверхню скла. Ця технологія особливо корисна для виробництва трубок великого діаметру з товстими стінками.

Оптичне скло може відливатися у блоки або видавлюватися у циліндри: сформовані таким чином заготовки збуваються для подальшої обробки. Форми зазвичай виготовляються з вогнетривких матеріалів.

Виробництво розчинного скла розглядається у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління (BREF) для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S (<http://eippcb.jrc.es/reference/>))

Таблиця 2.8. Хімічний склад основних виробів у секторі спеціального скла

Компонент	Скло для КПТ		Скляна трубка		Боросилікатне скло – наприклад, хімічний скляний посуд	Інші види скла для освітлювальних приладів		Склокера- міка	Кварцове скло	Оптичне скло				Інше – напри- клад, діоди
	Панель	Конус	Вапняно-натрієво-силі- катна	Боросилікатна		Непрозор е скло	Колби для ламп			Крон (борний)	Оптичний флінт	Фтор- фосфат	Рідкоземельні метали	
	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %	Масовий %
SiO ₂	60 – 63	53 – 55	69	67 – 81	70 – 81	63 – 68	73 – 75	55 – 70	99,9	35 – 70	25 – 60		0 – 28	35
Al ₂ O ₃	2 – 3,4	1 – 5,2	2 – 4	2,0 – 7	2,3 – 5,5	3 – 3,5	1 – 4	15 – 25	0,005	0 – 10	0 – 15	0 – 15	0 – 3	
Fe ₂ O ₃			0 – 1	0,01 – 2	0,01 – 0,03	0,15		0 – 0,2						
CaO	0 – 3,2	0,9 – 3,8	4 – 5	0,01 – 1,5	0,01 – 1	1,4 – 8	0,5	0 – 4,0	0,001	0 – 10		0 – 10	0 – 25	
PbO		14 – 23									25 – 70			60
Sb ₂ O ₃	0,15 – 0,8	0 – 0,35	0 – 0,9					0 – 2		0 – 0,3	0 – 0,1	0 – 0,1	0 – 0,2	
As ₂ O ₃	0 – 0,3	0 – 0,3	0 – 0,06	0 – 0,06				0 – 1,5		0 – 0,3	0 – 0,3	0 – 0,1	0 – 0,1	
MnO ₂				0,01 – 5										
MgO	0 – 1,2	0,6 – 2,2	2 – 3	0,01 – 0,5	0,01 – 0,5	1,4 – 4	0,5	0 – 1,0	0 – 3			0 – 5	0 – 1	
Na ₂ O	6,6 – 9,4	5,8 – 6,7	9 – 16	3,5 – 12	3,4 – 6,5	9 – 10	3 – 4	0,5 – 1,5	0 – 2	0 – 10	0,5 – 10			
K ₂ O	6,6 – 8,4	7,8 – 8,1	1 – 11	0,01 – 2,5	0,5 – 1,5	6	1,5 – 2,5		0 – 2	0 – 20	0,5 – 8			5,0
SO ₃						0,2								
F						4,0 – 5,4				0 – 10		0 – 35		
B ₂ O ₃			1	5 – 13	8 – 13	0 – 1,6	12 – 17	0 – 3		5 – 20		0 – 10	10 – 40	
BaO	8,3 – 13	0 – 2,5	1 – 6	0,01 – 3,5		2,3 – 3		0 – 3		0 – 42	0 – 20	0 – 40	0 – 45	
ZnO	0 – 0,8	0 – 0,8				3 – 4,8		0 – 3		0 – 10		0 – 1	0 – 25	
SrO	2,2 – 8,8	0 – 0,5						0 – 1		0 – 5	0 – 5	0 – 20	0 – 5	
ZrO ₂	0 – 2,3	0 – 0,2		0,01 – 1	0,01 – 1			0 – 2,5		0 – 1		0 – 35	0 – 10	
P ₂ O ₅								0 – 8		0 – 50	0 – 20	0 – 35		
LiO ₂								2 – 4			0 – 5		0 – 7	
SnO ₂								0 – 1		0 – 1			0 – 1	
TiO ₂				0,01 – 5	0,01 – 5			1 – 4		0 – 1	0 – 25		0 – 20	
CeO ₂			0 – 1					0 – 1,3		0 – 3	0 – 3	0 – 1		
Nd ₂ O ₃								0 – 0,3						
V ₂ O ₅								0 – 0,5						
CsO											0 – 5			
Nb ₂ O ₅											0 – 45		0 – 20	
La ₂ O ₃													0 – 50	
Y ₂ O ₃													0 – 10	
Ta ₂ O ₅													0 – 20	
Gd ₂ O ₃													0 – 15	
WO ₃											0 – 10		0 – 3	
GeO ₂											0 – 20			
Bi ₂ O ₃											0 – 60			

Джерело: [132, Спеціальне скло, 2008]

2.9 Мінеральна вата

[27, EURIMA, 1998], [9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03, 1996], [89, Пропозиції EURIMA, 2007]
[133, Внесок EURIMA за листопад, 2008]

Виробництво мінеральної вати складається з таких етапів: підготовка сировини; варіння скла; утворення волокон з розплаву, нанесення в'язучої речовини; формування мата з продукції, стверджування, охолодження і кінцева обробка продукції. Мінеральну вату можна поділити на дві основні категорії: скловата і кам'яна вата / шлаковата. Ці види продукції використовуються, по суті, в одних і тих же випадках застосування і різняться головним чином сировиною та способами варіння скла. Після етапу варіння скла технологічні процеси та екологічні проблеми великою мірою ідентичні. Типова рецептура мінеральної вати наведена у Таблиці 2.9. Слід зазначити, що оксиди заліза, TiO_2 та P_2O_5 не є необхідними компонентами скла, не додаються в нього умисно, і потрапляють у нього як випадкові домішки. Тому їх вміст у скловаті та кам'яній ваті залежить від якості сировини, а вказані в таблиці значення є крайніми значеннями виявлених діапазонів.

Таблиця 2.9. Типові варіанти складу мінеральної вати

Мінеральна вата	SiO_2	Оксиди лужних металів	Оксиди лужно-земельних металів	B_2O_3	Оксиди заліза	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5
Скловата	57 – 70	12 – 18	8 – 15	0 – 12	<0,5	0 – 5	Слідова кількість	0 – 1,5
Кам'яна вата	38 – 57	0,5 – 5	18 – 40	Слідова кількість	0,5 – 12	0 – 23	0,5 – 4	0 – 1,5
Шлаковата	38 – 52	0,5 – 3	30 – 45	Слідова кількість	0 – 5	5 – 16	<1	Слідова кількість

2.9.1 Скловата

Типовий завод з виробництва скловати зображений на Рисунку 2.10.

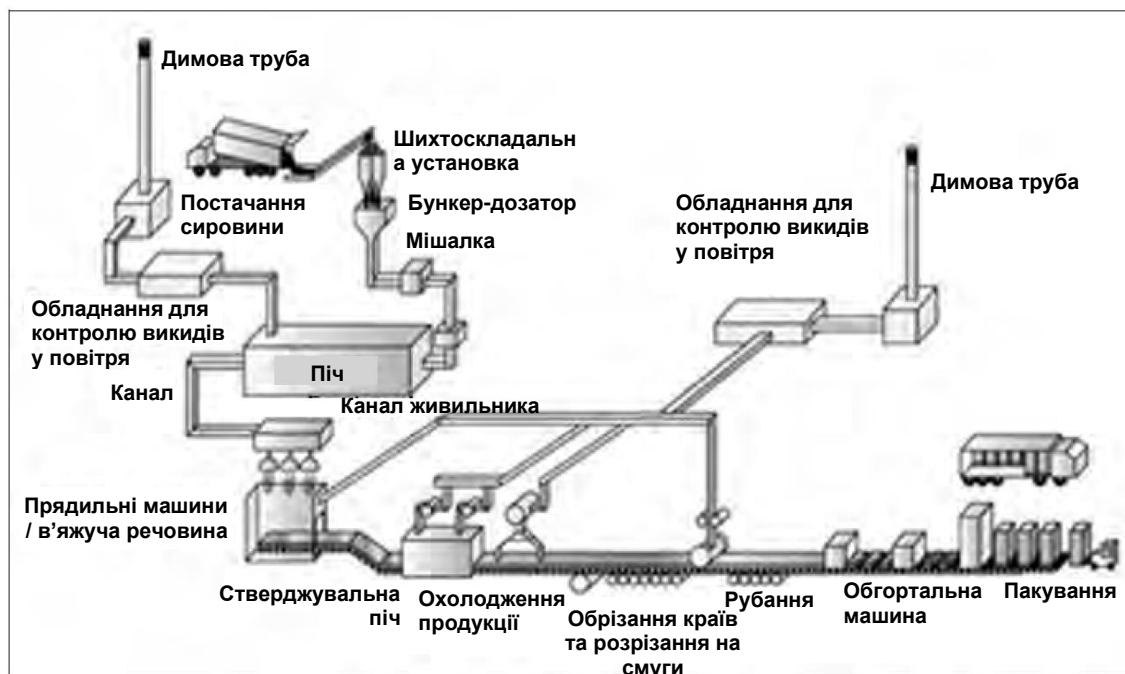


Рисунок 2.10. Типовий завод з виробництва скловати

Сировина для виробництва скловати постачається головним чином в автомобілях-цистернах і пневматичним способом транспортується у накопичувальні бункери. У кожному процесі використовується цілий ряд сировини, і точна рецептура шихти може суттєво різнитися для різних процесів. До базових матеріалів для виробництва скловати належать пісок, кальцинована сода, доломіт, вапняк, сульфат натрію, нітрат натрію та мінерали, що містять бор і глинозем.

У більшості процесів в якості сировини також використовується технологічний скляний бій, Це бите скло, що утворилося при перериванні операції волокнуутворення внаслідок різкого охолодження потоку розплавленого скла, що виходив із печі, у воді. Технологічний скляний бій має точно таку ж рецептуру, як і кінцевий продукт, і легко переробляється шляхом повернення у піч. У якості початкової сировини також широко використовуються інші види скляного бою – наприклад, тарне скло та вапняно-натрієво-силікатне плоске скло. Цей тип матеріалу складніше переробити, і його використання дуже залежить від вартості, складу, ступеня частоти та стабільності постачання. Одним із чинників, які обмежують використання скляного бою у якості сировини, є присутність склокераміки. Як і для інших типів скла, присутність склокераміки у призначеному для переробки скляному бої – це проблема, яка стає все серйознішою. Кілька виробників також переробляють оброблені волокнисті відходи та пил, уловлений з потоку пічних відхідних газів, повертаючи їх у плавильний агрегат.

Через волокнисту структуру більшості таких відходів їх неможливо переробити без додаткової обробки. Сировина завантажується в скловарну піч у вигляді порошку або гранул, тому відходи перед завантаженням у піч необхідно розмолоти або переробити у гранули. Це зазвичай роблять за допомогою якої-небудь операції помелу. Відходи виробництва та відфільтровані відходи містять значну кількість органічних в'язучих речовин. Вуглець, що міститься у відходах, потенційно може призводити до ряду проблем у скловарній печі, серед яких – погіршення теплообміну, утворення піни, дестабілізація умов варіння скла і зміна хімічного складу пічної атмосфери. З цими проблемами можна боротися, проте існують обмеження на кількість відходів, які можна повернути в піч для переробки. Крім того, може бути необхідно додавати нітрат натрію або калію у якості окиснювача, і розкладання цих матеріалів може зробити суттєвий внесок у викиди оксидів азоту.

Різні компоненти сировини автоматично дозуються за вагою і змішуються, у результаті чого утворюється шихта з точно визначеною рецептурою. Далі змішана шихта надходить у проміжний бункер-накопичувач, звідки вона завантажується в піч.

У якості печі (за кількома рідкісними винятками) використовується піч з електричним нагріванням, традиційна рекуперативна піч, що працює на газу, або, рідше, газокиснева піч. Ці технології описані у розділі 2.3 вище.

Струмінь розплавленої скломаси витікає з печі по каналу живильника з вогнетривкою футеровкою, який підігрівається, і виливається через кілька (зазвичай від одного до десяти) окремих фільтрів з отворами у спеціально спроектовані обертові відцентрові прядильні апарати. Первинне формування волокон здійснюється під дією відцентрової сили в обертовому прядильному апараті з подальшим потоншенням волокон під дією гарячих газоподібних продуктів полум'я, що горить на кільцевому пальнику. У результаті утворюється вуаль з довільним чином переплетених волокон різної довжини та діаметру. Вуаль проходить крізь кільце розбризкувачів в'язучої речовини, які виділяють на волокна розчин в'язучої речовини на основі фенолової смоли та мінерального масла для забезпечення структурної цілісності, пружності, довговічності та технологічних характеристик готової продукції.

В'язуча речовина сильно розбавлена водою для того, щоб вона належним чином вкривала волокна, які мають дуже велику площу поверхні. Вода слугує носієм для в'язучої речовини, а потім випаровується.

Вкрите смолою волокно витягується під вакуумом на конвеєр, який рухається, утворюючи килим із волокон. Цей килим проходить крізь газову піч за температури близько 250 °C, за якої продукція висушується, а в'язуча речовина твердіє. Після цього продукція охолоджується повітрям і ріжеться на шматки потрібного розміру перед упакуванням. Обрізки країв можна переробити у гранули і вдути назад у волоконну вуаль, або ж змішати з надлишком продукту і отримати засипну вату. Деякі види продукції виготовляються без стверджування у печі – наприклад, продукція, що стверджується струмами надвисокої частоти, продукція гарячого пресування, нестверджена продукція або продукція, що не містить в'язучих речовин. Крім того, деякі види багатошарової продукції виготовляються шляхом нанесення покриття – наприклад, алюмінієвої фольги чи склотканини, яка наноситься у процесі виробництва за допомогою клею.

У багатьох технологічних трубопроводах далі по лінії розбризкується вода для запобігання нашаруванню волокна та смолистих матеріалів, яке може призвести до займання або засмічення трубопроводу, а також для видалення матеріалів, винесених з димовими

газами. Вода також використовується для очищення збиральної стрічки та інших елементів установки. Система технологічного водопостачання зазвичай виконана у вигляді замкненого контуру; вода збирається, фільтрується і повторно використовується для розбризкування у трубопроводах, для розбавлення в'язучої речовини, а також у якості води для очищення. Типовий контур технологічної води на виробництві скловати зображений на Рисунку 2.11 нижче. Значна частка води випаровується у ході таких виробничих операцій: розпилення в'язучої речовини, очищення відхідних газів у скруберах, охолодження та очищення обладнання.

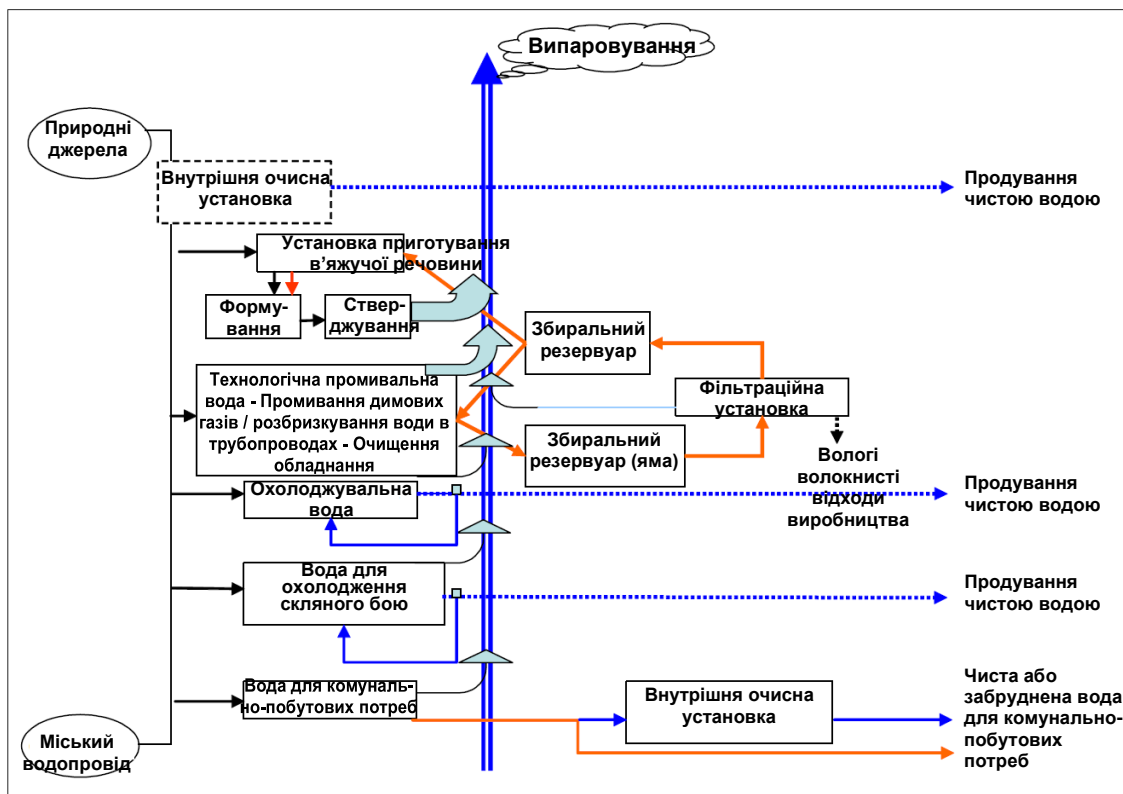


Рисунок 2.11. Типовий контур технологічної води на виробництві скловати

Сукупний водний баланс для типового заводу з виробництва скловати у нормальному режимі роботи показує, що споживання води на тону виготовленої скловати становить від 3 до 5 м³ (також див. розділ 3.8.3). Майже вся ця вода залишає завод у вигляді пари або крапель води, що переносяться газом – через димові труби або шляхом загального випаровування.

Проте вода постійно циркулює за замкненим циклом у системі технологічної промивальної води, тож внутрішня витрата води, яка фактично використовується у процесі виробництва скловати, набагато більша і може досягати 100 м³/тону скла. З цієї витрати води більша частина (зазвичай 70 %) використовується на формувальних ділянках та у пов'язаному з ними обладнанні для контролю забруднень.

Ця технологічна промивальна вода містить розчинені органічні речовини та тверді частки (головним чином волокно). Нерозчинені тверді частки видаляються на заводі за допомогою циклонів, нерухомих або вібраційних сітчастих фільтрів, відцентрових фільтрів або подібного обладнання. Щоб запобігти утворенню надмірної концентрації розчинених органічних речовин, з об'єму технологічної промивальної води відбирається певна частка води, фільтрується і вноситься у суміш в'язучої речовини для використання у складі продукції. Таким чином врівноважується вміст розчинених твердих часток для даної рецептури в'язучої речовини та вмісту в'язучої речовини у продукції.

Періодично здійснюється моніторинг характеристик промивальної води – зокрема, тому, що ефективність очищення димових газів залежить від концентрації розчинених твердих часток; коливання цих значень можуть бути важливими і залежать від таких параметрів, як рецептура і кількість використаної в'язучої речовини та погода / пора року.

Для інших видів використання води застосовуються очисні системи, як-от системи повітряного охолодження, зворотного осмосу, іонного обміну та видалення масла.

Технологічні стоки, що утворюються у результаті очищення установки приготування в'язучої речовини, обвалування бакового господарства або допоміжних операцій очищення, можуть перероблятися на самому виробництві шляхом повернення у систему промивальної води або відстоюватися і очищатися перед скиданням у каналізацію, залежно від місцевих домовленостей. Часто об'єкт взагалі не скидає стоків, за винятком погоджених аварійних режимів, або скидає стічні води у побутову каналізацію з дотриманням дозволених умов. Типова максимальна кількість викидів становить 50 тонн води на добу. (Також див. розділ 3.8.3).

З виготовленої скловати може вироблятися ряд побічних продуктів. Серед них – гранульована ізоляційна вата для монтажу шляхом задування, упакована нестверджена вата, яка постачається замовникам для подальшої обробки, та багатошарові або облицьовані вироби. Важливим побічним продуктом є трубна ізоляція, яка зазвичай виготовляється шляхом відбору нествердженої скловати від основного технологічного процесу для пресування у формах та стверджування. Як варіант, вату можна намотувати на висувні оправки, що підігріваються, для формування циліндра з отвором і здійснювати її теплову обробку для формування зовнішньої стінки, а потім передавати отриманий продукт на загальний етап стверджування.

Для приготування в'язучої речовини частково полімеризовану смолу змішують з певними добавками, які покращують ефективність нанесення, сприяють прилипанню смоли до скловати, придушують утворення пилу, роблять матеріал водостійким і сприяють розбавленню в'язучої речовини у воді. Перед нанесенням на вуаль в'язуча речовина розбавляється значною кількістю води (технологічної води, якщо вона наявна).

Найбільш широкоживаною смолою є термореактивна суміш фенолу, формальдегіду та каталізатора. Смола виготовлена на водній основі і зазвичай містить до 50 % твердої речовини. Хімічний склад в'язучої речовини детальніше описаний у розділі 4.5.6.1. Смола може імпортуватися від спеціалізованих виробників або виготовлятися на самому об'єкті виробником мінеральної вати. Виробництво смоли на самому об'єкті зазвичай є періодичним процесом, у якому компоненти сировини реагують один з одним за контрольованої температури для отримання речовини з бажаним ступенем полімеризації та вмістом твердих речовин. Виробництво смоли вважається хімічним процесом і не розглядається у цьому документі.

2.9.2 Кам'яна вата

[89, Пропозиції EURIMA, 2007], [133, Внесок EURIMA за листопад, 2008]

Типовий завод з виробництва кам'яної вати зображений на Рисунку 2.12.

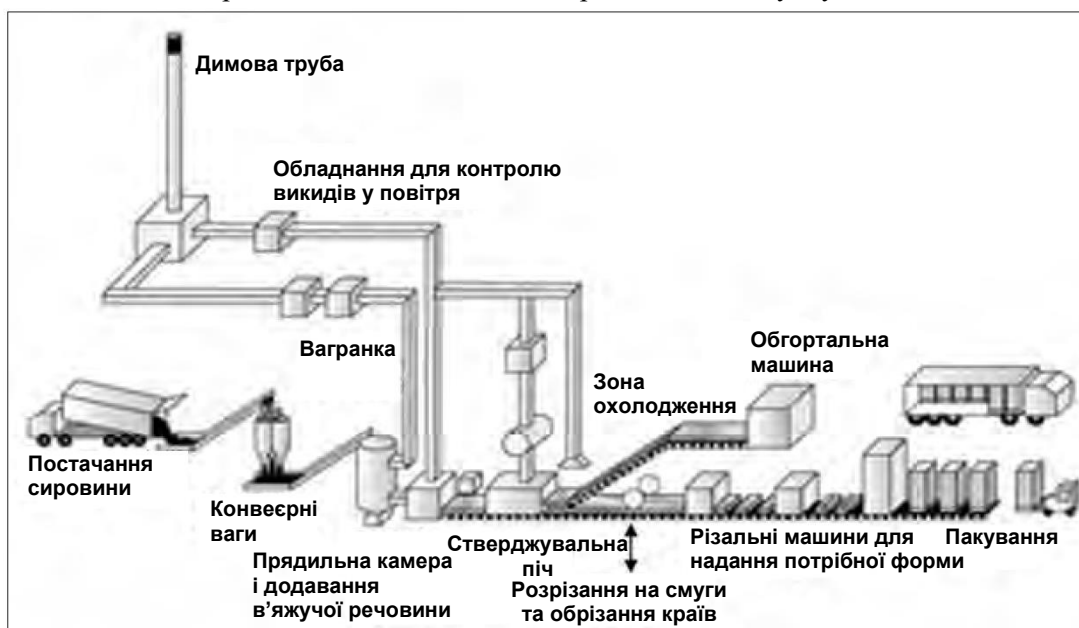


Рисунок 2.12. Типовий завод з виробництва кам'яної вати

Найбільш поширеною технологією варіння скла, що використовується у виробництві традиційної кам'яної вати, є коксова вагранка на гарячому дутті, яка за принципом роботи подібна до сталеплавильної доменної печі. У цій технології алюмосилікатна порода (зазвичай базальт) плавиться разом з вапняком або доломітом та іноді зі шлаком доменних печей. Кам'яна порода подається у вигляді шматків, що у печі утворюється повітропроникний стовп матеріалу, який дає змогу підтримувати процеси теплообміну. Шихта також може містити перероблені технологічні відходи чи відходи використаних товарів, скріплені у брикети приблизно такого ж розміру, як шматки кам'яної породи. Основою вагранки є циліндричний сталевий кожух (труба), закритий знизу, який може бути обшитий вогнетривкою футеровкою. Вагранка з гарячим дуттям схематично зображена на Рисунку 2.13.



Рисунок 2.13. Типова вагранка з гарячим дуттям

Уся поверхня печі охолоджується водою за допомогою відкритого водного контуру з конвективним охолодженням.

Сировина, брикети та кокс у вигляді шматків завантажуються через верх вагранки почерговими шарами або у вигляді змішаної шихти і заповнюють пічну трубу. Кокс на поді печі запалюється і утворює зону горіння, у якій плавляться кам'яні матеріали. Повітря, зазвичай підігріте у теплообміннику, який розташований далі по лінії, та іноді збагачене киснем, вприскується у зону згорання вагранки на висоті від 1 до 2 метрів від поду через трубки (фурми) у стінці печі. Це найгарячіша частина вагранки з температурою приблизно 2000 °С. Розплавлений матеріал накопичується на поді печі і витікає через льотку по короткому жолобу, розташованому над прядильною машиною. Далі у цю зону падає матеріал над зоною згорання, підігрітий газами, що піднімаються у печі, а його місце займає свіжа завантажена сировина з верхньої частини печі. Таким чином вагранка здатна безперервно виробляти розплавлену кам'яну масу протягом двох або трьох тижнів, поки не спорожниться і не буде перезапущена у новому циклі. Базальт та, меншою мірою, шлак доменних печей містять окис заліза (Fe^{3+}) та закис заліза (Fe^{2+}). У відновлювальних умовах, присутніх у деяких зонах печі, окис/закис заліза окиснюється до металевого заліза. Металеве залізо збирається на поді вагранки і, якщо допустити його накопичення до рівня, коли воно почне витікати з льотки, може пошкодити дорогу прядильну машину. Щоб запобігти цьому, залізо періодично зливають (випускають) шляхом проколювання основи вагранки. Залізо можна збирати за допомогою спеціальної форми, правильно розташованої таким чином, щоб збирати залізо, перш ніж воно впаде у зону відходів під вагранкою і змішається з кам'яними відходами. Таким чином відділене залізо можна переробляти за межами виробництва.

У вагранках з гарячим дуттям пухкий волокнистий або пилкий матеріал при завантаженні може виноситися через верх вагранки з гарячим повітрям, що піднімається з печі. Як було зазначено раніше, пухкі матеріали також можуть несприятливо впливати на пористість шару матеріалу і порушувати потік повітря, що вдувається в піч. Цю проблему прийнято вирішувати таким чином: розмелювати матеріал і виготовляти брикети, сумірні зі шматками інших компонентів сировини. У якості в'язучої речовини для брикетів зазвичай використовується цемент, проте це може збільшити викиди діоксиду сірки через присутність сірки у цементі. Проте брикетування має й інші переваги – наприклад, менше споживання енергії і можливість додавання до шихти інших дрібних матеріалів, особливо інших видів відходів, таких як формувальний пісок.

Розплав падає на колеса прядильної машини, які обертаються з великою частотою, і розкидається у вигляді дрібних струменів, з яких утворюється волокно. З-за обертових коліс вдувається повітря для потоншення волокон та їх спрямування на збиральну стрічку, де вони утворюють килим. За допомогою ряду розбризкувальних сопел на прядильній машині на волокна наноситься водний розчин фенолової смоли. Збиральна стрічка працює під сильною тягою і виконує три функції: вона витягує волокно на стрічку, видаляє забруднене повітря з камери волоконотворення і допомагає розподілити фенолову в'язучу речовину по килиму. Як і у випадку скловолоконної ізоляції, фенолова смола надає продукції міцність та форму. Первинний мат укладається у кілька шарів, щоб продукт набув потрібної ваги на одиницю площі. Також може використовуватися процес формування у довгій камері, в якому продукт з потрібною питомою вагою створюється в один етап, проте він набагато менше поширений.

Мат проходить крізь піч, що працює на викопному паливі, за температури близько 250 °С, за якої продукт набуває потрібної товщини і висушується, а в'язуча речовина твердіє. Після цього продукція охолоджується повітрям і ріжеться на шматки потрібного розміру перед упакуванням. Трубна ізоляція і деякі побічні продукти можуть виготовлятися так, як описано для процесу виробництва скловолокна у розділі 2.9.1.

У трубопроводі може розбризкуватися вода для запобігання нашаруванню смоли та волокна, для зменшення ризику займання та для видалення матеріалу, винесеного з димовими газами. Вода також використовується у різноманітних операціях очищення. Як і у виробництві скловолоконної ізоляції, технологічна вода збирається, фільтрується і використовується повторно.

Кам'яна вата також може виготовлятися у полуменевих печах та електродугових печах занурювального типу. Інші операції технологічного процесу, у тому числі волоконотворення, такі самі. За конструкцією та принципом роботи полуменеві печі, що використовуються для виробництва кам'яної вати та шлаковати, у цілому подібні до полуменевих печей, що використовуються для виробництва скловати. Основним елементом печі є вогнетривкий бак, що нагрівається пальниками на викопному паливі, з поперечним або підковоподібним полум'ям. Варильна зона може мати площу до 100 м². У цьому випадку при відновленні сировини також утворюється металеве залізо, яке необхідно випускати – наприклад, за допомогою фільтри з отворами, розташованої на піді печі.

Електродугова піч занурювального типу для виробництва кам'яної вати виконана у вигляді циліндричного сталевого кожуха, який може бути обшитий вогнетривкою футеровкою і охолоджується маслом або водою. Зверху печі у розплавлену масу занурені електроди, які надають енергію для варіння скла шляхом нагрівання опором. Сировина завантажується зверху, утворюючи шар матеріалу над поверхнею розплаву (холодне склепіння). З огляду на розташування електродів, навколо них завжди є відкрита ванна розплаву. Як варіант, електрична піч може працювати лише з частковим покриттям поверхні розплаву (гаряче склепіння). У печі використовуються графітові електроди, тому кількість вільного металевого заліза, що утворюється в результаті відновлення сировини, невелика. Залізо необхідно випускати, проте набагато рідше (раз на тиждень або рідше), ніж у вагранках.

2.10 Високотемпературне ізоляційне волокно (алюмосилікатне / вогнетривке керамічне волокно – ASW/RCF та волокно на основі силікатів лужно-земельних металів – AES)

[9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03, 1996], [71, VDI 3469-5, 2007], [116, ECFIA, 2008]
[129, EN 1094-1, 2008]

Обидва типи скловолокна – волокно на основі силікатів лужно-земельних металів (AES) та аморфне алюмосилікатне волокно: вогнетривке керамічне волокно (ASW/RCF) – виготовляються за допомогою одного й того ж технологічного процесу, а саме варіння скла електричним опором. Завдяки лужним та лужно-земельним металам, що додаються до сировини, температури варіння скловолокна AES менші, ніж 1600 °C. І навпаки, через високу чистоту сировини скловолокна ASW/RCF вариться за температур близько 2000 °C.

Технологічний процес можна поділити на дві частини: виробництво волокна і перетворення волокна у вироби та продукти. Типовий хімічний склад аморфного ВТІВ (алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна – ASW/RCF та волокна на основі силікатів лужно-земельних металів – AES) наведено у Таблиці 2.10.

Таблиця 2.10. Діапазони типового хімічного складу алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна (ASW/RCF) та волокна на основі силікатів лужно-земельних металів (AES) у масових відсотках

Діапазони типового хімічного складу для волокна AES, виражені як масові відсотки оксидів			
Тип продукту	SiO ₂	CaO+MgO	ZrO ₂
Кальцієво-силікатне скловолокно	70 – 80	18 – 25	
Кальцієво-магнієво-силікатне скловолокно	60 – 70	25 – 40	
Кальцієво-магнієво-цирконієво-силікатне скловолокно	60 – 70	25 – 40	3 – 7
Магнієво-силікатне скловолокно	70 – 80	18 – 27	
Діапазони типового хімічного складу для волокна ASW/RCF, виражені як масові відсотки оксидів			
Тип продукту	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂
Алюмосилікатне скловолокно (високої чистоти)	48 – 54	46 – 57	
Алюмо-цирконієво-силікатне скловолокно	47 – 50	35 – 36	15 – 17

Оксида алюмінію, кальцію, магнію, кремнію та цирконію постачаються насипом в автомобілях-цистернах і транспортуються у силоси для безпечного зберігання пневматичним способом. Сировина, яка використовується в менших об'ємах, у тому числі органічні добавки, приймається у барабанах або мішках, з яких і відмірюється. Безпечна сировина транспортується зі складу на змішувальну установку, де змішується у суміш потрібного складу. Змішаний матеріал подається у піч, де плавиться шляхом нагрівання електричним опором за температур до 2000 °C для алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна (ASW/RCF) та 1600 °C для волокна на основі силікатів лужно-земельних металів (AES). Печі сягають близько 1 метра у глибину та 2 – 3 метрів у ширину і мають відкритий верх, який вкривається шаром нерозплавленої шихти.

Аморфне високотемпературне ізоляційне волокно виготовляється шляхом роздування або кручення розплаву (див. Рисунок 2.14, Рисунок 2.15 та Рисунок 2.16).

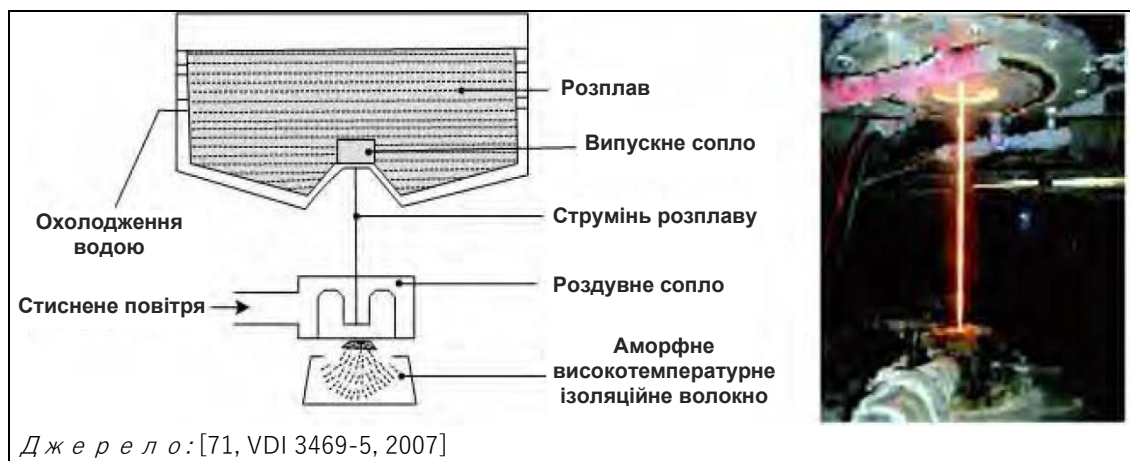


Рисунок 2.14. Метод паралельного роздування

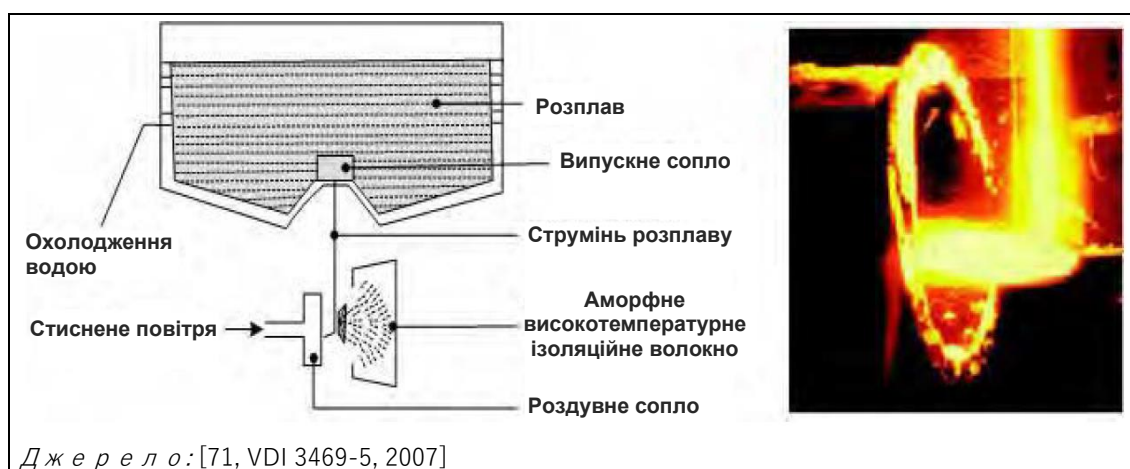


Рисунок 2.15. Метод горизонтального роздування

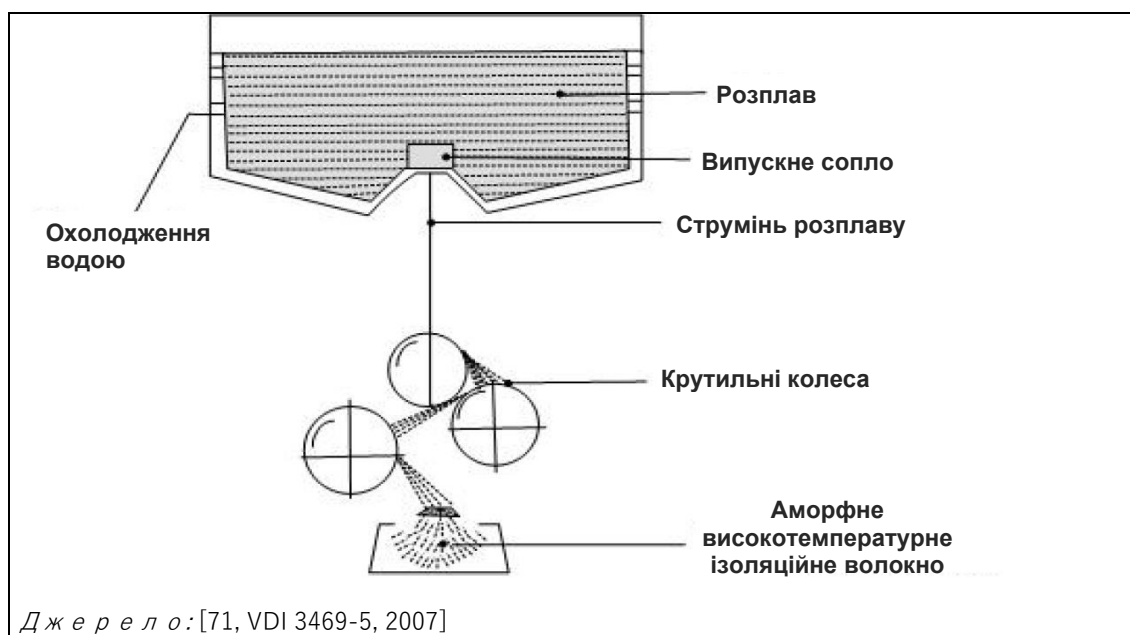


Рисунок 2.16. Процес крутіння

Розплавлений струмінь розплаву витікає з печі, падаючи на колеса, які обертаються з високою швидкістю і відкидають розсіяне волокно у збиральну камеру, або, як варіант, перед струменем повітря під високим тиском, який витягує розплавлений матеріал у волокно. У жодному випадку до волокна не додаються в'язучі речовини, проте може додаватися невелика кількість мастила, яке допомагає зшивати матеріал у голкопробивну тканину.

Якщо виробництво волокна переривається, потік розплавленого матеріалу не зупиняється: такий матеріал швидко охолоджується у воді і, якщо це можливо, повторно використовується у технологічному процесі.

Волокно витягується зі збиральної камери на стрічку, яка безперервно рухається, і на якій може створюватися вакуум. Після виходу отриманого в результаті волокна укладену стрічку можна зняти, укласти в тюки і упакувати в мішки, або ж дозволити їй рухатися далі по виробничій лінії для утворення килима. Цей матеріал можна упакувати в тюки як готовий продукт або переробити у голкопробивну повсть, зв'язавши волокна до купи для більшої міцності. Голкопробивний продукт можна пропустити крізь піч для видалення мастила, а потім згорнути в рулон як мат або порізати на шматки потрібного розміру.

Також може виконуватися подальша обробка далі по лінії. У процесі вакуумного формування волога колоїдна суміш крохмалю, латексу, кремнезему або глини подається у форми належних обрисів. Сформований виріб зазвичай сушиться у газовій печі, може поліруватися кругом або обрізатися по краю, і нарізується на шматки потрібного розміру перед пакуванням та відвантаженням. Також може виготовлятися папір, повсть і картон. Для цього водна суспензія волокон укладається на вакуумний барабан, а потім сушиться у печі. До водної суспензії може додаватися суміш в'язучих речовин та добавок.

2.11 Фрити

[9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03, 1996], [47, ANFFECC, 1999], [92, ITC – C071603, 2007]

[98, ANFFECC, Становище сектора виробництва фрит, 2005], [134, ANFFECC, 2008]

Скляні фрити використовуються як сировина у виробництві керамічної поливи. Це склоподібне покриття, яке наноситься на керамічний виріб і сплавляється з ним шляхом підведення тепла. Аналогічним чином, емалеві фрити – це сировина, що використовується у виробництві емалі. Вона наноситься на метали з метою їх оздоблення та/або захисту. Поливи та емалі можуть наноситися у сухому або мокрому вигляді; останній спосіб нанесення переважає, і в цьому випадку вони зазвичай наносяться у вигляді шлікеру або суспензії.

Процес фритування полягає у тому, щоб переплавити водорозчинну сировину в нерозчинне скло: таким чином легше зберегти рівномірний розподіл цих матеріалів у полив'яній чи емалевій суспензії під час наступної обробки. Крім того, деякі з видів сировини, що використовуються у виробництві полив чи емалей, водночас токсичні і розчинні. Перетворення цих матеріалів у нерозчинне скло мінімізує розчинення токсичних речовин, а відтак і можливість їх потрапляння у навколишнє середовище.

2.11.1 Процес виробництва фрит

Фрити виготовляються шляхом варіння сировини у скловарній печі за високих температур – до 1550 °С. Після цього матеріал швидко охолоджується в воді, перетворюючись таким чином у твердий, нерозчинний, роздібнений матеріал.

У виробництві фрит використовуються різноманітні види сировини – одні з них утворюють саму масу фрити (глина, польовий шпат, кварц, тощо), а інші потрібні для варіння фрити і стимулюють утворення скла (кальцинована сода, поташ, тетраборат натрію, тощо). Крім того, для надання емалям бажаного зовнішнього вигляду використовуються замутнювачі (оксиди титану та оксиди цирконію, сполуки фтору) і барвники (оксиди, хімічні елементи або солі).

На виробництво керамічних фрит (скляних фрит) припадає близько 95 % загального об'єму виробництва цього сектора (керамічних фрит та емалей). Схема процесу виробництва фрити представлена на Рисунку 2.17.

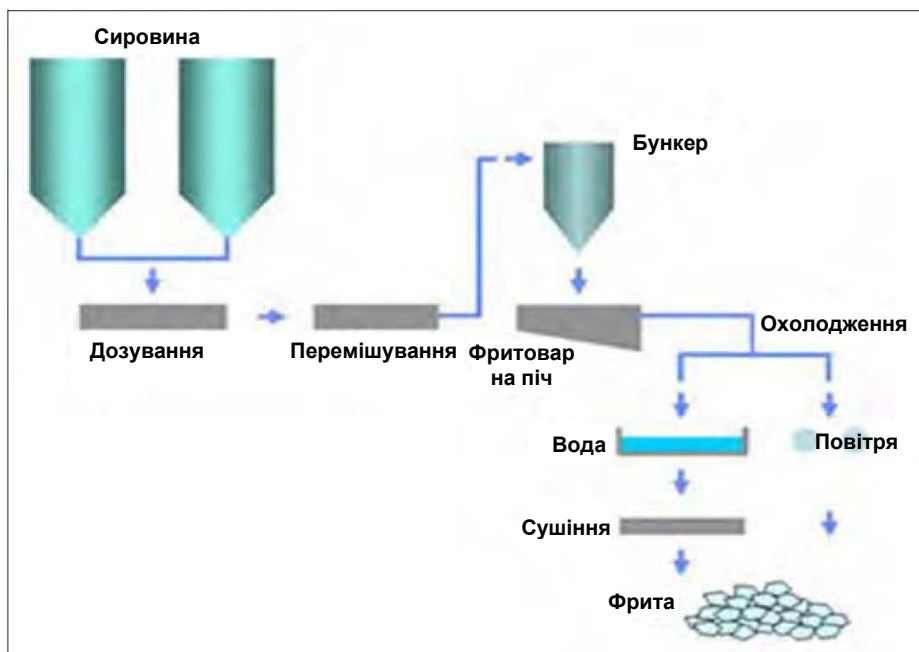


Рисунок 2.17. Схема процесу виробництва фрити

2.11.2 Скловарні печі, що використовуються у виробництві фрит

У галузі виробництва керамічних фрит використовуються переважно скловарні печі безперервної дії, у той час як печі періодичної дії використовуються рідко. Вибір типу печі залежить від масштабу виробництва та рецептури продукту. Типовий процес передбачає виготовлення широкого асортименту рецептур фрит у невеликих скловарних печах, а отже, повинен бути дуже гнучким для пристосування до частих змін у виробництві. Більшість сучасних фритоварних печей загалом працюють на природному газі, а також можливі різні варіанти горіння залежно від вмісту кисню, що використовується для забезпечення горіння. Окрім традиційного природного спалювання газу у повітрі, у багатьох печах (головним чином в Італії) використовується киснево-паливне горіння: на ці печі припадає близько 15 % загальної кількості печей у Європі. Збагачення повітря, що подається для згорання, різною кількістю кисню для досягнення вищих температур у скловарній печі і, відповідно, для підвищення продуктивності набуло широкого вжитку, особливо в Іспанії. Вибір способу горіння з-поміж різних варіантів залежить від типу рецептури/продукту і від температури, потрібної для протікання процесу варіння.

Печі для виробництва фрит зазвичай працюють під невеликим від'ємним тиском для забезпечення як окисної атмосфери, так і витікання розплаву. За таких умов у піч може підсмоктуватися повітря, а це ускладнює оптимізацію співвідношення палива і повітря (кисню) з екологічних міркувань.

Більшість печей обладнані системою використання відхідного тепла, за винятком лише киснево-паливних печей. Повітря, що надходить для згорання, підігрівається до 470 – 570 °C. Після теплообмінника температура димових газів усе ще надто висока, щоб їх можна було подавати на очисний агрегат (зазвичай рукавний фільтр), тому для охолодження необхідно внести свіже повітря.

У більшості випадків димові гази, що виходять із скловарних печей, збираються однією очисною системою або розподіляються, з урахуванням характеристик рецептур шихти, між кількома очисними агрегатами, присутніми на установці. У результаті змішування димових газів від різних печей, у яких використовуються різноманітні технології згорання (киснево-паливне, збагачення киснем, повітряно-паливне), в димову трубу надходить димовий газ з високою концентрацією кисню, яка зазвичай становить від 14 до 19 %, проте може бути ще вищою.

Типові скловарні печі для виробництва фрит – повітряно-паливна піч зі збагаченням киснем та використанням відхідного тепла і киснево-паливна піч – зображені на Рисунок 2.18 та Рисунок 2.19.

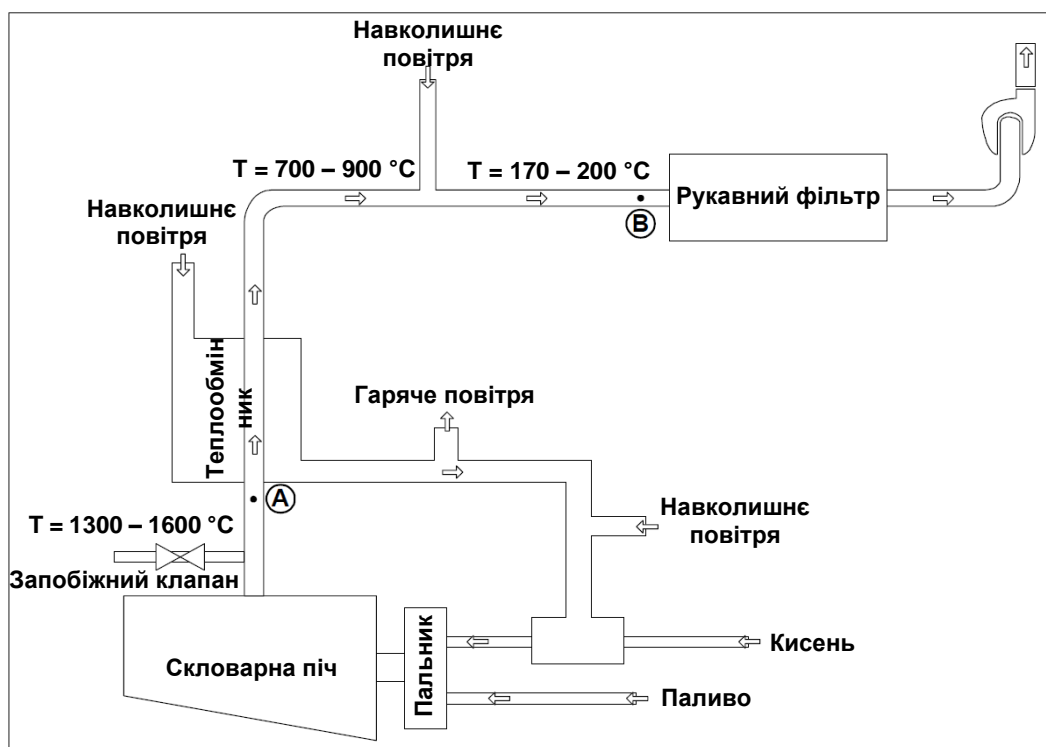


Рисунок 2.18. Схема типової скловарної печі для виробництва фрит зі спалюванням палива у збагаченому киснем повітрі та використанням відхідного тепла

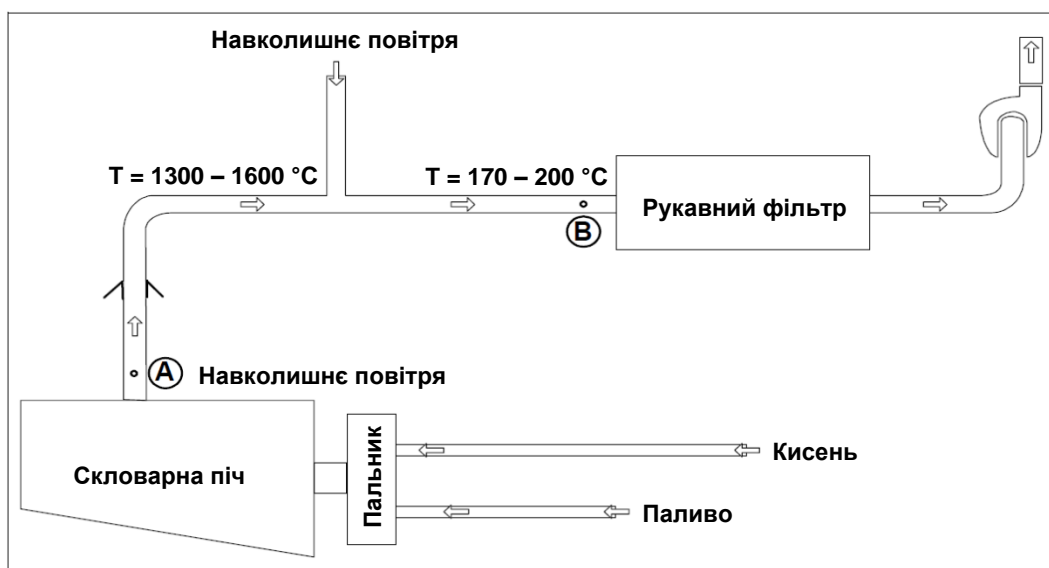


Рисунок 2.19. Схема типової скловарної печі для виробництва фрит з киснево-паливним згоранням

Сировина, що використовується для приготування шихти потрібного складу, може зберігатися в силосах і транспортуватися в зону дозування пневматичним або механічним способом. Лише у кількох випадках, з огляду на порівняно малий масштаб діяльності деяких виробників, деякі види сировини зберігаються в мішках і вручну дозуються у зважувальний пристрій. Різні компоненти сировини автоматично зважуються з великою точністю і перемішуються: у результаті утворюється хімічно і фізично однорідна шихта, яка потім завантажується в піч.

У скловарних печах безперервної дії сировина завантажується за допомогою черв'яка, який насипає її в купу у місці завантаження. Пальники, розташовані по боках печі, створюють належний тепловий режим, який забезпечує стале протікання процесу: завдяки цьому купа шихти може безперервно плавитися. Скловарні печі меншого розміру потрібно заправляти паливом з одного кінця через простий пальник. По мірі плавлення матеріалу на дні печі утворюється неглибокий шар речовини, який витікає через випускний отвір з іншого кінця скловарної печі. Виробництво залишається сталим завдяки безперервному подаванню сировини на вхід печі.

Розплавлений матеріал може подаватися безпосередньо у водяну ванну або охолоджуватися між камерами водяного охолодження для утворення фритованого матеріалу.

Скловарні печі виконані у формі коробів або циліндрів, обшитих футеровкою з вогнетривкою цегли, і встановлені на опорах таким чином, щоб їх можна було повертати на певний градус. Для запобігання забрудненню печі зазвичай розраховані на конкретні типи рецептур з подібними характеристиками.

Типові температури варіння знаходяться в межах 1350 – 1550 °C; при цьому нижчі температури використовуються для виготовлення керамічних фрит з низькою температурою плавлення та збереження флюсів, що сприяють плавленню, у їх складі. Час перебування матеріалу в печі залежить від часу, потрібного для повного перетворення компонентів шихти у розплав.

2.11.3 Фрити як сировина для виробництва полив та емалей

Поливи виготовляються шляхом змішування сировини з однією або кількома тонко розмеленими фритами. Розмелювання зазвичай здійснюється в кульових млинах з глиноземними кулями у присутності води. Інші компоненти полив, такі як каолін, барвники, електроліти та замутнювачі, потрібно додавати на різних етапах процесу помелу. Тривалість циклів млина варіюється від 6 до 16 годин. Після розмелювання змішаний матеріал подається на сито і проходить над магнітом для видалення металевих домішок.

Для сухої продукції отриманий в результаті матеріал потрібно висушити, або ж можна використовувати процес сухого помелу.

3 ПОТОЧНІ РІВНІ СПОЖИВАННЯ РЕСУРСІВ ТА ВИКИДІВ

3.1 Вступ

У цій частині наведена інформація про діапазони рівнів споживання ресурсів та викидів, які спостерігаються у скляній промисловості для всього спектру процесів і технологій, описаних у частині 2. Вхідні ресурси та вихідні продукти розглядаються для галузі у цілому, а потім викладаються більш конкретні міркування для кожного сектора.

Ключові характеристики викидів, джерела викидів та проблеми, пов'язані з використанням енергії, визначаються у цій частині і докладніше розглядаються для кожної технології у частині 4. Представлена у цій частині інформація наведена з тією метою, щоб значення викидів та споживання ресурсів для будь-якої конкретної установки, які враховуються при виданні дозволу на установку, можна було зіставити з іншими технологічними процесами у тому ж секторі або у скляній промисловості в цілому.

Більшість видів сировини для скляної промисловості – це мінерали, що зустрічаються в природі, або синтетичні неорганічні речовини. Більшість матеріалів, що використовуються в цій галузі, у великих кількостях зустрічаються в природі, і загалом не існує значних екологічних проблем, які були б пов'язані з постачанням цих матеріалів. Проте одним із міркувань Директиви є мінімізація споживання сировини, адекватна масштабу НДТМ. Синтетичні види сировини загалом виготовляються в галузях промисловості, які регламентуються окремими нормами. Залишки технологічних процесів та відходи виробів, використаних споживачами, є важливою сировиною для скляної промисловості, особливо у секторах виробництва тарного скла та мінеральної вати.

Основними екологічними проблемами скляної промисловості у цілому є викиди у повітря та споживання енергії. Виробництво скла – це високотемпературний, енергоємний процес, енергія для якого забезпечується шляхом безпосереднього спалювання викопного палива, шляхом електричного нагрівання або за допомогою поєднання обох цих технологій. Найбільш суттєвими викидами зазвичай є оксиди азоту, тверді частки, діоксид сірки, галогеніди (фториди та хлориди) та, в деяких випадках, метали. Забруднення води не становить серйозної проблеми для більшості установок у скляній промисловості, хоча, звісно, з цього правила є винятки. Вода використовується головним чином для очищення та охолодження, і її загалом можна легко очистити або використати повторно. Рівні утворення технологічних відходів порівняно низькі, а багато потоків твердих відходів переробляються в межах технологічного процесу.

Скляна промисловість надзвичайно розмаїта, і наведений вище підсумок, звісно, є дуже широким узагальненням. Винятки існують для конкретних варіантів обробки або для окремих заводів, і екологічні пріоритети можуть різнитися для різних секторів. У випадках, коли ці винятки є невід'ємною частиною конкретного сектора, вони розглядаються у відповідному розділі. Втім, неможливо охопити всі можливі випадки для всіх заводів, і на конкретній установці можуть зустрічатися певні викиди, не враховані в цьому документі. Тому наведена тут інформація про технологічні викиди не може вважатися вичерпною. Інформація, викладена у цьому розділі, стосується всього спектру розмірів заводів та видів діяльності, проте не охоплює спеціальні режими, як-от пуски та зупинки. Деякі з найнижчих значень викидів відповідають роботі лише одного заводу, який досягає таких значень з причин, властивих для конкретного об'єкта, тож ці результати не обов'язково характеризують НДТМ для всього сектора.

Викиди для різних секторів та для окремих установок можуть суттєво різнитися. Це головним чином зумовлено такими чинниками: відмінності у сировині та продукції, що властиві для кожного сектора, вибір технологічного процесу (особливо вибраний варіант технологічного агрегату), масштаб технологічного процесу та реалізований ступінь зниження викидів. При врахуванні викидів з різних секторів та установок окрім концентрацій викидів важливо враховувати загальну кількість кожної викинутої речовини та масу, що викидається на тонну продукту або розплав.

Деякі дані про викиди, наведені у цій частині, неминує є доволі загальними і можуть бути розкидані у доволі широкому діапазоні. Ці діапазони є типовими, проте не завжди надають достатньо даних для порівняння з конкретною установкою, що розглядається. Тому по всьому документу, у відповідних розділах, наведено ряд ситуаційних досліджень, які є характерними для певних діапазонів або є типовими прикладами показників роботи у конкретному секторі.

3.2 Загальний огляд скляної промисловості

У цьому розділі на якісному рівні розглядаються питання, спільні для більшості технологічних процесів та секторів у скляній промисловості. Конкретні питання, пов'язані з кожним сектором, розглядаються у наступних розділах, які за можливості містять кількісну інформацію про рівні споживання ресурсів та викидів. Механізми утворення речовин, що викидаються з установок, та чинники, що впливають на рівні викидів, докладніше розглядаються, якщо це доцільно, у частині 4.

3.2.1 Вхідні ресурси технологічного процесу

[66, ОНОВЛЕНІ ДАНІ APFE для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007]

Головні вхідні ресурси технологічних процесів можна поділити на чотири основні категорії: сировина (матеріали, які входять до складу продукту), енергія (паливо та електроенергія), вода і допоміжні матеріали (технологічні добавки, матеріали для очищення, хімічні речовини для підготовки води, тощо). Питання, пов'язані з енергією, розглядаються окремо у розділ 3.2.3.

Скляна промисловість у тому вигляді, в якому вона описана у контексті цього документу, складається з багатьох різних технологічних процесів, у яких виготовляється великий асортимент продуктів, використовується широкий спектр видів сировини та варіантів обробки. У документі цього типу неможливо розглянути всі вхідні ресурси технологічного процесу – навіть у межах розділів, присвячених конкретним секторам. Тому цей документ зосереджується на вхідних ресурсах, які найбільш поширені у цій галузі промисловості і найсильніше впливають на навколишнє середовище.

Сировину для скляної промисловості становлять головним чином тверді неорганічні сполуки – мінерали, які зустрічаються у природі, або синтетичні продукти. Вони різняться від дуже грубозернистих матеріалів до тонко розмелених порошків. Також широко використовуються рідини та гази – як допоміжні матеріали і як паливо.

У Таблиці 3.1 перелічені найбільш поширені види сировини, що використовуються у виробництві скла. З огляду на широкий спектр потенційних видів сировини, цю таблицю слід вважати не вичерпною, а лише орієнтовною. Сировина, що використовується для формування продукції та інших операцій подальшої обробки (наприклад, нанесення покриття та в'язучих речовин), більш специфічна для кожного сектора і розглядається у наступних розділах. Все більшого значення у якості сировини для варіння скла набуває перероблений пил від систем зниження технологічних викидів. Склад пилу залежить від характеру технологічного процесу та від того, чи використовуються у цих системах якісь абсорбенти.

Таблиця 3.1. Поширені види сировини, що використовуються у скляній промисловості

Сировина	Форма	Опис	Джерело / зауваження
Склоутворювальні матеріали			
Кременистий пісок	Зерниста	Головне джерело SiO_2	Видобувається в кар'єрах у вигляді зернистого піску або пісковика, який потім дробиться, сортується за фракціями і обробляється для видалення домішок. Потрібен високий ступінь чистоти
Технологічний скляний бій (скляний бій, утворений в межах виробництва)	Зерниста	Скло	Перероблене скло, утворене у процесі виробництва. Склад скла ідентичний склу, яке виготовляється
Скляний бій виробів, використаних споживачем (привізний скляний бій)	Зерниста	Скло	Перероблене скло, отримане у рамках програм збирання відходів. Скло з виробів, використаних споживачем, зазвичай потрібно попередньо очистити і відсортувати. Ступінь чистоти та однорідність кольору скляного бою може бути різною
Проміжні продукти та модифікатори			
Карбонат натрію (кальцинована сода – Na_2CO_3)	Зерниста	Головне джерело Na_2O	Виготовляється з природної солі за методом Сольве у Європі, тому містить деяку кількість NaCl . Також імпортується природний карбонат натрію зі США. Карбонат натрію з африканських джерел рідко використовується у Європі
Вапняк (CaCO_3) та обпалене вапно	Зерниста	Головне джерело CaO	Природний матеріал видобувається у кар'єрах/шахтах, дробиться і сортується за фракціями. У секторі виробництва кам'яної вати вапняк використовується у вигляді більших шматків – зазвичай >50 мм у діаметрі
Доломіт ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) та обпалений доломіт	Зерниста	Джерело CaO та MgO	Природний матеріал видобувається у кар'єрах, дробиться і сортується за фракціями. У секторі виробництва кам'яної вати доломіт використовується у вигляді більших шматків – зазвичай >50 мм у діаметрі
Нефеліновий сієніт ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$)	Зерниста	Головне джерело оксиду алюмінію для прозорого скла	Видобувається у кар'єрах, дробиться і сортується за фракціями. Містить невелику кількість заліза. Основні світові джерела: Норвегія, Китай і Канада
Оксиди алюмінію	Зерниста	Джерело Al_2O_3	Використовується у виробництві високотемпературного ізоляційного волокна (тобто алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна – ASW/RCF)
Оксид цирконію	Зерниста	Джерело ZrO_2	Використовується у виробництві високотемпературного ізоляційного волокна (алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна – ASW/RCF)
Карбонат калію	Зерниста	Джерело K_2O	Використовується у виробництві спеціального скла (свинцевого кришталю, скла для телевізорів, тощо) і є синтетичним продуктом
Колеманіт	Порошок	Джерело бору	Природний борат з Туреччини, використовується у виробництві безперервних скляних ниток
Тетраборат натрію	Зерниста	Джерело бору	Синтетичний борат натрію, головним чином з Каліфорнії (США)
Борна кислота (H_3BO_3)	Зерниста	Джерело бору	Синтетичний продукт, що використовується головним чином у виробництві безперервних скляних ниток
Польовий шпат	Зерниста	Джерело Al_2O_3	Основне джерело глинозему у кольоровому вапняно-натрієвому склі. Природний продукт
Флюорит (CaF_2)	Зерниста	Джерело фтору	Природний продукт, що використовується головним чином у виробництві матового скла
Оксиди свинцю	Порошок	Джерело PbO	Носії PbO у свинцевому кришталевому склі та спеціальному склі
Карбонат барію	Зерниста	Джерело BaO	Продукт фабричного виробництва, що використовується головним чином у виробництві спеціального скла
Базальт	Зерниста	Алюмосилікат	У секторі виробництва кам'яної вати він використовується у вигляді більших шматків – зазвичай >50 мм у діаметрі
Безводний сульфат натрію	Зерниста	Освітлювач та окиснювач, джерело Na_2O	Продукт фабричного виробництва
Сульфат кальцію та гіпс	Зерниста	Освітлювач та окиснювач, додаткове джерело CaO	Природний матеріал або продукт фабричного виробництва
Порцелянова глина	Порошок	Джерело глинозему	Природний продукт, що використовується головним чином у виробництві скловолокна з безперервних ниток
Нітрат натрію	Зерниста	Освітлювач та окиснювач, джерело Na_2O	Продукт фабричного виробництва

Сировина	Форма	Опис	Джерело / зауваження
Нітрат калію	Зерниста	Освітлювач та окиснювач, джерело K_2O	Продукт фабричного виробництва
Оксид сурми	Порошок	Освітлювач та окиснювач	Продукт фабричного виробництва, використовується головним чином у рецептурах спеціального скла
Триоксид миш'яку	Порошок	Освітлювач та окиснювач	Продукт фабричного виробництва, використовується головним чином у рецептурах спеціального скла і свинцевого кришталю
Шлак (силікати та сульфід Ca, Al, Mg, Fe)	Зерниста	Джерело оксиду алюмінію, оксидів-модифікаторів, освітлювачів, флюсів та барвників	Побічний продукт доменної печі. Розмір часток повинен бути адаптований до сировини, з якої виготовляється скло
Вуглець	Зерниста форма або порошок	Відновлювач	Продукт фабричного виробництва або оброблений природний продукт, невеликі кількості якого використовуються для виготовлення скла у відновленому ступені окиснення при виробництві зеленого, бурштинового та іноді прозорого скла
Хлорид натрію	Кристали	Очищувач	Використовується в деяких видах боросилікатного скла
Барвники			
Хроміт заліза ($Fe_2O_3 \cdot Cr_2O_3$)	Порошок	Барвник	Видобувається у кар'єрах, дробиться і сортується за фракціями. Хроміт заліза – це барвник, що використовується у виробництві зеленого тарного скла і кольорового плоского скла
Оксид заліза (Fe_2O_3)	Порошок	Барвник	Продукт фабричного виробництва, що використовується головним чином як барвник для зеленого та бурштинового скла
Оксид титану	Порошок	Барвник	Продукт фабричного виробництва, що використовується головним чином як барвник для бурштинового боросилікатного скла
Оксид кобальту	Порошок	Барвник	Продукт фабричного виробництва, що використовується у якості знебарвлювача та барвника для виготовлення синього скла
Металевий селен / селеніт цинку або натрію	Порошок	Барвник	Продукт фабричного виробництва; у слідових кількостях також використовується як знебарвлювач (коректор кольору). У великих кількостях використовується для виробництва бронзового скла
Джерело: [19, СРІV, 1998], [66, ОНОВЛЕНІ ДАНІ APFE для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007]			

Скляна промисловість у цілому не є значним споживачем води: вода в ній використовується головним чином для охолодження, очищення та зволоження шихти. У деяких секторах вода використовується з іншою метою: ці способи використання розглядаються далі у розділах, присвячених конкретним секторам. У випадках, коли це доцільно, водяні контури виконуються у вигляді замкнених контурів з підживленням для компенсації витрат на випаровування. Вода може братися з водопроводу або з природних джерел.

Термін «допоміжні матеріали» означає речовини, які використовуються у виробництві продукції, проте не входять до складу кінцевого продукту: наприклад, олово та азот використовуються у ваннах для виробництва флоат-скла, кисень – у киснево-паливних системах, діоксид сірки – для поверхневої обробки плоского скла (та іноді тарного скла), а змащувально-охолоджувальні речовини для різання та кислоти для полірування використовуються у виробництві свинцевого кришталю. Ці типи матеріалів загалом досить специфічні для кожного сектора і будуть розглядатися у наступних розділах. Вплив цих матеріалів на технологічні викиди різниться залежно від конкретного випадку. Деякі з цих викидів – наприклад, викиди кислотного полірування – можуть бути досить суттєвими, у той час як інші дуже низькі – наприклад, викиди олова з флоат-ванн.

Виробництво скла – це енергоємний процес, тому паливо може бути суттєвим вхідним ресурсом технологічних процесів. Основними джерелами енергії у скляній промисловості є мазут, природний газ та електроенергія. Питання, пов'язані з енергією та паливом, розглядаються у розділі 3.2.3 та у розділах, присвячених конкретним секторам.

3.2.2 Вихідні продукти технологічних процесів

Головні вихідні продукти технологічних процесів можна поділити на п'ять основних категорій: продукція, викиди у повітря, потоки рідких відходів, тверді залишки технологічного процесу та енергія. Потоки рідких та твердих відходів можна переробити або захоронити, залежно від міркувань, пов'язаних з конкретним технологічним процесом. Загалом установки для виробництва скла не утворюють значних супутніх продуктів або потоків побічних продуктів. Проте все частіше спостерігаються ситуації, коли матеріал, який інакше був би утилізований як потік відходів, перетворюється у придатну для продажу (або безплатну) продукцію для використання у якості початкової сировини для інших технологічних процесів або у якості кінцевого продукту.

Загалом у виробництві скла плавиться велика кількість матеріалів, таких як оксиди, карбонати, сульфати та нітрати металів. При плавленні ці речовини розкладаються, і з них виділяються гази, такі як вуглекислий газ, водяна пара та оксиди сірки і азоту. Матеріали шихти також можуть містити вологу (від 0 до 4 %, включену у фізичну структуру матеріалу або в його хімічні сполуки), і при нагріванні цього матеріалу з нього виділяється водяна пара. Загалом від 3 до 20 % ваги шихти можуть викидатися у вигляді газів. У випадках, коли в великій кількості використовується скляний бій, цей показник буде знаходитися на нижній межі вказано діапазону (1 тонна скляного бою замінює приблизно 1,2 тонни свіжої сировини для виробництва вапняно-натрієво-силікатних видів скла).

Серед інших результатів технологічних процесів можуть виникати шуми та неприємні запахи. Шум виникає у результаті ряду операцій, серед яких – робота вентиляторів, двигунів, транспортування матеріалів, конвеєрні стрічки для транспортування скляної продукції, рух транспортних засобів, інженерно-технічні роботи та робота систем стисненого повітря. Шум не вважається особливою проблемою у скляній промисловості. Проте джерела шуму, звісно, існують і можуть створювати проблеми з житловими територіями, якщо вони розташовані поблизу. Загалом будь-які проблеми легко вирішуються за допомогою належної конструкції та, за необхідності, технологій зниження рівня шуму. Під час роботи деяких технологій контролю забруднень також може бути необхідно контролювати рівень шуму, а це може збільшувати загальні витрати на технологію. Неприємні запахи загалом не становлять проблеми у скляній промисловості, проте вони можуть виникати у результаті певних видів діяльності, і може бути необхідно вживати заходів для уникнення проблем за межами об'єкта. Основні види діяльності, які можуть призводити до проблем з неприємними запахами – це стверджування мінеральної вати, підігрівання скляного бою та іноді підігрівання мазуту.

3.2.2.1 Викиди у повітря

Сировина

У всіх секторах скляної промисловості використовується порошкоподібна, зерниста чи пилоподібна сировина. Зберігання і транспортування цих матеріалів потенційно може призводити до виникнення значних викидів. Рух матеріалів крізь системи, обладнані силосами та змішувальними резервуарами, призводить до витіснення повітря, котре, якщо його стан не контролювати, може містити дуже великі концентрації пилу. Це особливо характерно для тих випадків, коли використовуються пневматичні транспортні системи. Під час транспортування матеріалів за допомогою конвеєрних систем та його вантаження вручну також можуть виникати значні викиди пилу.

У багатьох процесах скляної промисловості використовується скляний бій (зворотний або привізний), який може бути потрібно сортувати і дробити перед використанням у печі. Як і всі подібні процеси, ці операції також можуть утворювати викиди пилу. Рівні викидів залежать від таких чинників, як конструкція об'єкта, чи фільтрується витягнутий пил перед викиданням, наскільки добре ущільнені будівлі, тощо. У деяких процесах також використовуються леткі рідини, які можуть викидатися в повітря у вигляді втрат від дихання резервуарів та внаслідок витіснення парів під час переміщення рідини.

Варіння скла

У багатьох процесах, що входять до змісту цього документа, найбільший потенціал до забруднення навколишнього середовища має діяльність, пов'язана з варінням скла. У цілому, основними забруднювачами довкілля, що утворюються при варінні скла, є:

- продукти згорання викопного палива та високотемпературного окиснення азоту в атмосфері згорання (тобто діоксид сірки, вуглекислий газ та оксиди азоту);
- тверді частки, що утворюються головним чином у результаті переходу в леткий стан і наступної конденсації летких матеріалів у складі шихти;
- гази, що виділяються з сировини та розплаву під час процесів варіння скла.

У випадках, коли використовується 100%-во електричне нагрівання з холодним склепінням, викиди продуктів згорання та оксидів азоту NO_x термічного походження відсутні, і викиди твердих часток виникають головним чином внаслідок їх винесення з шихти. Часткова заміна нагрівання за рахунок спалювання викопного палива електричним нагріванням зменшує безпосередні викиди з установки, залежно від ступеня заміни і конкретних умов згорання. Киснево-паливне згорання значно зменшує вміст азоту в печі, а отже, зменшує потенційну можливість утворення NO_x . Зазвичай також виникають викиди за межами об'єкта, пов'язані з виробництвом електроенергії та кисню, які слід враховувати при оцінці загального екологічного впливу.

Печі, які зустрічаються у скляній промисловості та у кожному з її секторів, суттєво різняться за розміром, пропускною здатністю, технологією варіння скла, конструкцією, віком, сировиною, що в них використовується, і технологіями зниження викидів, що застосовуються. Тому повідомлені рівні викидів з них суттєво різняться. Також значно різняться методики, що використовуються для вимірювання викидів, і з цим можна безпосередньо пов'язати деякі оманливі фактичні дані. Мінімальні значення не завжди вказують на найкращі технології і можуть просто означати більш сприятливі умови експлуатації (наприклад, стабільне великосерійне виробництво або склад матеріалів, для якого властиві низькі викиди) або заводи з меншим випуском продукції. Звісно, багато низьких значень викидів відповідають сучасним заводам, на яких використовуються високотехнологічні заходи зниження викидів або «чисті» технології. Це питання було враховане при визначенні відповідних рівнів викидів для найкращих технологій та методів управління (BPR НДТМ), які більш вичерпно розглядаються у частинах 4 та 5.

Викиди у повітря зазвичай виражені як концентрації (мг/м^3 н.у.) або масові викиди (кг/тонну скла). Усі значення, виражені як концентрації, наведені для стандартних умов: сухий газ, температура 273 К, тиск 1013 гПа. Якщо не зазначено інше, стандартні умови для цифр, представлених у розділах частини 3 та в наступних частинах, наведені у Таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Опорні умови для даних про викиди

Умови експлуатації	Одиниця вимірювання	Опорні умови
Діяльність, пов'язана з варінням скла		
Традиційні печі (скловарні агрегати безперервної дії)	мг/м^3 н.у.	8 % кисню за об'ємом
Традиційні печі (скловарні агрегати періодичної дії)	мг/м^3 н.у.	13 % кисню за об'ємом
Киснево-паливні печі	кг/тонну звареного скла	Більш доречно використовувати питомі масові викиди (кг/тонну звареного скла). Проте, якщо повідомлені концентрації викидів, поправка на опорний вміст кисню не застосовна
Електричні печі	кг/тонну звареного скла або мг/м^3 н.у.	Поправка на опорний вміст кисню не застосовується до концентрацій викидів
Фритоварні печі (1)	кг/тонну звареного скла або мг/м^3 н.у.	Концентрації вказані для 15 % кисню за об'ємом.
Усі типи печей	кг/тонну скла	Питомі масові викиди вказані на одну тонну звареної фрити
Діяльність, не пов'язана з варінням скла		
Усі технологічні процеси	мг/м^3 н.у.	Без поправки на кисень
Усі технологічні процеси	кг/тонну скла	Питомі масові викиди вказані на одну тонну виготовленого скла
⁽¹⁾ Використання концентрацій (мг/м^3 н.у.) або масових викидів (кг/т скла) залежить від умов роботи (киснево-паливне згорання, повітряно-газове згорання зі збагаченням середовища киснем – див. Таблицю 5.1).		

Основні викиди, що утворюються в результаті діяльності, пов'язаної з варінням скла, у скляній промисловості, підсумовані у Таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Підсумок викидів в атмосферу в результаті діяльності, пов'язаної з варінням скла

Вид викидів	Джерело / Зауваження
Тверді частки	Перехід компонентів шихти в леткий стан з розплавленої скломаси і наступна конденсація у вигляді субмікронних часток пилу. Винесення дрібнодисперсної речовини з шихти. Продукт згорання деяких видів викопного палива.
Оксиди азоту	Термічні оксиди азоту NO _x , утворені під дією високих температур варіння скла, та миттєве утворення NO _x . Розкладання сполук азоту в матеріалах шихти. Окиснення азоту, що міститься у паливі.
Оксиди сірки	Сірка у паливі. Розкладання сполук сірки в матеріалах шихти – особливо під час процесу освітлення з використанням сульфатів. Окиснення сірководню під час роботи вагранок з гарячим дуттям.
Хлориди / HCl	Присутні у вигляді домішок в деяких видах сировини, особливо у синтетичному карбонаті натрію та привізному скляному бої. NaCl, що використовується у якості сировини (освітлювача) для виробництва деяких видів спеціального скла.
Фториди / HF	Присутні у вигляді незначних домішок в деяких видах сировини, у тому числі у привізному скляному бої. Додаються у якості сировини при виробництві емалевої фрити для надання готовому продукту певних властивостей. Додаються у якості сировини в секторі виробництва скловолокна з безперервних волокон з метою впливу на процес формування (створення поверхневого натягу) та у деякі види скляної шихти для поліпшення плавлення або для надання склу певних властивостей, наприклад, опалесценції. У випадках, коли фториди додаються в шихту, зазвичай у вигляді флюориту, їх неконтрольовані викиди можуть бути дуже великими
Важкі метали (наприклад, V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd)	Присутні у вигляді незначних домішок в деяких видах сировини, скляного бою виробів, використаних споживачем, та палива. Використовуються у флюсах та барвниках у секторі виробництва фрит – зокрема, у виробництві емалевих фрит (переважно свинець та кадмій). Використовуються у деяких рецептурах спеціального скла (наприклад, у свинцевому склі та деяких видах кольорового скла). Селен використовується у якості барвника (бронзове скло) або у якості знебарвлювача для деяких видів прозорого скла і може утворювати як газоподібні викиди, так і викиди твердих часток.
Вуглекислий газ	Продукт згорання. Викидається після розкладання карбонатів у матеріалах шихти (наприклад, у кальцинованій соді, вапняку).
Чадний газ	Продукт неповного згорання, особливо у вагранках з гарячим дуттям.
Сірководень	Утворюється з сірки, присутньої в сировині чи паливі, у вагранках з гарячим дуттям під дією відновлювальних умов, присутніх у деяких зонах печі.

Концентрації викидів важких металів та мікроелементів у деяких процесах можуть бути значними; ці речовини зазвичай присутні у пилі. У Таблиці 3.4 наведені класифікаційні групи, за якими загалом класифікуються викиди металів залежно від їх розрахункового відносного потенційного впливу на навколишнє середовище (див. німецький регламент «Технічні вказівки щодо контролю якості повітря» (TA Luft) за 1986 рік, французьке та італійське законодавство).

Таблиця 3.4. Класифікація металів та їх сполук

Метали групи 1 та їх сполуки	Метали групи 2 та їх сполуки
Миш'як	Сурма
Кобальт	Свинець
Нікель	Хром III
Селен	Мідь
Хром VI	Марганець
Кадмій	Ванадій
	Олово

Деякі реальні приклади рівнів викидів, взяті з матеріалів [42, VDI, 1997], [162, Міжнародна комісія з питань скла – Технічний комітет з питань навколишнього середовища (ICG-TC 13), 2006], наведені у Таблиці 3.5, у якій вказані приклади значень для важких металів, не характерних для використання НДТМ.

Таблиця 3.5. Потенційні викиди важких металів у процесах виробництва скла без застосування методів зниження викидів

Метал	Тарне скло	Плоске скло	Свинцеве кришталеве скло
Ванадій (при спалюванні мазуту)	До 4 мг/м ³ н.у.	До 2 мг/м ³ н.у.	
Нікель (при спалюванні мазуту)	До 0,5 мг/м ³ н.у.	До 0,4 мг/м ³ н.у.	
Хром, усього (зелене скло)	До 3 мг/м ³ н.у.		
Селен, усього (зелене тарне скло)	До 0,8 мг/м ³ н.у.		
Селен, газоподібний (порожнистий флінт)	До 14 мг/м ³ н.у.		
Селен, усього (порожнистий флінт)	До 25 мг/м ³ н.у.		
Селен, усього (бронзове флоат-скло)		До 80 мг/м ³ н.у.	
Свинець	До 4 мг/м ³ н.у.	До 1 мг/м ³ н.у.	До 700 мг/м ³ н.у.
Кадмій	До 0,3 мг/м ³ н.у.	До 0,1 мг/м ³ н.у.	
Сурма			До 10 мг/м ³ н.у.
Миш'як			До 20 мг/м ³ н.у.
Джерело: [42, VDI, 1997], [162, Міжнародна комісія з питань скла – Технічний комітет з питань навколишнього середовища (ICG-TC 13), 2006]			

Операції подальшої обробки

Цей термін означає види діяльності, що виконуються після етапу варіння скла, – наприклад, формування, гартування, нанесення покриття, механічна обробка, тощо. Викиди від операцій подальшої обробки можуть суттєво різнитися для різних секторів і розглядаються в розділах, присвячених конкретним секторам. Хоча у багатьох секторах використовується ряд подібних технологій варіння скла, операції подальшої обробки в більшості випадків унікальні для кожного сектора. Викиди у повітря загалом можуть виникати в результаті таких операцій:

- нанесення покриття та/або сушіння (наприклад, у виробництві мінеральної вати, скловолокна з безперервних ниток, тарного скла та деяких видів плоского скла);
- будь-які види операцій з виготовленими матеріалами, як-от різання, полірування або додаткова обробка (наприклад, у виробництві мінеральної вати, сортового скла, спеціального скла, ВТІВ);
- деякі операції з формування продукції (наприклад, у виробництві мінеральної вати та ВТІВ).

Дифузні / леткі викиди

Дифузні та леткі викиди можуть бути пов'язані з різними операціями процесу виготовлення скла, проте загалом вони не є головною проблемою цього сектора. Основні джерела дифузних/летких викидів, спільні для всіх секторів скляної промисловості, пов'язані з такими ділянками виробництва:

- зберігання та транспортування матеріалу;
- зона завантаження печі (завантажувальна кишеня);
- скловарна піч.

Зберігання та транспортування матеріалу

Викиди твердих часток можуть утворюватися з піску та/або скляного бою, складеного на відкритих ділянках, та витоків з силосів для зберігання. Газоподібні викиди можуть утворюватися в результаті зберігання і транспортування летких рідин та/або газоподібних хімічних речовин, призначених головним чином для операцій подальшої обробки або очищення димових газів (тобто викиди зі сховища аміаку). Інформація щодо запобігання та мінімізації дифузних / летких викидів зі сховищ наведена у Довідковому документі з найкращих технологій та методів управління для викидів зі складів (документ BREF під кодом EFS) [121, Європейська комісія, 2006]. Вплив дифузних та летких викидів у робочій зоні загалом регламентується Нормами щодо охорони здоров'я та техніки безпеки на робочих місцях, які, зокрема, передбачають обізнаність та дотримання вимог. Для вибраного ряду речовин встановлені граничні значення експозиції на робочому місці (OEL), що діють на європейському рівні, у той час як багато інших граничних значень експозиції на робочому місці базуються на національних та міжнародних законодавствах і переліках гранично допустимих концентрацій (наприклад, норми Європейського агентства з безпеки та гігієни праці (OSHA); норми Американської асоціації державних

промислових гігієністів (ACGIH), США; максимальні концентрації на робочому місці (МАК) у Німеччині, тощо). Дифузні викиди вдихуваного кристалічного кремнезему (частки вдихуваного кристалічного кремнезему можуть утворюватися з кременистого піску, який є невід'ємним компонентом рецептури шихти для виробництва скла) регламентуються Європейською угодою щодо соціального діалогу: «Угода щодо охорони здоров'я робітників шляхом належного поводження та використання кристалічного кремнезему та продуктів, які його містять», підписаною у 2006 році [135, Європейська мережа з питань кремнезему (NEPSI), 2006], [169, NEPSI – Настанова з найкращих практик, 2006].

Зона завантаження печі (завантажувальна кишеня)

Викиди твердих часток та газоподібні викиди можуть утворюватися в результаті таких явищ, як винесення, випаровування та розкладання, при завантажуванні шихти певної рецептури у скловарну піч. Загалом зону завантаження (завантажувальну кишеню) тримають закритою завжди, коли це можливо, щоб запобігати як потраплянню всередину повітря, так і утворенню дифузних викидів. У деяких випадках зона завантажувальної кишені може бути обладнана витяжними системами з випуском назовні або, рідше, всередину будівлі поблизу даху; в інших випадках, у конкретних типах печей, завантажувальна кишеня повністю закрыта оболонкою.

Скловарна піч

Дифузні викиди можуть утворюватися з газоподібних продуктів згорання викопного палива та в результаті випаровування/конденсації летких сполук, що містяться у рецептурі шихти. Скловарна піч може бути не повністю герметизована, оскільки в ній є оглядові люки, вльоти пальників та щілини між вогнетривкою цеглою. Розрахунковий об'єм летких газів можна оцінити шляхом складання масового балансу для значимої забруднюючої речовини (наприклад, діоксиду сірки) за умови, що кількість відхідних газів, яка протікає з печі, досить мала у порівнянні з загальним об'ємом відхідних газів, що утворюється під час варіння скла.

3.2.2.2 Викиди у воду

У цілому, викиди у водне середовище порівняно низькі, і у цій сфері існує мало серйозних проблем, специфічних для скляної промисловості. Вода загалом використовується головним чином для очищення та охолодження, і її можна легко переробити або очистити за допомогою стандартних технологій.

У більшості видів діяльності використовуються певні рідини, які часто обмежуються хімічними реагентами для підготовки води, мастилами або мазутом. Усі види рідкої сировини становлять потенційну загрозу для навколишнього середовища у разі їх пролиття або розгерметизації резервуара. У багатьох випадках для контролю будь-яких потенційних викидів достатньо базових практик належного виконання робіт та правильної конструкції. Специфічні питання, пов'язані з водними викидами, розглядаються у розділах, присвячених конкретним секторам. У якості прикладу на Рисунок 3.1 наведена типова принципова схема розподілу води у галузі виробництва тарного скла.

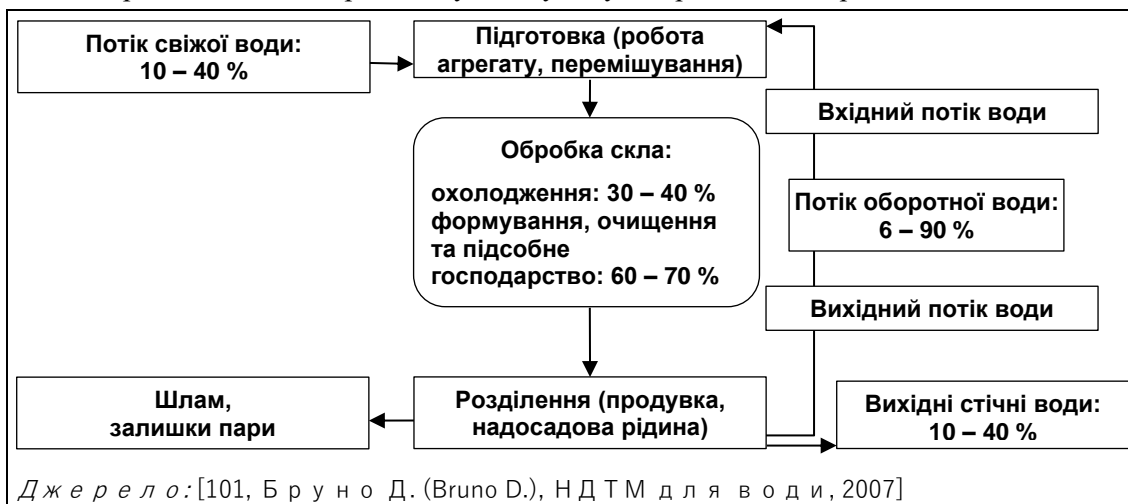


Рисунок 3.1. Типовий розподіл води на заводі з виробництва тарного скла

3.2.2.3 Викиди інших відходів

Особливістю більшості секторів скляної промисловості є те, що переважна більшість скляних відходів, утворених на самому виробництві, повертається в піч для переробки. Основними винятками з цього правила є сектор виробництва безперервних ниток, сектор виробництва ВТІВ та виробники продукції з дуже високими вимогами до якості у секторах виробництва спеціального скла і сортового скла. У секторах виробництва мінеральної вати та фрит спостерігається великий розкид кількості відходів, що переробляються в печі: від випадків, коли відходи взагалі не переробляються, до деяких заводів з виробництва кам'яної вати, на яких переробляється майже 100 % відходів. Серед інших утворених відходів – відходи підготовки та транспортування сировини, відкладення відходів (зазвичай сульфатів) у димоходах відхідних газів та відходи вогнетривких матеріалів, що утворюються в кінці терміну служби печі.

У деяких секторах скляної промисловості для спорудження верхніх стінок, склепін та регенераторів використовуються вогнетривкі матеріали, що містять хром. Хром, поєднаний з магнієм у складі хромомагнетитової цегли, дуже стійкий до винесення з шихти та дії продуктів згорання за високих температур, які присутні в регенераційних камерах. Хром, що використовується для підготовки цих матеріалів, – Cr^{3+} – по суті, нешкідливий, має низьку розчинність і не становить великої небезпеки. Проте за високих температур в лужних та окисних умовах невеликі кількості хрому перетворюються у Cr^{6+} у ході кампанії печі. Сполуки Cr^{6+} легкорозчинні, токсичні і канцерогенні.

Як і у випадку з усіма іншими відходами печі, в кінці кампанії докладають усіх зусиль для переробки цих матеріалів. Якщо це неможливо, у використаних хромомагнетитових вогнетривких матеріалах буде визначено вміст Cr^{6+} , щоб їх можна було правильно класифікувати і належним чином утилізувати. Кількість вогнетривких матеріалів, які містять хром, у даній галузі поступово зменшується шляхом дослідно-конструкторських розробок та реконструкції печей.

Також можуть використовуватися невеликі тоннажі хромоглиноземистих вогнетривких матеріалів високої частоти. Вони зазвичай придбаваються з розрахунку на те, що в кінці кампанії виробник забере їх назад для переробки. У більшості печей з виробництва безперервних скляних ниток цей матеріал використовується у великих кількостях.

3.2.3 Енергія

[15, Група підтримки з питань енергії та технології (ETSU), 1992], [19, CPIV, 1998]

Виробництво скла енергоємне, і вибір джерела енергії, технології нагрівання та методу використання відхідного тепла має центральне значення для конструкції печі. Вибір цих же особливостей є одним із найважливіших чинників, що впливають на екологічні показники та енергоефективність операції варіння скла. Таким чином, енергія є одним із найважливіших видів вхідних ресурсів для процесу виробництва скла, і трьома основними джерелами енергії є мазут, природний газ та електроенергія. Винятком з цього правила є виробництво кам'яної вати, у якому панівною технологією варіння скла є вагранка з гарячим дуттям, що працює на коксі. Вибір джерела енергії дуже залежить від власних енергетичних стратегій та/або політик кожної країни-члена ЄС (наприклад, стимулювання використання викопного палива замість ядерної енергії). Цей тип енергії безпосередньо впливає на викиди забруднювачів повітря (наприклад, SO_x з палива, яке містить сірку, або NO_x з природного газу, який містить значну кількість азоту, тощо). Він також впливає на те, звідки будуть утворюватися викиди: безпосередньо з об'єкта чи опосередковано за межами об'єкта.

У минулі десятиріччя основним паливом для виробництва скла був мазут, хоча у деяких європейських країнах найбільш поширеним паливом зараз є природний газ. Існує кілька сортів мазуту від важкого до легкого, які різняться за ступенем чистоти та вмістом сірки. Багато великих печей розраховані на роботу як на природному газі, так і на мазуті, і в печах, що працюють переважно на газу, на одному або кількох вльотах нерідко спалюється мазут. Також все більшого поширення набуває змішування мазуту та газу в одному й тому ж пальнику.

Третім поширеним джерелом енергії для виробництва скла є електроенергія, яка може використовуватися як єдине джерело енергії або у поєднанні з викопним паливом. Нагрівання електричним опором – це єдина технологія, яка набула широкого комерційного вжитку у скляній промисловості. Опосередковане електричне нагрівання використовується лише в дуже малих ванних та горшкових печах або для нагрівання частини ванної печі (наприклад, виробіткової частини або каналу живильника).

Загалом енергія, потрібна для варіння скла, складає понад 75 % загальної потреби в енергії для виробництва скла. Іншими значними споживачами енергії є канали живильників, процес формування, гартування, обігрів фабрики та загальне обслуговування. Типове споживання енергії у секторі тарного скла, на який припадає близько 53 % виходу продукції в ЄС, складає 79 – 82 % для печі; 6 % для каналу живильника; 4 % для стисненого повітря; 2 % для відпалювального лера та 6 % для інших випадків використання.

Слід зазначити, що у контексті цього документа показники енергії наведені для енергії в місці її використання, без приведення до первинної енергії.

Незважаючи на великі відмінності між секторами та окремими заводами, наведений приклад для тарного скла можна вважати у цілому характерним для всієї промисловості. Основним винятком з цього узагальнення є сектор виробництва мінеральної вати, у якому основними споживачами енергії також є операції волокнуутворення та стверджувальна піч. У секторі виробництва тарного скла особливим випадком є виробництво флаконної продукції, у якому близько 50 % загального споживання енергії витрачається на варіння скла через особливі вимоги до якості кінцевого продукту.

Як було сказано вище, основними джерелами енергії для варіння скла є мазут та природний газ, і невеликий її відсоток припадає на електроенергію. Канали живильників та відпалювальні лери обігріваються газом або електроенергією, а крім того, електрична енергія використовується для приведення в дію повітряних компресорів та вентиляторів, необхідних для протікання технологічного процесу. До операцій загального обслуговування належить перекачування води, виробництво пари для обігрівання сховищ палива та супутникове обігрівання, зволоження/нагрівання шихти та опалення будівель. Деякі печі обладнані котлами-утилізаторами для виробництва всієї необхідної пари або її частини.

У якості орієнтовного критерію енергоефективності технологічних процесів зручно використовувати теоретичну потребу в енергії на варіння скла. Теоретичні потреби в енергії на варіння найбільш поширених видів скла з рецептур шихти, у яких не переробляється скляний бій, наведені у Таблиці 3.6. У розрахунку припускається, що все доступне тепло повністю використовується і складається з трьох компонентів:

- теплота реакції для утворення скла з сировини;
- теплота (ентальпія), необхідна для збільшення температури скла з 20 до 1500 °C, та
- тепловміст газів (головним чином CO₂), що виділяються з шихти під час варіння скла.

Теоретичні рівні, наведені у Таблиці 3.6, стосуються лише енергії, потрібної для варіння рецептур шихти. Додаткова енергія потрібна для освітлення, формування і заключної обробки скла та для інших допоміжних операцій, таких як подавання стисненого повітря.

Таблиця 3.6. Теоретичні потреби в енергії на варіння поширених видів скла з рецептур шихти, у яких не переробляється скляний бій

Тип скла	Теплота реакції	Ентальпія скла	Ентальпія викинутих газів	Теоретична потреба в енергії
	ГДж/тонна	ГДж/тонна	ГДж/тонна	ГДж/тонна
Вапняно-натрієве (плоске/тарне скло)	0,49	1,89	0,30	2,68
Боросилікатне (8 % B_2O_3)	0,41	1,70	0,14	2,25
Боросилікатне (13 % B_2O_3)	Н/Д	Н/Д	Н/Д	2,4
Кришталеве скло (19 % PbO)	0,40	1,69	0,16	2,25
Кришталеве скло (24 % PbO)	Н/Д	Н/Д	Н/Д	2,1
Склокристалічний матеріал з барієм	1,02	1,91	0,31	3,24
Н/Д = немає даних. Джерело: [15, ETSU 1992], [102, ARC – Потреби в енергії, 2008]				

Фактичні потреби в енергії на варіння скла, що спостерігаються в різних секторах, широко різняться від приблизно 3,3 до більш ніж 40 ГДж/тонну звареного скла. Ця цифра дуже сильно залежить від конструкції печі, масштабу і методів роботи та типу скла. Проте більшість скла виготовляється у великих печах, і потреба в енергії на його варіння загалом менша, ніж 8 ГДж/тонну. Споживання енергії докладніше розглядається для кожного сектору за наявності такої інформації:

Загалом енергія підводиться до скловарної печі за рахунок:

- спалювання палива;
- підігрівання повітря, що надходить для згорання;
- електричного живлення;
- фізичної теплоти палива, кисню або надлишку повітря;
- (попередньо підігрітої) шихти.

Оскільки виробництво скла – це енергоємний високотемпературний процес, у ньому, звісно, потенційно можливі великі втрати тепла. За останні роки було досягнуто значних успіхів у поліпшенні енергоефективності, і деякі процеси (наприклад, великі регенеративні печі) наближаються до теоретичного мінімального споживання енергії на варіння скла з урахуванням внутрішніх обмежень цих процесів.

Сучасна регенеративна піч для виробництва тарного скла має загальний термічний ККД близько 50 % (максимум 60 %), втрати з відхідними газами для неї становлять близько 30 %, а переважну більшість решти теплових втрат становлять втрати через конструкцію печі. Такий ККД досить добре узгоджується з іншими масштабними видами діяльності, пов'язаними зі спалюванням палива, особливо з у виробництвом електроенергії, ККД якого зазвичай знаходиться в межах 35 – 45 %. Втрати через конструкцію обернено пропорційні розміру печі: це зумовлено головним чином зміною відношення площі поверхні до об'єму. Електричні та киснево-паливні печі зазвичай мають вищу питому енергоефективність, ніж печі, що працюють на викопному паливі, проте у них є деякі недоліки, які будуть розглянуті далі у цьому документі. Типовий розподіл виділення енергії для виробництва найбільш поширених видів промислового скла наведено у Таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. Приклади розподілу виділення енергії для виробництва найбільш поширених видів промислового скла

Тип скла	Плоске скло	Тарне скло
Тип печі	Флоат-ванна, регенеративна з поперечним полум'ям	Регенеративна з підковоподібним полум'ям
Питоме знімання скломаси	600 тонн/добу	260 тонн/добу
Скляний бій	25 %	83 %
Загальне споживання енергії (ГДж/тонну звареного скла)	6,48 ГДж/тонну звареного скла	3,62 ГДж/тонну звареного скла
Випаровування води (вологість шихти)	1 %	1,5 %
Ендотермічні реакції	6 %	2,4 %
Фізична теплота скляного розплаву (корисна)	33 %	44,2 %
Втрати тепла через стінки	15 %	18,3 %
Втрати тепла через охолодження і витоки	9 %	3,7 %
Втрати з димовими газами від нижнього регенератора	32 %	27,6 %
Втрати тепла з регенератора (через конструкцію)	4 %	2,3 %
Джерело: [97, Беркенс, Енергетичні баланси, 2006]		

Нижче окреслені деякі з більш загальних чинників, що впливають на споживання енергії у печах, що працюють на викопному паливі. Для будь-якої конкретної установки важливо враховувати проблеми, властиві для конкретного об'єкта, які впливають на застосовність наведеної нижче загальної інформації. Ці чинники також впливають на викиди в перерахунку на тонну скла тих речовин, які безпосередньо пов'язані з кількістю спаленого викопного палива, особливо CO₂, SO₂ та NO_x. Основні проблеми, властиві для конкретних об'єктів, наведені нижче.

- Потужність печі суттєво впливає на споживання енергії на тонну звареного скла, оскільки великі печі за своєю суттю більш енергоефективні через менше відношення площі поверхні до об'єму.
- Також велике значення має пропускна здатність печі: у більшості печей найбільш енергоефективне виробництво досягається за пікового навантаження. Відмінності у навантаженні печі великою мірою залежать від конкретних ринків і можуть бути досить значними, особливо для деяких виробів з тарного скла та сортового скла.
- Зі старінням печі її термічний ККД зазвичай зменшується. Ближче до кінця кампанії печі споживання енергії на тонну звареного скла може бути аж на 20 % більшим, ніж на початку кампанії.
- Використання електричного форсування підвищує енергоефективність печі. Проте, якщо враховувати вартість електроенергії та ефективність виробництва і розподілу електроенергії, загальне вдосконалення буде нижчим (або навіть від'ємним). Електричне форсування загалом використовується для підвищення продуктивності варіння скла в печі, а не для підвищення енергоефективності.
- Використання скляного бою може значно зменшити споживання енергії, оскільки скляний бій у свій час вже отримав хімічну енергію, необхідну для плавлення сировини. Як правило, при збільшенні використання скляного бою на кожні 10 % заощаджується 2 – 3 % енергії у процесі варіння скла.
- Споживання енергії також можна зменшити за допомогою киснево-паливного горіння, особливо у невеликих печах. Видалення більшої частини азоту з атмосфери згорання зменшує об'єм відхідних газів, що виходять із печі, на 60 – 70 %. Це дає змогу заощадити енергію, оскільки зникає необхідність нагрівати атмосферний азот до температури полум'я; більшість киснево-паливних печей не обладнані системами використання відхідного тепла.

У викладених вище міркуваннях для конкретних об'єктів не враховуються деякі важливі проблеми за межами об'єкта, які впливають на застосовність різних технологій варіння скла, – зокрема, вартість електроенергії та ефективність виробництва і розподілу електроенергії.

Енергоефективність – це дуже складне питання, яке більш вичерпно розглядається у розділах цієї частини, присвяченим конкретним секторам, та у частині 4. З 1960-х років питоме споживання енергії у скляній промисловості в цілому знизилося приблизно на 1,5 % за кожен рік. На сьогодні ця цифра нижча, оскільки системи наближаються до своїх термодинамічних меж.

У Таблиці 3.8 наведені корисні приклади питомого споживання енергії для ряду сучасних енергоефективних скловарних печей.

Таблиця 3.8. Приклади питомого споживання енергії для ряду скловарних печей

Тип ванної печі	Тип скла	Площа варильної зони ⁽¹⁾ (м²)	Глибина скломаси у варильній частині ванни (мм)	Місткість ванни у варильній частині (т)	Відношення довжини до ширини ванни	Вихід продукції (т/добу)	Питомий вихід продукції (т/м²/добу)	Питоме споживання енергії ⁽²⁾ (кДж/кг скла)
Піч з поперечним полум'ям та регенеративним підігріванням повітря	Тарне скло	15 – 155	1200 – 1700	50 – 500	1,9 – 3,0:1	40 – 500	2,5 – 4,0	4200
Регенеративна піч з підковоподібним полум'ям	Тарне скло	15 – 140	1200 – 1700	50 – 500	1,9 – 2,5:1	40 – 450	2,5 – 4,0	3800
Рекуперативна піч	Тарне скло	До 250	1100 – 1600	50 – 650	2,0 – 2,8: 1	40 – 450	2,0 – 3,0	5000
Киснево-паливна піч	Тарне скло	110 – 154	1300 – 1700	390 – 600	2,0 – 2,4:1	350 – 425	2,3 – 3,5	3050 – 3500 ⁽³⁾
Піч з поперечним полум'ям та регенеративним підігріванням повітря	Плоске скло	100 – 400	1200 – 1400	300 – 2500	2,1 – 2,8:1	150 – 900	2,3 – 2,7	6300
Піч з поперечним полум'ям та регенеративним підігріванням повітря	Скло для кінескопів (екран)	70 – 300	900 – 1100	160 – 700	2,0 – 3,0:1	100 – 500	1,1 – 1,8	8300
Піч з рекуперативним підігріванням повітря	Столовий посуд	15 – 60	1100 – 1300	40 – 180	1,8 – 2,2:1	15 – 120	1,0 – 2,0	6700 – 11000 ⁽⁴⁾
Піч з поперечним полум'ям та регенеративним підігріванням повітря	Столовий посуд	30 – 40	800 – 1000	65 – 100	2,0 – 3,0:1	40 – 60	1,2 – 1,6	8000 – 11000
Регенеративна піч з підковоподібним полум'ям	Столовий посуд	45 – 70	800 – 1800	100 – 250	1,8 – 2,2:1	120 – 180	2,0 – 3,0	5000 – 6000
Піч з рекуперативним підігріванням повітря	Скловата	15 – 110	800 – 1500	50 – 200	2,8: 1	30 – 350	3,4	4300 – 6500

⁽¹⁾ Площа поверхні скловарної печі для варіння та освітлювання скла; зазвичай це зона між завантажувальною кишенею та протоком; у випадку печей для виробництва флоат-скла до цієї площі не входить зона кондиціонування, яка не нагрівається.

⁽²⁾ Питоме споживання енергії без виробничої частини та живильника під час пуску та роботи під номінальним навантаженням (споживання енергії загалом збільшується на 0,1 – 0,2 % в місяць внаслідок старіння печі, без електричного форсування, підігрівання розплаву та вторинного використання відхідного тепла) стандартизоване для таких умов:

- 70 % скляного бою для тарного скла;
- 20 % скляного бою для плоского скла;
- 40 % скляного бою для скла, з якого виготовляються кінескопи, та столового посуду;
- заощадження енергії на кожен додатковий відсоток використаного скляного бою: від 0,15 до 0,3 %.

Наведені значення питомого споживання енергії є приблизними орієнтовними значеннями для заводів середнього та великого розміру. Вони не підходять для аналізу енергетичного балансу через великі відмінності, що спостерігаються в окремих випадках. Дійсне питоме споживання енергії залежить не лише від вмісту скляного бою та розміру ванної печі, а й, *окрім усього іншого*, від складу шихти, підігрівання повітря, питомого навантаження ванної печі, ізоляції ванної печі та стандарту, що встановлює необхідну якість скла.

⁽³⁾ Вказані дані базуються на досвіді роботи двох промислових установок з використанням лише киснево-паливної технології. У значеннях питомого споживання енергії не врахована енергія, необхідна для виробництва кисню.

⁽⁴⁾ Нижній діапазон питомого споживання енергії для рекуперативних печей може бути пов'язаний з нижчими стандартами якості скла, що виготовляється. Загалом у регенеративних печах питоме споживання енергії менше, ніж у рекуперативних печах.

Джерело: [42, VDI, 1997], [136, EURIMA, 2008], [137, Сортове скло, 2008]

3.2.4 Шум

У процесі виробництва скла шум може становити значну проблему для деяких секторів, особливо для секторів виробництва тарного та сортового скла. На практиці не завжди можливо виключити або знизити утворення шуму, і у випадках, коли рівні шуму неможливо знизити, зазвичай вживають запобіжних заходів для захисту працівників. Рівні шуму в межах установки є головним чином проблемою гігієни праці; вплив шуму на операторів не входить до змісту цього документа. Вплив скляного заводу на навколишнє середовище слід оцінювати з урахуванням близькості заводу до чутливих об'єктів, які сприймають шум.

Значними джерелами шумового випромінювання є:

- стиснене повітря для охолодження;
- вентилятор для нагнітання повітря, яке забезпечує згорання;
- вентилятор для витягування відхідних газів;
- формувальні машини (наприклад, у секторах виробництва тарного, сортового та спеціального скла);
- конвеєрні стрічки для транспортування скляної продукції;
- операції різання (наприклад, плоского та спеціального скла);
- операції шліфування та полірування (наприклад, сортового та спеціального скла).

Рівні шуму (в децибелах) залежать від конкретного обладнання/заводу і в деяких зонах установки можуть перевищувати значення у 85 дБА.

До найбільш поширених технологій зниження рівня шуму належать:

- обгородження шумного обладнання/операцій в окремих конструкціях;
- використання насипів для екранування джерела шуму.

3.3 Тарне скло

[19, CPIV, 1998], [64, FEVE, 2007], [126, FEVE, 2009]

Як було описано у частині 1, тарне скло є найбільшим сектором скляної промисловості у ЄС: на нього припадає 50 – 60 % загального об'єму виробництва (58 % у 2007 році). У 2005 році в цьому секторі працювало приблизно 300 печей на приблизно 170 установках. Ці печі представлені такими типами, як регенеративні печі з поперечним полум'ям, регенеративні печі з підковоподібним полум'ям, рекуперативні печі, електричні печі та газокисневі печі; розміри печей також дуже різняться – від менш ніж 50 000 тонн на рік (10 000 тонн у випадку виробництва флаконів для парфумів) до більш ніж 150 000 тонн на рік. Об'єм виробництва на установці з кількома печами може перевищувати 1 000 тонн на добу.

Звісно, у такому великому та розмаїтому секторі вхідні ресурси та вихідні продукти технологічних процесів також суттєво різняться за кількістю та типами. Проте продукція цього сектора виготовляється майже виключно за вапняно-натрієвими або модифікованими вапняно-натрієвими рецептурами, тож різноманіття сировини, з якої виготовляється скло, обмежене.

Відношення кількості вхідної сировини до кількості виготовленого розплаву різняться залежно від частки використаного скляного бою, від якої залежить кількість газів, що виділяється з сировини при варінні скла. На видалення газів із сировини та її сушіння може припадати від 3 до 20 % вхідних ресурсів, і 1 тонна скляного бою замінює приблизно 1,2 тонни свіжої сировини. Коефіцієнт готової до упаковки продукції може варіюватися від менш ніж 50 % для деяких спеціальних видів складної парфумерної тари до більш ніж 90 % для великосерійної стандартної тари, а більшість технологічних скляних відходів повертається назад у піч для переробки.

У Таблиці 3.9 наведено огляд основних вхідних ресурсів та вихідних продуктів технологічного процесу. Наведені викиди відповідають типовим печам середньої потужності. Це сукупність даних, взятих з експертних суджень, та значень, отриманих у результаті опитування, проведеного Європейською асоціацією тарного скла (FEVE). Повідомлені значення можна вважати лише орієнтовними. Точніші дані про споживання енергії та викиди наведені у розділі 3.3.2.2.

Таблиця 3.9. Огляд основних вхідних ресурсів та вихідних продуктів для виробництва тарного скла (орієнтовні значення у перерахунку на одну тону розплавленої скломаси)

Вхідні ресурси	Одиниці/тону (звареного скла)	Діапазон (середнє значення)			
Скляний бій виробів, використаних споживачем	тонна	0	-	0,85	(0,40)
Кварцовий пісок	тонна	0,04	-	0,66	(0,35)
Карбонати	тонна	0,02	-	0,40	(0,20)
Мінеральні мікрокомпоненти	тонна	0,002	-	0,05	(0,02)
Вогнетривкі матеріали печі	тонна	0,005	-	0,01	(0,008)
Пакувальні матеріали	тонна	0,040	-	0,080	(0,045)
Форми та інше	тонна	0,004	-	0,007	(0,005)
Енергія: мазут/газ, усього (*)	ГДж	4	-	14	(6,5)
Енергія: електроенергія, усього (*)	ГДж	0,6	-	1,5	(0,8)
Вода	м ³	0,3	-	10	(1,8)
Вихідні продукти					
Готова упакована продукція	тонна	0,75	-	0,97	(0,91)
Викиди в атмосферу					
CO ₂	кг	300	-	1000	(430)
NO _x	кг	0,2	-	4,4	(2,0)
SO _x	кг	0,2	-	4,1	(1,3)
Пил (без вторинних засобів зниження викидів)	кг	0,2	-	0,6	(0,3)
Пил (з вторинними засобами зниження викидів)	кг	0,002	-	0,05	(0,017)
HCl (без вторинних засобів зниження викидів)	кг	0,02	-	0,08	(0,029)
HCl (з вторинними засобами зниження викидів)	кг	0,005	-	0,06	(0,027)
HF (без вторинних засобів зниження викидів)	кг	0,001	-	0,022	(0,007)
HF (з вторинними засобами зниження викидів)	кг	0,00005	-	0,007	(0,002)
Метали (без вторинних засобів зниження викидів)	кг	0,0002	-	0,015	(0,004)
Метали (з вторинними засобами зниження викидів)	кг	0,00006	-	0,002	(0,001)
H ₂ O (випаровування та згорання)	тонна	0,3	-	10	(1,8)
Відходи					
Стічні води	м ³	0,2	-	9,9	(1,6)
Відходи на переробку	тонна	0,002	-	0,006	(0,005)
Інші відходи	тонна	0,003	-	0,015	(0,005)
(*) Загальна енергія (піч та інші елементи) для типового заводу з печами, що працюють на вичерпаному паливі.					
Джерело: [19, CPIV, 1998], [64, FEVE, 2007]					

3.3.1 Вхідні ресурси технологічного процесу

Матеріали, що використовуються в секторі виробництва тарного скла, підсумовані в Таблиці 3.10.

Таблиця 3.10. Матеріали, що використовуються в секторі тарного скла

Опис	Матеріали
Склоутворювальні матеріали	Кременистий пісок, технологічний скляний бій, скляний бій виробів, використаних споживачем
Проміжні продукти та модифікатори скла	Карбонат натрію, вапняк, доломіт, шлак доменних печей, польовий шпат, нефеліновий сієніт, карбонат калію, пил з фільтрів
Окиснювачі та освітлювачі скла	Сульфат натрію, вуглець, нітрат натрію або нітрат калію
Барвники та знебарвлювачі скла	Хроміт заліза, оксид заліза, сульфід заліза, оксид кобальту, оксид церію, селен або селеніт цинку
Засоби для покриття виробів (гаряче покриття)	Неорганічні або органічні хлориди металів. Переважно тетрахлорид олова, тетрахлорид титану та трихлорид монобутилолова
Мастила для змащування продукції	Мастила на основі поліетилену і жирні кислоти (наприклад, олеїнова кислота)
Паливо	Мазут, природний газ, електроенергія, бутан, пропан
Вода	Водопровід та місцеві природні джерела (колодязі, річки, озера, тощо)
Допоміжні матеріали	Пакувальні матеріали, у тому числі пластмаси, папір, картон та дерево. Мастила для полегшення виймання виробів з форм – зазвичай високотемпературні розділові мастила на основі графіту. Мастила для машин, переважно мінеральні масла. Технологічні гази, кисень та діоксид сірки. Хімічні речовини для підготовки охолоджувальної води та очищення стічних вод.
Джерело: [19, СРІV, 1998]	

Найбільш значними вхідними ресурсами технологічного процесу є кремнеземвмісні матеріали (пісок та скляний бій) і карбонати (кальцинована сода, доломіт та вапняк). Сировина для скляної шихти змішується у належній пропорції для виготовлення ряду скляних сумішей різного складу, перелічених у розділі 2.4. У більшості варіантів складу тарного скла понад 90 % скла припадає на кремній, натрію та кальцій, які прийнято виражати у вигляді оксидів (SiO_2 : 71 – 73 %, Na_2O : 12 – 14% та CaO : 10 – 12 %). Діоксид кремнію отримується переважно зі скляного бою та піску. Оксид натрію отримується переважно зі скляного бою та кальцинованої соди, а оксид кальцію – головним чином зі скляного бою, вапняку та, меншою мірою, доломіту.

У багатьох процесах виробництва тарного скла шихта містить значну кількість скляного бою (середній вміст для сектору – 50 %), що складається зі зворотного скляного бою, та скляного бою виробів, використаних споживачем. Скляний бій виробів, використаних споживачем, може застосовуватися у дуже різних кількостях (від 0 до 80 %), проте майже у всіх процесах переробляється зворотний скляний бій, який зазвичай складає близько 10 % шихти. Внесена кількість інших матеріалів для виробництва скла – зокрема, піску, кальцинованої соди, вапняку та доломіту – різниться залежно від кількості та складу скляного бою, що використовується.

Використання матеріалів для поверхневої обробки продукції, тобто засобів для покриття та змащування, різниться для різних процесів. Проте такі матеріали використовуються в дуже малих кількостях у порівнянні з сировиною для виробництва скла – зазвичай порядку кількох кілограмів у день на виробничу лінію (див. розділ 3.3.2.3 та розділ 4.5.1).

У різних процесах використовуються різні види палива, проте зазвичай для варіння скла використовуються мазут, природний газ та електроенергія – окремо або у поєднанні. Канали живильників та відпалювальні лери обігріваються газом або електроенергією, які також використовуються для опалення та операцій загального обслуговування. У якості резервного палива іноді використовується легкий мазут, пропан та бутан.

Вода у секторі виробництва тарного скла використовується головним чином в охолоджувальних контурах та для очищення. Вода часто використовується (зазвичай у вигляді пари) для зволоження матеріалів шихти (від 0 до 4 % вологи) для запобігання розділенню сировини та для зменшення винесення пилу з печі. Охолоджувальна вода використовується – зазвичай у замкнених або незамкнених контурах – для охолодження різних елементів обладнання та гарячого скла з виробничого браку; при цьому виникають відповідні втрати води на випаровування та продування. Фактичне споживання води і викиди водяної пари можуть різнитися залежно від місцевих умов (наприклад, клімату, географічного розташування та твердості води, що вноситься в систему).

3.3.2 Викиди у повітря

3.3.2.1 Сировина

У більшості сучасних процесів виробництва тарного скла силоси та змішувальні резервуари обладнані системами фільтрів, які знижують викиди пилу до менш ніж 5 мг/м³ н.у. Масові викиди з систем – як оснащених, так і не оснащених фільтрами – залежать від кількості операцій транспортування, розмірів зерен та кількості матеріалу, що транспортується.

3.3.2.2 Варіння скла

У секторі виробництва тарного скла найбільше потенційне значення для навколишнього середовища мають викиди у повітря в результаті діяльності, пов'язаної з варінням скла. Речовини, що при цьому викидаються, та їх джерела вказані у розділі 3.2.2.1. Більшість печей у цьому секторі обігріваються переважно викопним паливом – як природним газом, так і мазутом. Проте, з огляду на великий розмір та широке розповсюдження цього сектора, у ньому експлуатується особливо велике різноманіття печей, а тому рівні викидів варіюються у дуже широкому діапазоні. Це чітко видно з таблиць, наведених у цьому розділі, у яких детально викладені характеристики печей та повідомлені рівні викидів, отримані в результаті статистичного опитування, проведеного серед членів Європейської асоціації тарного скла (FEVE). Дані були повідомлені для максимум 244 печей, що працювали на викопному паливі, та чотирьох повністю електричних печей за звітний рік 2005. Таким чином, це приблизно 80 % установок у країнах ЄС-27. У цих таблицях діапазони викидів поділяються, залежно від конкретного випадку, на діапазони викидів з використанням та без використання первинних заходів та вторинних технологій.

Слід пам'ятати, що повідомлені дані про викиди відповідають аналізу, проведеному згідно з вимогами до звітування у країнах/регіонах, де знаходяться ці установки, а технології відбору проб та вимірювання, що при цьому використовувалися, були неоднаковими. Дані вказані для обмеженого інтервалу часу – загалом меншого, ніж три години – і тому чутливі до перехідних режимів експлуатації. Крім того, у випадках, коли використовуються стандартизовані методи, відповідні результати виражені без урахування їх невизначеності. Тому дані, представлені у Таблиці 3.13, Таблиці 3.14, Таблиці 3.15, Таблиці 3.16 та Таблиці 3.17, можна вважати лише такими, що характеризують діапазон фактичних викидів на момент проведення опитування. Для надання кращого уявлення про репрезентативність повідомлених значень викидів дані наведені у вигляді як середнього арифметичного / мінімального / максимального значення за всім набором даних (100 % даних), так і середини 90-ого процентиля (тобто від 5 до 95 %).

Слід наголосити, що на момент проведення опитування все ще тривало надання початкових дозволів у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень (ІРРС). Зокрема, у 2003 – 2005 роки почали активніше встановлювати обладнання для зниження викидів пилу. З 2005 року була введена в експлуатацію значна кількість нових систем зниження викидів. Передбачається, що цей процес буде продовжуватися, і на момент проведення опитування у 2005 році передбачалося, що в майбутньому з'явиться багато нових установок.

У Таблиці 3.11 представлено статистичний розподіл печей з опитування FEVE за розмірами і типами станом на 2005 рік.

Таблиця 3.11. Статистичні дані про розміри та типи печей з опитування FEVE (значення за 2005 рік)

Розміри печей за типами	Повідомлені дані	Кількість значень	Кількість звареного скла (тонн/добу) ⁽¹⁾		
			Середнє	Мін.	Макс.
Усі типи продукції					
Усі типи печей	100 %	248	233	22	521
З поперечним полум'ям, регенеративні	100 %	55	289	130	520
З підковоподібним полум'ям, регенеративні	100 %	152	229	40	521
Рекуперативні	100 %	29	185	22	376
Киснево-паливні	100 %	8	180	75	305
Електричні	100 %	4	61	40	100
Виробництво пляшок/банок					
Усі типи печей	100 %	222	249	56	521
З поперечним полум'ям, регенеративна	100 %	55	289	130	520
З підковоподібним полум'ям, регенеративна	100 %	138	240	56	521
Рекуперативні	100 %	23	214	80	376
Киснево-паливні	100 %	5	242	200	305
Електричні	100 %	1	100	100	100
Виробництво флаконної продукції					
Усі типи печей	100 %	20	80	22	300
З підковоподібним полум'ям, регенеративні	100 %	10	97	40	300
Рекуперативні	100 %	5	69	22	127
Киснево-паливні	100 %	2	76	76	76
Електричні	100 %	3	47	40	60
Змішане виробництво пляшок / флаконної продукції					
Усі типи печей	100 %	6	147	75	245
З підковоподібним полум'ям, регенеративні	100 %	4	171	98	245

(¹) Виробництво скла (у тоннах розплавленої скломаси/добу) характеризує умови експлуатації печі, що відповідають наданим даним про викиди.

Джерело: [126, FEVE, 2009]

Регенеративні печі з підковоподібним полум'ям становлять >60 %, охоплюючи практично весь діапазон продуктивності. Було повідомлено лише про вісім киснево-паливних печей (3,2 % від загальної кількості). Ці значення підкреслюють, зокрема, різницю у середній кількості розплавленої скломаси для печей з виробництва флаконної продукції, еквівалентне значення для яких становить ~80 тонн/добу, у порівнянні з масовим виробництвом пляшок і банок, середнє значення для яких становить ~250 тонн/добу.

У Таблиці 3.12 наведені статистичні дані про загальну частку скляного бою, використаного у виробництві скла різних кольорів. Дані стосуються опитування, проведеного FEVE за 2005 рік.

Загальні частки скляного бою, наведені у Таблиці 3.12, виражені як загальна кількість скляного бою на тонну звареної скломаси. Ці значення не відповідають ступеням переробки скла в ЄС з кількох причин. Дані ЄС стосуються зібраного скла, а не скляного бою, використаного на установках з виробництва скла у ЄС. Зібране скло неминуче містить певний відсоток домішок (до 5 %). Не все зібране скло, знову ж таки, використовується у виробництві тарного скла. У даних ЄС не враховується зворотний скляний бій. Не все скло, виготовлене у ЄС, повторно використовується в ЄС, і не все скло, використане в ЄС, було виготовлене в ЄС.

Таблиця 3.12. Статистичні дані про загальні частки скляного бою для печей з виробництва тарного скла у ЄС, отримані за результатами опитування FEVE для різних кольорів скла (значення за 2005 рік)

Частки скляного бою	Повідомлені дані	Кількість значень	Загальна частка скляного бою на піч (загальна кількість скляного бою / тонни звареного скла, у %) ⁽¹⁾		
			Середнє ⁽²⁾	Мін.	Макс.
Флінт (безбарвне скло)	100 %	123	33	5	74
Бурштинове	100 %	37	49	15	81
Зелене	100 %	76	72	30	96
Інші кольори	100 %	13	55	20	85
⁽¹⁾ Загальні частки скляного бою на піч виражені як загальна кількість скляного бою (зворотного + привізного) на тонну звареного скла. Ці значення не відповідають ступеням переробки скляних відходів у ЄС (див. текст, наведений у вступі до таблиці). ⁽²⁾ Вказані середні значення є середнім арифметичним значенням часток скляного бою для окремих печей і не середні загальні частки скляного бою у цілому. Джерело: [126, FEVE, 2009]					

Частки скляного бою дуже різняться, набуваючи значень у всьому діапазоні від 5 до 96 %, і на практиці обмежені доступністю скляного бою належної якості. Це особливо стосується безбарвного «флінту», для якого вміст домішок у кольоровому скляному бої повинен бути сумісним з технічними вимогами до кольору кінцевої продукції. Деякі ринки потребують безбарвного скла дуже високої чистоти (так званий «екстра-флінт») – наприклад, для парфумів та деяких елітних алкогольних напоїв, – а це означає, що вимоги до чистоти всіх видів сировини такі ж високі. Таким чином, у цьому випадку ступінь переробки зазвичай обмежується зворотним скляним боєм і відповідає нижнім значенням зареєстрованого діапазону (всі кольори скла та флінт). У більшості випадків зелене скло найменш чутливе до таких обмежень, і тому містить найбільші частки скляного бою. Якість і доступність скляного бою докладніше розглядається у розділі 4.8.3. Слід наголосити, що частку скляного бою для конкретної печі (або для конкретного кольору скла) слід враховувати у ширшому регіональному, національному чи міжнародному контексті з огляду на постачання та потребу в утилізованому склі після використання споживачем.

Частка скляного бою суттєво і систематично впливає на енергію варіння скла за будь-якої технології варіння скла або розміру печі і, як уже було зазначено, у багатьох випадках обмежена зовнішніми чинниками, зокрема, доступністю належного скляного бою.

У Таблиці 3.13 наведена енергія варіння скла для різних типів печей і діапазонів розмірів печей за даними опитування FEVE станом на 2005 рік. При цьому питомі значення енергії варіння скла були приведені до 50 % скляного бою за співвідношенням, наведеним в іншому місці цього документа (-2,5 % енергії при збільшенні частки скляного бою на кожні 10 %).

Для внесення цієї поправки загальне споживання енергії на варіння скла (E_M) для кожної печі в опитуванні (нижча теплота згорання для викопних видів палива + безпосередня електрична енергія) була помножена на коефіцієнт, що відповідає загальній частці скляного бою (C_T), і у результаті було отримане значення споживання енергії, приведене до 50 % скляного бою (E_{M50}). Приблизна формула, що використовувалася для розрахунку, наведена нижче:

$$E_{M50} = E_M / \{1 + [(50 - C_T) \times 0,025] / 10\}$$

де:

E_{M50} (ГДж/тонну звареного скла) = споживання енергії, приведене до 50 % скляного бою

E_M (ГДж/тонну звареного скла) = загальне споживання енергії на варіння скла

C_T (%) = загальна частка скляного бою.

Для того, щоб можна було приблизно порівняти повітряно-паливне та киснево-паливне згорання, при визначенні питомої енергії варіння скла необхідно врахувати електроенергію, потрібну для виробництва кисню. Для того, щоб енергія, використана для

виробництва кисню, залишалася узгодженою з обчисленням споживання електроенергії, наведеним у цьому розділі, вона вказується у тій кількості, у якій вона була використана на скляному заводі. Відповідна кількість оцінюється за постійним (консервативним) відношенням електроенергії для виробництва кисню, яке еквівалентне 0,07 ГДж на ГДж нижчої теплоти згорання, яка відповідає використаній півчю енергії викопного палива. Це обчислення вже враховане у розрахунку енергії варіння скла у перерахунку на 50 % загального скляного бою. Проте слід зазначити, що 0,07 ГДж енергії, спожитої в місці використання, відповідає приблизно 0,2 ГДж первинної енергії, потрібної для виробництва цієї кількості електроенергії.

Таблиця 3.13. Питомі енергії варіння скла для різних типів печей та діапазонів розмірів печей за даними опитування FEVE (дані за 2005 рік)

Розміри печей за типами		Повідомлені дані	Кількість значень	Питомі енергії варіння скла, приведена до 50 % загального скляного бою (ГДж нижчої теплоти згорання / тону звареного скла)		
				Середнє	Мін.	Макс.
З підковоподібним полум'ям		100 %	153	4,8	3,4	10,7
<100	тонни/добу	100 %	12	6,9	5,5	11,7
100 – 250	тонни/добу	100 %	81	4,8	3,4	6,7
250 – 400	тонни/добу	100 %	54	4,3	3,4	9,5
> 400	тонни/добу	100 %	6	4,1	3,4	5,1
З поперечним полум'ям		100 %	56	4,6	3,3	6,6
<100	тонни/добу	-	0	-	-	-
100 – 250	тонни/добу	100 %	17	5,0	3,3	6,6
250 – 400	тонни/добу	100 %	31	4,5	3,7	5,8
> 400	тонни/добу	100 %	7	4,4	3,5	5,2
Рекуперативні		100 %	29	6,3	4,1	11,6
<100	тонни/добу	100 %	5	9,1	5,9	11,6
100 – 250	тонни/добу	100 %	14	5,8	4,1	6,8
250 – 400	тонни/добу	100 %	10	5,6	4,3	7,3
> 400	тонни/добу	-	0	-	-	-
Киснево-паливне згорання		100 %	8	4,4	3,5	5,2
Киснево-паливне згорання + виробництво O ₂ ⁽¹⁾		100 %	8	4,7	3,8	5,5
Електричні		100 %	3	3,3	2,9	3,6

⁽¹⁾ Врахована електрична енергія, потрібна для виробництва кисню, проте не врахована первинна енергія, потрібна для виробництва електроенергії.

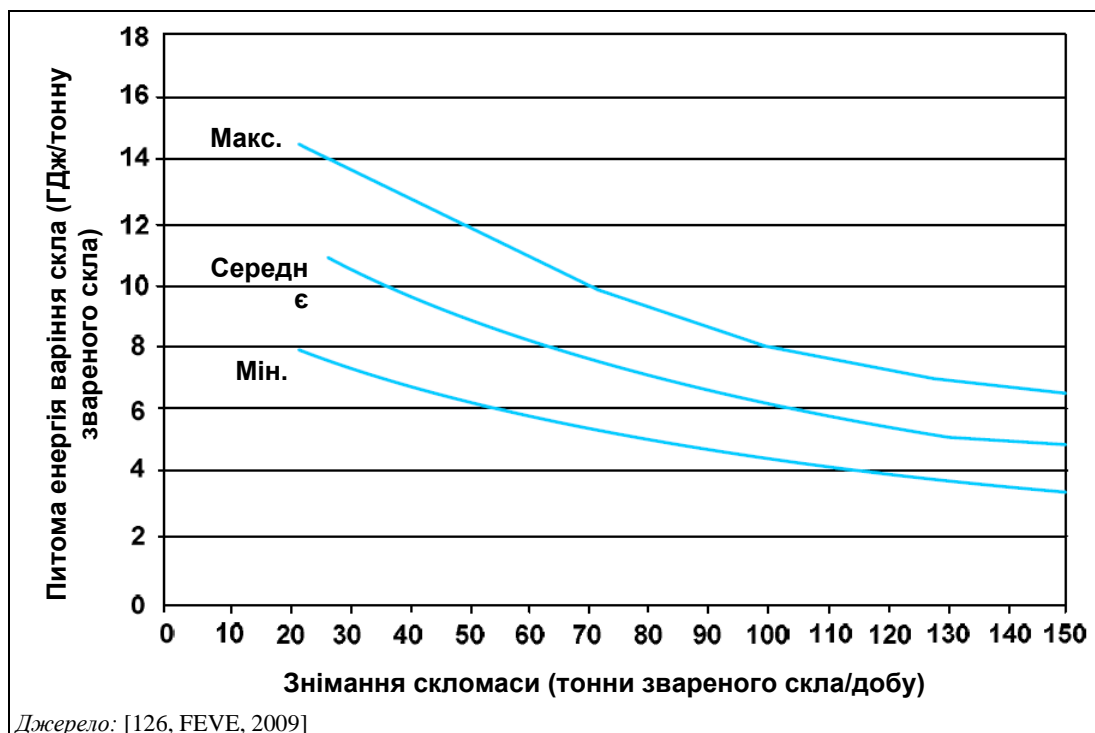
Джерело: [64, FEVE, 2007]

Еквівалентні середні значення питомої енергії варіння скла спостерігаються при порівнянні печей з підковоподібним полум'ям, печей з поперечним полум'ям та киснево-паливних печей. Для останніх враховується розрахункова електроенергія, потрібна для виробництва кисню (без урахування первинної енергії) (див. Таблицю 3.13, а також Рисунок 3.4).

Як і очікувалося, вищі значення питомої теплоти згорання спостерігаються для невеликих печей; це особливо стосується виробництва флаконної продукції, для якого на Рисунку 3.2 наведені криві тренду загальної енергії варіння скла. Криві, зображені на рисунку, демонструють, що споживання енергії на варіння скла різко зростає зі зменшенням розміру печі. Печі для виробництва флаконної продукції можуть бути регенеративними, рекуперативними, електричними або киснево-паливними залежно від різних чинників: інвестиційний потенціал, наявне місце, навантаження на фундамент та інші місцеві обставини.

На Рисунку 3.2, наведені середні, мінімальні та максимальні значення суми споживання викопного палива (нижча теплота згорання) та безпосередньої електричної енергії (використаної для форсування). Жодна з електричних печей не враховувалася.

Крім того, слід зазначити, що у кривих, зображених на Рисунку 3.2 не враховується опосередковане споживання енергії, необхідної для виробництва кисню або електроенергії.



Джерело: [126, FEVE, 2009]

Рисунок 3.2. Криві тренду для загальної енергії варіння скла при виробництві флаконної продукції за даними опитування FEVE (дані за 2005 рік, без урахування первинної енергії, витраченої на електричне форсування або виробництво кисню)

У звітний рік опитування (2005 рік) 41 % печей з виробництва тарного скла (101 піч з 247) в опитуванні FEVE було обладнано вторинними засобами зниження викидів. У всіх випадках вторинні заходи зі зниження викидів полягали у зниженні викидів пилу за допомогою електростатичного фільтра (77 печей) або рукавного фільтра (24 печі), зазвичай у поєднанні зі ступенем знесірчення перед фільтром для видалення кислотних газоподібних забруднюючих речовин (SO_x , HF, HCl) та запобігання конденсації кислих сульфатних речовин, які можуть пошкодити фільтрувальне обладнання. З того часу у галузі почали активно встановлювати електростатичні фільтри (електростатичні пиловловлювачі – ЕСП) у рамках поступової реалізації Директиви та отримання відповідних дозволів. На час укладання цього документа (2010 рік) уже більша кількість печей була обладнана електростатичними або рукавними фільтрами.

Дані про викиди з печей, які були враховані в опитуванні FEVE, наведені у Таблиці 3.14, Таблиці 3.15, Таблиці 3.16, Таблиці 3.17 та Таблиці 3.18. Представлені дані слід оцінювати з урахуванням наведених нижче зауважень.

1. Вказані значення є результатами вимірювань реальних викидів, які у кожному випадку відображають конкретні умови. Результат опитування щодо 248 печей, на які поширюються різні регіональні та/або національні норми щодо моніторингу викидів, може містити результати періодичних та безперервних вимірювань, середньогодинні та середньодобові значення; тож стратегії та технології вимірювання не однакові і не стандартизовані.
2. Дані у кожному випадку наведені у тому вигляді, у якому були повідомлені (100 % значень) та у вигляді середини 90-ого процентилля (тобто 5 % – 95 % значень); останні мають на меті певною мірою виключити сумнівні точки даних.
3. Дані, виражені як концентрації у перерахунку на 8 % O_2 , вказані без урахування киснево-паливних та всіх електричних печей.
4. Дані, виражені як коефіцієнти викидів, вказані без урахування всіх електричних печей. Для киснево-паливних печей коефіцієнти викидів наведені у тому вигляді, в якому були повідомлені, а для повітряно-паливних печей коефіцієнти викидів були розраховані за допомогою коефіцієнтів перетворення, визначених з питомих об'ємів сухих відхідних газів за стандартних умов з концентрацією кисню 8 % O_2 , що еквівалентно $385 \text{ м}^3 \text{ н.у./ГДж}$ для природного газу та $400 \text{ м}^3 \text{ н.у./ГДж}$ для мазуту, з

поправкою на внесок технологічних викидів CO₂ в об'єм відхідних газів (обернено пропорційний загальній частці скляного бою), що складає 92 м³ н.у./тонну скла зі свіжої сировини (об'єм відповідає 180 кг Co₂/тонну₂/тонну скла з сировини).

5. Для даних концентрацій викидів коефіцієнт викидів збільшується зі збільшенням споживання викопного палива; таким чином, для невеликих печей, особливо з малими об'ємами виробництва (флаконна продукція), коефіцієнти викидів загалом будуть більшими.
6. Якщо дві або більше печей під'єднані до одного й того ж обладнання для зниження викидів, то значення викидів, наведене у вигляді концентрації, вважається однаковим для кожної печі. Коефіцієнти викидів з таких печей оцінюються шляхом множення значення концентрації на питомий об'єм відхідних газів для цієї печі, розрахований за виразом (4) вище.

У Таблиці 3.14 наведені значення викидів пилу як для всього діапазону значень (100 % даних), так і для середнього 90-ого процентилля (5 % – 95 % даних).

Таблиця 3.14. Викиди пилу з печей для виробництва тарного скла, з застосуванням та без застосування систем зниження викидів, за даними опитування FEVE (за звітний рік 2005)

звітний рік 2003)

Викиди пилу										
Викиди у повітря зі скловарних печей	Викиди, виражені як концентрації					Викиди, виражені як коефіцієнти викидів				
	Повідомлені дані	Кількість значень	мг/м³ н.у., сухий газ, 8 % O₂			Повідомлені дані	Кількість значень	кг/тонну звареного скла		
			Середнє	Мін.	Макс.			Середнє	Мін.	Макс.
Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	137	150	17	430	100 %	141	0,31	0,03	1,48
	5 % – 95 %	123	150	60	330	5 % – 95 %	127	0,28	0,10	0,58
З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	92	10	0,01	57	100 %	95	0,019	0,000014	0,11
	5 % – 95 %	81	9,2	1,5	26	5 % – 95 %	85	0,017	0,0016	0,050
Електростатичний фільтр	100 %	74	11,2	1,0	57	100 %	75	0,020	0,0020	0,106
	5 % – 95 %	65	10,2	3,7	27	5 % – 95 %	67	0,018	0,0046	0,053
Рукавний фільтр	100 %	18	6,0	0,01	26	100 %	20	0,013	0,000014	0,050
	5 % – 5 %	16	5,2	0,5	21	5 % – 95 %	18	0,012	0,00063	0,048
Джерело: [64. FEVE, 2007]. [126. FEVE, 2009]										

Джерело: [64, FEVE, 2007], [126, FEVE, 2009]

Саме у технологіях моніторингу викидів пилу найчастіше можливі похибки – як у самих технологіях, що використовуються, так і з огляду на складний характер рівноваги між різними сполуками сірки, навіть якщо вимірювання виконуються офіційно визнаними незалежними лабораторіями. Наприклад, метод стандарту EN 13284-1(2003) для моніторингу низьких рівнів пилу має невизначеність близько 3 мг/м³ н.у. при вимірюванні концентрацій у діапазоні 4–5 мг/м³ н.у. Тому деякі високі або низькі значення концентрацій пилу, наведені в Таблиці 3.14, можуть бути зумовлені похибками вимірювання. Вказані у таблиці низькі значення для печей, не обладнаних системами зниження викидів, вважаються неправдоподібними навіть на рівні 5 %, і подібні сумніви можуть виникати стосовно високих значень, які перевищують рівень 95 %. За певних обставин для печей, не оснащених вторинними засобами зниження викидів, можуть спостерігатися значення викидів пилу <100 мг/м³ н.у., проте такі низькі значення зустрічаються рідко. Системи зниження викидів пилу результативно знижують викиди пилу з середнього значення у 150 мг/м³ н.у. без засобів зниження викидів до середнього значення приблизно у 10 мг/м³ н.у. при застосуванні електростатичного фільтра та до середнього значення приблизно у 5 мг/м³ н.у. при застосуванні рукавного фільтра. Необхідно наголосити, що наведені значення взяті головним чином з результатів офіційних вимірювань, усереднених за обмежений інтервал часу у кілька годин. Знову ж таки, з огляду на обмежену точність методів моніторингу, до низьких значень слід ставитися обережно. Окрім можливих похибок вимірювання, високі значення вказують на відмінності у робочих показниках обладнання для зниження викидів.

Чинники, які можуть впливати на ефективність вторинних систем зниження викидів (електростатичних фільтрів та рукавних фільтрів) розглядаються у розділі 4.4.1.2 та розділі 4.4.1.3.

У Таблиці 3.15 наведені значення викидів оксидів сірки (SO_x) як для всього діапазону значень (100 % даних), так і для середнього 90-ого процентилля (5 % – 95 % даних).

Викиди SO_x у результаті варіння тарного скла відповідають міркуванням щодо масового балансу сірки, у якому вхідними потоками є сірка, що міститься у паливі (особливо у важкому мазуті), сульфати, що додаються до рецептури шихти, та, залежно від типу скла, сірка, яка потрапляє у піч з привізним скляним боєм. Лише частина сірки, доданої до рецептури шихти (сировина плюс скляний бій), включається до складу скляної продукції; надлишок сірки викидається з відхідними газами або відкладається у вигляді пилу в фільтрах.

Таким чином, дані про викиди у Таблиці 3.15 поділяються на дані для газових печей, мазутних печей і печей на змішаному паливі з урахуванням того, що вибір палива розглядається поза рамками вибору НДТМ, оскільки залежить від різних стратегій та енергетичних політик країн-членів ЄС.

У печах, що працюють на природному газі, вміст сірки в паливі незначний, тож викиди SO_x виникають за рахунок сірки, присутньої в рецептурі шихти (сировина плюс привізний скляний бій), а значення цих викидів варіюються у дуже широкому діапазоні, як видно з Таблиці 3.15. Втім, як мінімальні, так і максимальні повідомлені значення, що виходять за межі 100 %-ого діапазону (3 та 2100 мг/м^3 н.у. відповідно), є, вочевидь, помилковими з огляду на правдоподібні міркування щодо масового балансу. Виявилося, що відповідний компонент шихти у балансі суттєво варіюється і навіть виходить за межі діапазону середнього 90-ого процентилля – від концентрацій приблизно у 100 мг/м^3 н.у. до 1000 мг/м^3 н.у., з середнім значенням приблизно у 500 мг/м^3 н.у.

Дані опитування FEVE показують, що у 80 % печей, обладнаних вторинними системами зниження викидів пилу, пил з фільтрів повністю (або більш ніж на 90 %) переробляється шляхом додавання у скляний розплав, у той час як в решті 20 % печей переробка пилу взагалі не застосовується.

Переробка пилу з фільтрів може бути обмежена певними граничними рівнями з огляду на хімічну сумісність пилу з необхідною якістю скла та можливі проблеми з транспортуванням, зумовлені фізичним характером пилу.

За даними, наведеними у Таблиці 3.15, також можна відзначити, що у випадках, коли встановлені вторинні засоби для зниження викидів пилу, мінімальні викиди пилу, вочевидь, збільшуються (і відповідним чином впливають на середні значення), навіть у діапазоні середнього 90-ого процентилля. Ця тенденція може бути наслідком того, що на установках із системами очищення газів початкові рівні викидів SO_x були вищими, та частково наслідком переробки пилу з фільтрів.

Протилежний ефект, схоже, спостерігається для даних, повідомлених для мазутних печей, хоча у цьому випадку на результуючі значення також впливають відмінності у вмісті сірки в мазуті. Цей імовірний ефект маскування чіткіше видно на значеннях для печей, що працюють на змішаному паливі, де нижчі значення для печей з вторинними засобами зниження викидів пилу також відповідають печам з більшою часткою природного газу у паливній суміші (в наданих даних середня частка природного газу для печей, обладнаних засобами зниження викидів, еквівалентна 79 % – у порівнянні з 53 % для печей, не обладнаних технологіями зниження викидів пилу).

Статистичні розрахунки показують, що спалювання мазуту додає у середньому приблизно 800 мг/м^3 н.у. до середніх значень викидів на одну піч у порівнянні зі спалюванням природного газу, значення для якого відповідають середньому вмісту сірки у мазуті менше 1 % для печей, врахованих в опитуванні FEVE.

Таблиця 3.15. Викиди SO_x з печей для виробництва тарного скла, з застосуванням та без застосування систем зниження викидів, за даними опитування FEVE (за звітний рік 2005)

Викиди у повітря зі скловарних печей	Викиди SO _x ⁽¹⁾									
	Викиди, виражені як концентрації					Викиди, виражені як коефіцієнти викидів				
	Повідомлені дані	Кількість значень	мг/м ³ н.у., сухий газ, 8 % O ₂			Повідомлені дані	Кількість значень	кг/тонну звареного скла		
			Середнє	Мін.	Макс.			Середнє	Мін.	Макс.
Спалювання газу	100 %	141	490	3	2100	100 %	150	0,80	0,00	2,00
	5 – 95 %	127	460	110	1100	5 – 95 %	127	0,88	0,20	2,00
Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	88	470	3	1830	100 %	92	0,90	0,00	3,00
	5 % – 95 %	76	439	93	950	5 – 95 %	82	0,83	0,16	2,01
З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу ⁽²⁾	100 %	53	530	150	2100	100 %	58	0,90	0,00	3,10
	5 – 95 %	46	498	233	1050	5 – 95 %	52	0,86	0,25	2,23
Спалювання мазуту	100 %	45	1260	350	2200	100 %	45	2,40	0,80	4,60
	5 – 95 %	39	1300	750	1700	5 – 95 %	39	2,41	1,41	3,20
Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	24	1260	510	2200	100 %	25	2,50	0,80	4,60
	5 – 95 %	20	1366	983	2188	5 – 95 %	21	2,49	1,28	4,07
З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу ⁽²⁾	100 %	21	1260	350	1660	100 %	20	2,30	1,10	3,90
	5 – 95 %	20	1310	770	1662	5 – 95 %	18	2,25	1,13	3,42
Змішане спалювання мазуту/газу ⁽³⁾	100 %	41	705	84	1498	100 %	41	1,22	0,13	3,54
	5 – 95 %	34	749	139	1250	5 – 95 %	37	1,19	0,17	2,18
Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	22	919	369	1498	100 %	22	1,59	0,63	3,54
	5 – 95 %	18	925	554	1250	5 – 95 %	18	1,54	0,94	2,18
З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу ⁽²⁾	100 %	19	456	84	1123	100 %	19	0,79	0,13	2,09
	5 – 95 %	14	575	139	1123	5 – 95 %	17	0,76	0,17	1,74

⁽¹⁾ Викиди SO_x традиційно виражаються у перерахунку на еквівалентну кількість SO₂.

⁽²⁾ Вторинне обладнання для зниження викидів пилу (електростатичний фільтр або рукавний фільтр зазвичай розраховане на очищення кислотних газів шляхом сухого або напівсухого очищення для видалення кислотних газоподібних викидів та/або для запобігання забиттю/корозії системи фільтрів. Пил з фільтрів у більшості випадків повертається у скловарну піч для переробки, тому ці заходи загалом не можна вважати власне зниженням викидів SO_x. Додавання цього пилу до рецептури шихти може вплинути на загальні викиди SO_x з огляду на загальний масовий баланс сірки.

⁽³⁾ У прикладах змішаного спалювання природного газу / мазуту, повідомлених в опитуванні, частка природного газу варіювалася від 17 до 98 % (а частка мазуту, відповідно, від 83 до 2 %), з загальним середнім значенням (за значеннями на піч) у 65 % природного газу.

Джерело: [64, FEVE, 2007], [126, FEVE, 2009]

У Таблиці 3.16 наведені значення викидів оксидів азоту (NO_x) як для всього діапазону значень (100 % даних), так і для серединного 90-ого процентилля (5 % – 95 % даних).

Таблиця 3.16. Викиди NO_x з печей для виробництва тарного скла, для різних типів палива та пічних технологій, за даними опитування FEVE (звітний рік 2005)

Викиди NO _x ⁽¹⁾											
Викиди у повітря зі словарних печей		Викиди, виражені як концентрації					Викиди, виражені як коефіцієнти викидів				
		Повідомлені дані	Кількість значень	мг/м ³ н.у., сухий газ, 8 % O ₂			Повідо-млені дані	Кількість значень	кг/тонну звареного скла		
				Середнє	Мін.	Макс.			Середнє	Мін.	Макс.
Без зниження викидів (без конкретних первинних заходів)											
Тип палива	Тип печі										
Усі	Усі	100 %	144	1211	384	3355	100 %	144	2,30	0,60	9,30
		5 – 95 %	127	1171	685	2100	5 – 95 %	128	2,15	1,05	4,40
Газові	Усі	100 %	99	1259	384	3355	100 %	99	2,46	0,57	9,32
		5 – 95 %	88	1222	700	2300	5 – 95 %	88	2,32	1,13	4,57
Мазутні	Усі	100 %	25	1170	840	1990	100 %	25	2,00	1,20	3,20
		5 – 95 %	20	1139	850	1538	5 – 95 %	21	1,94	1,31	3,08
Змішані газомазутні	Усі	100 %	20	1025	547	2324	100 %	20	1,87	0,91	5,13
		5 – 95 %	18	980	588	1687	5 – 95 %	18	1,75	0,93	2,97
Усі	3 підково-подібним полум'ям	100 %	83	1165	384	3355	100 %	83	2,2	0,57	9,3
		5 – 95 %	73	1121	671	1993	5 – 95 %	73	2,0	0,96	4,0
Усі	3 поперечним полум'ям	100 %	41	1391	650	2850	100 %	41	2,5	1,10	5,6
		5 – 95 %	37	1356	814	2324	5 – 95 %	37	2,4	1,43	4,5
Усі	Рекуперативні	100 %	20	1037	725	1725	100 %	20	2,5	1,23	8,3
		5 – 95 %	18	1016	785	1699	5 – 95 %	18	2,3	1,50	4,0
Первинні заходи (без урахування киснево-паливного згорання)											
Усі	Усі	100 %	86	915	424	2112	100 %	86	1,83	0,65	5,57
		5 – 95 %	76	884	521	1680	5 – 95 %	76	1,72	0,83	3,85
Газові	Усі	100 %	48	1000	420	2100	100 %	50	1,90	0,30	5,00
		5 – 95 %	42	977	605	1725	5 – 95 %	44	1,86	0,72	3,88
Мазутні	Усі	100 %	19	750	430	1730	100 %	19	1,70	0,30	5,60
		5 – 95 %	17	710	521	941	5 – 95 %	17	1,53	0,65	3,38
Змішані газомазутні	Усі	100 %	19	852	427	1655	100 %	19	1,49	0,80	3,76
		5 – 95 %	17	830	543	1600	5 – 95 %	17	1,39	0,83	3,02
Усі	3 підково-подібним полум'ям	100 %	65	925	424	2112	100 %	65	1,8	0,65	5,6
		5 – 95 %	58	902	543	1725	5 – 95 %	57	1,7	0,83	3,8
Усі	3 поперечним полум'ям	100 %	12	1029	643	1680	100 %	12	2,1	0,80	4,4
		5 – 95 %	10	1003	714	1600	5 – 95 %	10	1,9	0,99	3,7
Усі	Рекуперативні	100 %	9	687	427	1256	100 %	9	1,7	0,95	3,4
		5 – 95 %	7	643	428	925	5 – 95 %	7	1,6	1,06	2,2
Вторинні заходи зниження викидів (селективне каталітичне відновлення – СКВ)		100 %	4	460	460	460	100 %	4	0,81	0,69	0,95
Зі спалюванням палива в кисні							100 %	8	0,54	0,23	0,88

(¹) Викиди NO_x традиційно виражаються у перерахунку на еквівалентну кількість NO₂.
Джерело: [64, FEVE, 2007], [126, FEVE, 2009]

Про використання первинних заходів зі зниження викидів NO_x (наприклад, пальників з низьким виходом NO_x, ступінчастого згорання, рециркуляції димових газів) повідомлялося приблизно для 35 % печей у вибірці даних. У цілому між повідомленими значеннями з застосуванням і без застосування первинних заходів спостерігається явне зниження середнього значення (за всіма типами печей і палива) від приблизно 1200 мг/м³ н.у. до ~900 мг/м³ н.у. Проте широкий діапазон повідомлених значень в обох випадках вказує на різноманітність ситуацій, які спостерігаються на практиці. Зокрема, для деяких печей без первинних заходів у 100 %-ій вибірці даних були повідомлені низькі значення менше 600 мг/м³ н.у. або 1,0 кг/тонну звареного скла, які можна пояснити особливими сприятливими умовами експлуатації та конфігурацією печі, які не обов'язково характеризують нормальні умови роботи.

Порівняння даних про викиди для різних типів палива та пічних технологій має тенденцію підтверджувати, що при спалюванні мазуту або змішаному спалюванні газу та мазуту викиди NO_x нижчі, ніж при спалюванні природного газу, і що для печей з підковоподібним полум'ям або рекуперативних печей характерні нижчі викиди NO_x, ніж для печей з поперечним полум'ям. Фактори впливу, якими можна пояснити ці ефекти, описані у

розділі 4.4.2.

Високі значення ($>1500 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$) повинні спостерігатися лише в особливих випадках – наприклад, коли у якості освітлювача/окиснювача необхідно використовувати нітрати, або для деяких існуючих конфігурацій печей, у яких важко уникнути високих місцевих температур полум'я та/або некерованих витоків повітря у полум'я.

У звітному році (2005 році) вторинні засоби зниження викидів NO_x (за допомогою селективного каталітичного відновлення – СКВ) були встановлені лише на одному заводі з виробництва тарного скла у ЄС (чотири печі, під'єднані до спільної системи СКВ).

Дані від восьми киснево-паливних печей в опитуванні представлені лише у вигляді питомих масових витрат, оскільки концентрації для них неможливо порівняти на загальних підставах ($8 \% \text{ O}_2$) з концентраціями для повітряно-паливних печей. Як і очікувалося, для цих печей повідомляються значення менше 1 кг/тонну звареного скла.

У Таблиці 3.17 наведені значення викидів HCl та HF як для всього діапазону значень ($100 \% \text{ даних}$), так і для середнього 90-ого процентилля ($5 \% - 95 \% \text{ даних}$).

Таблиця 3.17. Викиди HCl та HF з печей для виробництва тарного скла, з застосуванням та без застосування систем зниження викидів, за даними опитування FEVE (за звітний рік 2005)

Викиди HCl та HF										
Викиди у повітря зі скловарних печей	Викиди, виражені як концентрації					Викиди, виражені як коефіцієнти викидів				
	Повідомлені дані	Кількість значень	мг/м³ н.у., сухий газ, 8 % O₂			Повідомлені дані	Кількість значень	кг/тонну звареного скла		
			Середнє	Мін.	Макс.			Середнє	Мін.	Макс.
HCl										
Усі значення	100 %	206	17	1,0	107	100 %	215	0,03	0	0,17
	5 – 95 %	185	16	1,1	37	5 – 95 %	193	0,028	0,0023	0,071
Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	116	17	1,0	48	100 %	121	0,030	0,0007	0,116
	5 – 95 %	99	17	1,4	39	5 – 95 %	109	0,029	0,0018	0,079
З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу (¹)	100 %	90	17	1,0	107	100 %	94	0,029	0,0018	0,170
	5 – 95 %	80	16	3,7	29	5 – 95 %	84	0,027	0,0047	0,059
HF										
Усі значення	100 %	204	3,0	0,00	74	100 %	211	0,0072	0,0002	0,267
	5 – 95 %	178	2,5	0,39	11	5 – 95 %	189	0,0046	0,00068	0,021
Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	116	5,0	0,00	74	100 %	121	0,0103	0,00040	0,267
	5 – 95 %	105	3,7	0,41	14	5 – 95 %	109	0,0066	0,00074	0,022
З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу (¹)	100 %	88	2,0	0,00	13	100 %	92	0,0029	0,00004	0,028
	5 – 95 %	78	1,4	0,20	4	5 – 95 %	82	0,0024	0,00045	0,007

(¹) Вторинне обладнання для зниження викидів пилу (електростатичний фільтр або рукавний фільтр зазвичай розраховане на очищення кислотних газів шляхом сухого або напівсухого очищення для видалення кислотних газоподібних викидів та/або для запобігання забиттю/корозії системи фільтрів. Поглинання HCl та HF залежить від типу реагенту, що використовується. Пил з фільтрів у більшості випадків повертається у скловарну піч для переробки, тому ці заходи загалом не можна вважати власне зниженням викидів HCl/HF.

Джерело: [64, FEVE, 2007], [126, FEVE, 2009]

Для HCl низькі значення ($<10 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$) можуть спостерігатися у випадках, коли використовується карбонат натрію з низьким вмістом хлоридів (з природних покладів) та велика кількість скляного бою. Слід зазначити, що у випадку високих ступенів місцевої переробки, зумовлених переробкою пилу з фільтрів, газоподібний хлорид буде поступово накопичуватися в неочищених відхідних газах, особливо якщо димові гази, які містять HCl і утворені в результаті поверхневої обробки скла «на вході в лер», очищуються разом з пічними димовими газами в одній і тій же системі. У цьому випадку вторинні засоби зниження викидів пилу (електростатичний фільтр або рукавний фільтр зі ступенем очищення димових газів перед фільтром за допомогою лужного реагенту) не обов'язково відповідають найнижчим значенням викидів, особливо якщо умови, що застосовуються для видалення SO_x , можуть бути неоптимальними для зниження викидів HCl за

допомогою того ж самого поглинального реагенту. Ефективність видалення різних газоподібних забруднюючих речовин (SO_x , HCl , HF) за допомогою лужних реагентів розглядається у розділі 4.4.3.3.

Фториди зустрічаються у вигляді випадкових домішок в певних видах природної сировини. Вони можуть бути присутні в вигляді домішок у склі, що переробляється (наприклад, у матовому склі, що містить фториди, які, хоч і не допускаються технічними вимогами до скляного бою, можуть бути присутні у невеликих кількостях). Щодо низьких значень не можна зробити загальних висновків, хоча вони можуть бути пов'язані з малою кількістю скла, що переробляється, та/або з використанням вторинних засобів зниження викидів. Що стосується HCl , то наявність вторинних систем зниження викидів, що складаються з електростатичних фільтрів або рукавних фільтрів зі ступенем очищення відхідних газів перед фільтром, на якому використовується лужний реагент та переробка пилу з фільтрів (залежно від абсорбенту, що використовується), можна пов'язати з низькими або високими значеннями викидів HF , які відповідають особливо сприятливим або несприятливим випадкам, залежно від кількох параметрів (наприклад, від типу реагенту, умов експлуатації, кількості вхідних ресурсів, тощо).

У Таблиці 3.18 наведені значення викидів металів з використанням та без використання систем зниження викидів – як для всього діапазону значень (100 % даних), так і для середнього 90-ого перцентилля (5 % – 95 % даних).

Низькі значення викидів металів ($<1 \text{ мг/м}^3$ н.у.) можуть спостерігатися без засобів зниження викидів з відхідними газами у сприятливих випадках, особливо за малої частки скляного бою (для свинцевих домішок), при спалюванні мазуту з низьким вмістом ванадію або газу та за відсутності селену у сировині (ця умова виконується для всіх видів скла, крім певних видів білого флінту). Високі значення ($>5 \text{ мг/м}^3$ н.у.) зазвичай пов'язані з великою часткою скляного бою (свинець), спалюванням мазуту або виробництвом білого флінту (селен).

Таблиця 3.18. Викиди металів з печей для виробництва тарного скла, з застосуванням та без застосування систем зниження викидів, за даними опитування FEVE (за звітний рік 2005)

Викиди металів ⁽¹⁾											
Викиди у повітря зі скловарних печей		Викиди, виражені як концентрації					Викиди, виражені як коефіцієнти викидів				
		Повідомлені дані	Кількість значень	мг/м ³ н.у., сухий газ, 8 % O ₂			Повідомлені дані	Кількість значень	кг/тонну звареного скла		
				Середнє	Мін.	Макс.			Середнє	Мін.	Макс.
Pb	Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	135	1,7	0	22	100 %	135	0,0028	0	0,0296
		5 – 95 %	98	1,4	0,0001	9,5	5 – 95 %	98	0,0025	0,0000002	0,013
	З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	95	0,2	0	2,0	100 %	95	0,0003	0	0,003
		5 – 95 %	77	0,21	0,000	0,90	5 – 95 %	75	0,00032	0,0000011	0,0012
Se	Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	110	0,67	0	10,0	100 %	110	0,00133	0	0,0184
		5 – 95 %	65	0,55	0,008	3,75	5 – 95 %	65	0,0012	0,000010	0,0065
	З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	87	0,13	0	1,88	100 %	87	0,0002	0	0,0030
		5 – 95 %	67	0,09	0,001	0,76	5 – 95 %	67	0,00014	0,000001	0,0012
Cd	Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	119	0,04	0	1,10	100 %	119	0,00007	0	0,0015
		5 – 95 %	75	0,038	0,00001	0,13	5 – 95 %	75	0,03824	0,00001	0,1300
	З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	81	0,014	0	0,15	100 %	81	0,00002	0	0,00027
		5 – 95 %	56	0,013	0,0001	0,08	5 – 95 %	56	0,000022	0,0000001	0,00010
As	Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	134	0,284	0	20	100 %	134	0,00052	0	0,040
		5 – 95 %	92	0,13	0,0000	0,67	5 – 95 %	92	0,00024	0,00000001	0,0010
	З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	74	0,04	0	0,47	100 %	74	0,00007	0	0,00078
		5 – 95 %	51	0,036	0,0002	0,10	5 – 95 %	51	0,000062	0,0000004	0,00021
Ni	Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	135	0,10	0	1,0	100 %	135	0,00021	0	0,0030
		5 – 95 %	90	0,11	0,000009	0,37	5 – 95 %	90	0,0001931	0,00000002	0,0008
	З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	85	0,03	0	0,27	100 %	85	0,000048	0	0,00048
		5 – 95 %	61	0,022	0,0004	0,083	5 – 95 %	61	0,000038	0,000001	0,00022
Cr	Без застосування вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	136	0,31	0	6,60	100 %	136	0,0005	0	0,0103
		5 – 95 %	96	0,22	0,000009	1,3	5 – 95 %	96	0,00038	0,00000002	0,0023
	З застосуванням вторинних засобів зниження викидів пилу	100 %	86	0,03	0	0,4	100 %	86	0,00005	0	0,0007
		5 – 95 %	58	0,025	0,00013	0,11	5 – 95 %	58	0,000044	0,0000004	0,00020

⁽¹⁾ Метали головним чином присутні у викидах пилу, тому для них дійсні ті ж міркування щодо межі точності вимірювань, що й для вимірювань викидів пилу. Нульові значення у 100 %-ому діапазоні відповідають значенням нижче межі виявлення.

Джерело: [64, FEVE, 2007], [126, FEVE, 2009]

3.3.2.3 Операції подальшої обробки

У результаті нанесення на поверхню гарячого покриття та холодної обробки поверхні можуть утворюватися викиди димових газів та парів, головним чином HCl та сполук олова.

Гаряча обробка поверхні скляної тари (зовнішньої поверхні) зазвичай здійснюється за допомогою тетраклориду олова, органічного олова (трихлориду монобутилолова) або тетраклориду титану з метою створення на поверхні скла дуже тонкого шару оксиду олова або оксиду титану. У особливих випадках обробляється внутрішня поверхня скляної тари – зокрема, при виробництві тари, яка повинна контактувати з певною фармацевтичною продукцією і обробляється SO₃ для ефективного видалення іонів натрію/кальцію, які можуть вилугуватися, з поверхні скла. У інших спеціальних випадках в пляшки/флакони відразу після формування вприскується 1,1-дифторетан для створення модифікованої внутрішньої контактної поверхні, яка слугуватиме бар'єром для міграції іонів. Це незначною мірою застосовувалося для того, щоб при тривалому зберіганні у кліматі з високою вологістю на поверхні певної тари з прозорого скла (на внутрішній поверхні) не виникла задимленість. Кількість матеріалу, що при цьому використовується, дуже мала.

Рівні викидів різняться для різних процесів і залежать від багатьох чинників – зокрема, від кількості повітря, що використовується у витяжних ковпаках, які зазвичай застосовуються для уловлювання надлишку парів. Типові значення викидів, зумовлених операціями нанесення гарячого поверхневого покриття з хлориду олова, без застосування засобів зниження викидів зазвичай перебувають у діапазонах, наведених у Таблиці 3.19.

Таблиця 3.19. Типові значення викидів, що утворюються в результаті операцій нанесення поверхневого покриття з хлориду олова, без застосування засобів зниження викидів

Забруднююча речовина	Типові концентрації викидів	Типові коефіцієнти викидів
	мг/м ³ н.у.	г/тонну звареного скла
Газоподібні хлориди у перерахунку на HCl	15 – 300	3 – 30
Загальний вміст твердих часток	5 – 50	1 – 70
Олово у перерахунку на Sn (газоподібне + тверді частки)	1 – 30	0,2 – 0,8
Джерело: [84, Звіт від Італії, 2007]		

Слід зазначити, що на значній кількості установок викиди з очисних ковпаків на вході лера очищуються в тій же системі зниження викидів, що й пічні відхідні гази.

У інших випадках, коли викиди, утворені при нанесенні поверхневого покриття на вході лера, обробляються окремо, типові рівні концентрації становлять <10 мг/м³ н.у. для твердих часток, <5 мг/м³ н.у. для Sn та <30 мг/м³ н.у. для HCl.

Типові значення викидів, утворених в результаті операцій обробки внутрішньої поверхні скляної тари з використанням SO₂/SO₃, перед проходженням спеціального очищення димових газів (зазвичай шляхом мокрого очищення у скрубєрі) зазвичай знаходяться в діапазоні, наведеному нижче, у Таблиці 3.20.

Таблиця 3.20. Типові значення викидів, утворених в результаті обробки поверхні тарного скла з використанням SO₃, без застосування засобів зниження викидів

Забруднююча речовина	Типові концентрації викидів	Типові коефіцієнти викидів
	мг/м ³ н.у.	г/тонну звареного скла
Оксиди сірки у перерахунку на SO ₂	200 – 900	100 – 600
Джерело: [84, Звіт від Італії, 2007]		

Рівні концентрацій SO_x після очищення зазвичай знаходяться в діапазоні <100 – 200 мг/м³ н.у. у перерахунку на SO₂.

Масові викиди від операцій подальшої обробки загалом дуже низькі, оскільки використовуються малі кількості речовин, і концентрації суттєво залежать від об'єму витяжного повітря, що використовується. Методи контролю цих викидів розглядаються у розділі 4.5.1.

3.3.2.4 Дифузні / леткі викиди

Основними джерелами дифузних/летких викидів, специфічними для сектора виробництва тарного скла, є завантажувальна кишеня печі, канали живильника, зона формування та операції поверхневої обробки.

Специфічна проблема завантажувальної кишені пов'язана з винесенням матеріалів із складу суміші (викидів пилу) та розкладанням органічних матеріалів, присутніх у скляному бої.

З каналів живильника можуть виділятися газоподібні продукти згорання та продукти випаровування.

У зоні формування працюють машини з високим ступенем механізації, в яких може утворюватися масляний туман зі змащувального масла. Газоподібні продукти згорання можуть утворюватися внаслідок термічної обробки форм та роботи відпалювального лера.

Під час операцій поверхневої обробки на виході з лера може утворюватися туман з органічних речовин, тобто поліетилену та олеїнової кислоти.

Усі ці специфічні проблеми зазвичай вирішуються за нормами гігієни праці і техніки безпеки на робочому місці; вони контролюються за рівнями експозиції на робочих місцях і не створюють суттєвих викидів у повітря.

3.3.3 Викиди у воду

[19, CPiV, 1998]

Як було сказано вище, вода у цьому секторі використовується головним чином для очищення, у системах охолоджувальної води, для охолодження гарячого скляного браку та зволоження шихти. Водні викиди обмежуються продувками систем охолоджувальної води, очисними водами та поверхневими водними стоками. Очисні води не створюють особливих проблем, нехарактерних для всіх інших промислових об'єктів, тобто містять інертні тверді речовини і потенційно можуть містити масло. Продувки з охолоджувальних систем містять розчинені солі і хімічні речовини для підготовки води. Якість поверхневих вод залежить від ступеня розділення стоків та чистоти на об'єкті.

Специфічним для цього сектора є лише контур охолодження та подрібнення гарячого скляного браку. Оборотною водою у цьому контурі може містити дрібні тверді частки скла, що утворилися при його подрібненні та внаслідок роботи механічних скребкових систем, що використовуються для вичерпування скла з водяних корит. З жолобів, по яких скло рухається у збиральну систему, також можуть надходити невеликі кількості масла з машин та масла або розчинних водо-масляних сумішей, що використовуються у механічних ножицях та подавальних механізмах. Тому цей контур зазвичай обладнаний сепаратором твердих часток та масла, який також забезпечує належну теплову інерцію системи під час заміни форм або аварійних ситуацій на формувальних машинах, коли потрібно охолодити велику кількість скла. Відділені тверді частки скла зазвичай переробляються у сировині. Охолодження за незамкненим контуром зазвичай розраховане на рідші, важкі аварійні ситуації, коли потрібно охолодити велику кількість гарячого скла (протікання основної печі або інша аварійна ситуація, що призводить до переривання операцій формування).

За винятком побутових стічних вод, скиди зазвичай містять лише тверді частки скла, деяку кількість масляних забруднень та хімічні речовини від підготовки води для системи охолоджувальної води. У секторі зустрічаються прості технології контролю забруднень, такі як відстоювання, проціджування, використання масляних сепараторів та нейтралізація.

3.3.4 Інші відходи

[19, CPIV, 1998]

У секторі виробництва тарного скла більшість технологічних відходів переробляється безпосередньо на об'єкті – це стосується, зокрема, скляного браку від етапів формування та контролю якості, проте також і відходів транспортування сировини, пилу з обладнання для зниження викидів та відкладень сульфатів у трубопроводах пічних відхідних газів. Проте іноді утворюється ще один потік відходів у вигляді пилу з фільтрів: це стається, якщо додатково потрібно забезпечити загальне зниження викидів SO_x (це досягається шляхом використання пилу з фільтрів замість сірковмісної сировини), або якщо переробка пилу з фільтрів створює певні проблеми для якості скла з огляду на хімічний склад скла або вимоги до чистоти його кольору. Така ситуація також можлива за дуже високих часток скляного бою.

Після завершення кампанії печі вся вогнетривка конструкція демонтується і замінюється. У результаті цих операцій утворюється приблизно від 500 до 2 000 тонн відходів вогнетривких матеріалів, які сортуються і у більшості випадків обробляються для відновлення цінності. Лише невелика кількість цих матеріалів непридатна для обробки з метою відновлення цінності і вивозиться на полігон (якщо необхідно – після належної обробки). Деякі матеріали (наприклад, силікатні вогнетривкі матеріали) можуть розмелюватися і перероблятися в печі.

Сировина для скла в більшості випадків постачається насипом, тому після неї не залишається відходів упаковки. Відходи від операцій пакування продукції (пластмаса, картон та дерево) зазвичай використовуються повторно або переробляються постачальниками чи через інші належні канали. Інші відходи, які не є специфічними для цього сектора, – наприклад, відпрацьовані масла, барабани та інші пакувальні матеріали, папір, акумуляторні батареї, промаслені ганчірки, тощо – утилізуються звичайним чином або, якщо це доцільно, переробляються зовнішньою компанією з утилізації відходів.

3.3.5 Енергія

[19, CPIV, 1998], [15, ETSU, 1992]

У секторі масового виробництва пляшок та банок енергія, необхідна для варіння скла, загалом становить понад 75 % загальної потреби в енергії для виробництва тарного скла. При виробництві флаконної продукції енергія варіння скла може становити лише 50 % від загальної енергії, спожитої на об'єкті, через низькі темпи виробництва та малу вагу продукції, а також через застосування спеціальних технологій, таких як вогневе полірування та оздоблення. Іншими значними сферами споживання енергії є канали живильників, процес формування (стиснене повітря та повітря для охолодження форм), відпалювальний лер, опалення заводу та операції загального обслуговування. Типові кількості енергії, що споживається на кожному етапі технологічного процесу, наведені на Рисунку 3.3.

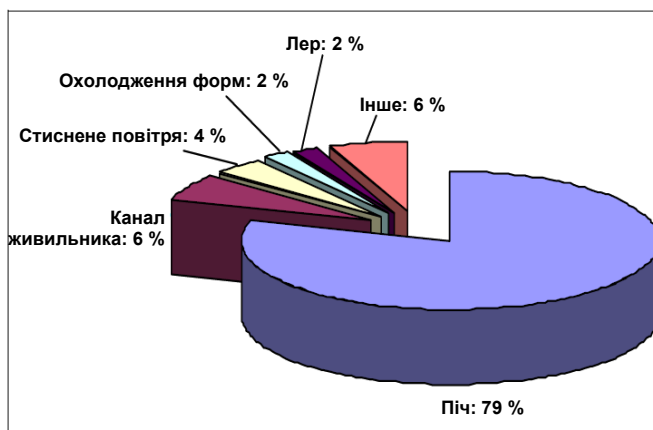


Рисунок 3.3. Споживання енергії на типовому заводі з виробництва тарного скла у вигляді пляшок/банок (не характерне для виробництва тари для парфумерної/косметичної продукції)

Для процесу варіння скла першочерговими джерелами енергії є мазут або природний газ; іноді деякий відсоток енергії (до 5 %) припадає на електричне форсування. Існує кілька прикладів повністю електричного варіння скла, проте вони рідкісні. Для обігрівання каналів живильників та відпалювальних лерів використовується електроенергія або природний газ. Електроенергія використовується для приведення в рух повітряних компресорів та вентиляторів, необхідних для протікання технологічного процесу. Енергія потрібна для операцій загального обслуговування, до яких належить перекачування води і, як правило, виробництво пари для обігрівання сховищ мазуту та супутникового обігрівання, зволоження/нагрівання шихти та іноді опалення будівель. У деяких випадках, головним чином для великих печей, встановлюються котли-утилізатори для виробництва всієї необхідної пари або її частини.

Споживання енергії у технологічному процесі залежить від багатьох чинників, основні з яких окреслені у розділі 3.2.3.

У Таблиці 3.21 наведені дані про загальне безпосереднє споживання енергії у процесі виробництва на тонну нетто продукції за результатами опитування FEVE для виробництва пляшок/банок та флаконної продукції – як для всього діапазону значень (100 % даних), так і для середнього 90-ого перцентилля (5 % – 95 % даних).

Таблиця 3.21. Загальне безпосереднє споживання енергії (заводом) на тонну нетто продукції за результатами опитування FEVE для виробництва пляшок/банок та флаконної продукції

Тип продукту	Повідомлені дані	Кількість значень	Питоме загальне споживання енергії (ГДж НТЗ ⁽¹⁾ /тонну нетто продукції)		
			Середнє	Мін.	Макс.
Усі типи продукції	100 %	65	8,7	3,7	31,5
	5 – 95 %	57	7,7	5,3	16,8
Виробництво пляшок і банок	100 %	52	6,9	3,7	13,4
	5 – 95 %	46	6,9	4,7	8,5
Виробництво флаконної продукції	100 %	13	16,1	7,2	31,5
	5 – 95 %	11	15,5	8,3	30,9

⁽¹⁾ НТЗ = нижча теплота згорання для викопного палива та електроенергії у тій кількості, в якій вони спожиті (без урахування еквівалентного первинного споживання енергії).

Джерело: [126, FEVE, 2009]

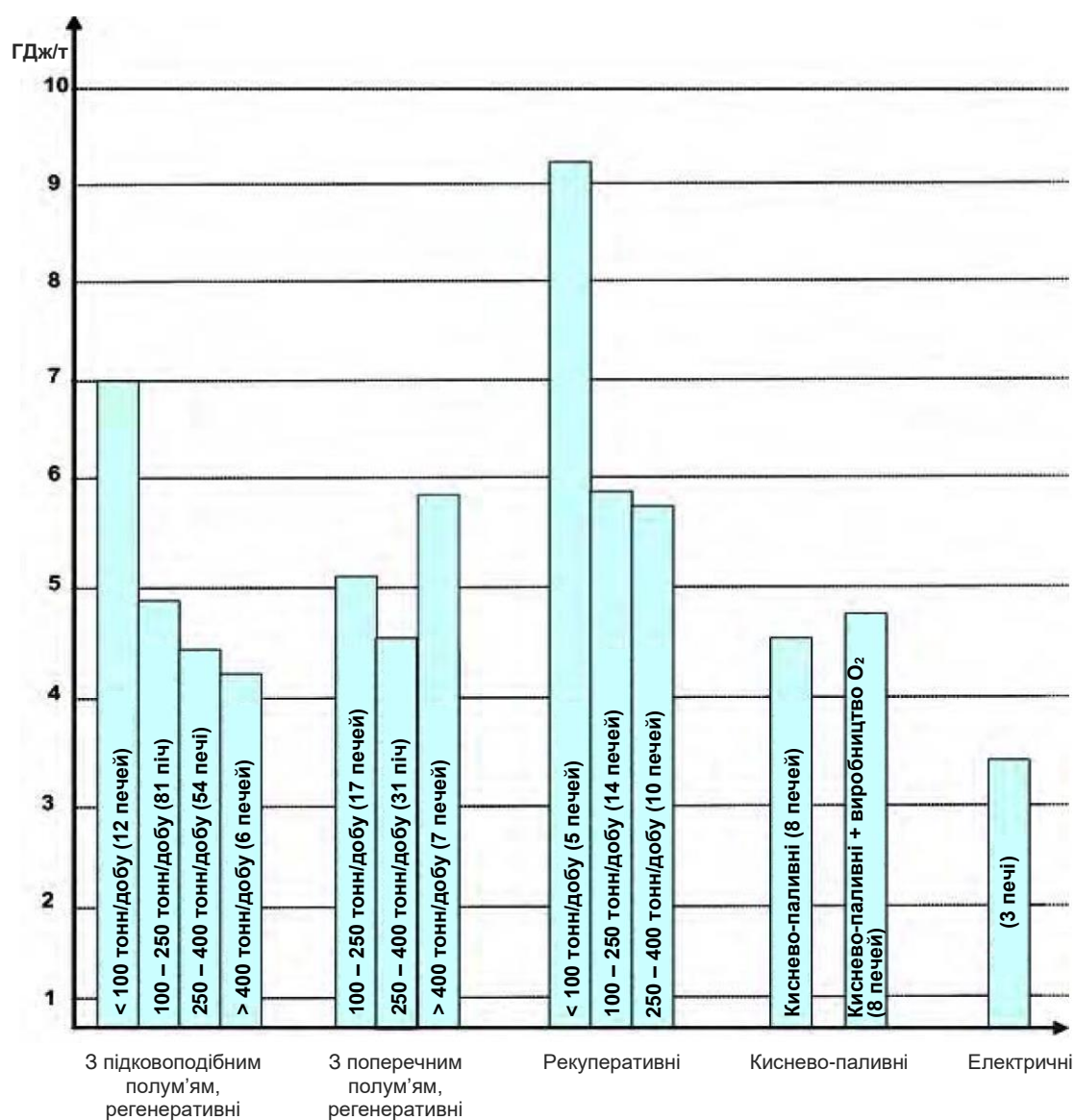
Споживання енергії в межах сектора варіюється в надзвичайно широкому діапазоні. Для виробництва флаконної продукції (спеціальних пляшок та банок для парфумів, косметики та фармацевтичних препаратів) питоме споживання енергії набагато вище, ніж для масового виробництва пляшок і банок. Для варіння високоякісного скла (флаконної продукції та парфумерної тари) потрібна вища температура і довший час перебування в печі, тому споживання енергії більше. Ці скляні вироби зазвичай виготовляються у досить малих печах, які за своєю суттю менш ефективні, ніж скловарні агрегати великої потужності. Крім того, при виробництві цієї продукції додаткова енергія витрачається на спеціальні операції заключної обробки, такі як вогневе полірування або оздоблення емаллю, а також через менші частки скляного бою, менші розміри печей (див. Таблицю 3.11 та Таблицю 3.13) і менше відношення чистого об'єму продукції до об'єму звареного скла внаслідок жорсткіших обмежень, що накладаються на якість. Операції заключної обробки також можуть виконуватися на заводах з масового виробництва пляшок та банок: у цьому разі споживанню енергії відповідають верхні значення діапазону. Нижні значення відповідають, зокрема, заводам, які мають доступ до великої кількості належного привізного скляного бою.

Подібний діапазон представлено у Таблиці 3.13 та на Рисунку 3.4, де наведені дані про енергію лише для процесу варіння скла.

Споживання енергії збільшується зі старінням печі через зношування ізоляції та зниження ефективності регенерації тепла з пічних відхідних газів. Для регенеративної печі, яка отримує належне технічне обслуговування, збільшення споживання енергії внаслідок старіння за оцінками складає від 1,5 до 3 % на рік – нижче значення відповідає печам, які отримують належне технічне обслуговування [96, Інститут прикладної фізики Нідерландської організації прикладних наукових досліджень (TNO-TPD), Еталонне порівняння енергоефективності, 2003].

На Рисунку 3.4 наведені статистичні дані про енергію варіння скла (ГДж на тонну звареного скла, приведені до 50 % скляного бою) за типами та діапазонами розмірів печей. З рисунка чітко видно, що менші печі споживають більше енергії, особливо при зніманні скла менше 100 тонн/добу, хоча на цей ефект накладається вплив типу продукції, яка зазвичай виготовляється у невеликих печах, тобто високоякісного скла для флаконної продукції. У окремо взятому діапазоні розмірів печі з підковоподібним полум'ям мають дещо більшу енергоефективність, ніж печі з поперечним полум'ям – це пояснюється, зокрема, дещо більшою поверхнею останніх, яка збільшує втрати тепла через конструкцію. Дані для киснево-паливних печей з урахуванням електричної енергії, необхідної для виробництва кисню, демонструють, що за енергоефективністю ці печі еквівалентні регенеративним печам у діапазоні більших розмірів.

Відсоток скляного бою, що використовується у складі шихти, суттєво і систематично впливає на споживання енергії піччю. Для того, щоб різні типи печей можна було порівняти за зіставних умов, споживання енергії в них було стандартизоване для 50 % скляного бою (детальніша інформація наведена у вступі до Таблиці 3.13).



Джерело: [64, FEVE, 2007]

Рисунок 3.4. Середні значення споживання енергії в печах для виробництва тарного скла, виражені у ГДж/тонну звареного скла і стандартизовані для 50 % скляного бою (2005 рік)

3.4 Плоске скло

Основним вихідним продуктом процесу виробництва плоского скла є, звісно, продукція, яка складає приблизно 70 % від вхідної сировини. Решта вихідних продуктів представлена головним чином викидами в повітря (10 – 20 %), що складається головним чином з CO_2 , утвореного в результаті розкладання карбонатів, та відходами скла (скляним боєм) у кількості близько 10 – 20 %, що утворюється в результаті обрізання країв, переходу на інший вид продукції та розбивання скла. Скляний бій зазвичай безперервно переробляється у печі, тож насправді продукція складає ближче до 85 % вхідної сировини.

3.4.1 Вхідні ресурси технологічного процесу

[19, CPIV, 1998], [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007]

Склад скла у секторі плоского скла загалом більш одноманітний, ніж в інших секторах скляної промисловості. Проте різні виробники можуть вибирати дещо різні способи отримання остаточного складу залежно від конкретних уподобань або відмінностей у постачанні сировини. Зокрема, може відрізнятися кількість скляного бою, що використовується, барвники за наявності та процеси нанесення покриття у ході виробництва, якщо вони застосовуються. Основні види базової сировини, що використовуються у цьому секторі, перелічені в Таблиці 3.22 нижче.

Таблиця 3.22. Матеріали, що використовуються у секторі виробництва плоского скла

Опис	Матеріали
Склоутворювальні матеріали	Кременистий пісок, технологічний скляний бій (іноді також скляний бій виробів, використаних споживачем)
Проміжні продукти та модифікатори скла	Карбонат натрію, вапняк, доломіт, сульфат кальцію та гіпс, нефеліновий сієніт, польовий шпат, шлак доменних печей, вуглець та пил з фільтрів
Окиснювачі та освітлювачі скла	Сульфат натрію, вуглець, нітрат натрію
Барвники для скла	Дихромат калію, оксид заліза, оксид кобальту, оксид церію, металевий селен або селеніт цинку
Процеси нанесення покриття у ході виробництва	Сполуки кремнію (наприклад, тетрахлорид кремнію, карбонати кремнію), галогеніди сильних кислот, органічні та неорганічні сполуки олова
Паливо	Мазут, природний газ, електроенергія, легкі сорти мазуту у якості резервного палива
Вода	Водопровід та місцеві природні джерела (колодязі, річки, озера, тощо)
Допоміжні матеріали	Пакувальні матеріали, у тому числі пластмаси, папір, картон та дерево Масила для машин, переважно мінеральні масла Технологічні гази, у тому числі азот, водень та діоксид сірки Олово у флоат-ванні Хімічні речовини для підготовки охолоджувальної води та очищення стічних вод

Джерело: [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007]

Найбільш значними вхідними ресурсами технологічного процесу є кремнеземвмісні матеріали (пісок та скляний бій) і карбонати (кальцинована сода, доломіт та вапняк). Сировина для скляної шихти змішується у належній пропорції для виготовлення ряду скляних сумішей різного складу, перелічених у частині 2, у розділі 2.5. У типових складах плоского скла близько 98 % скла припадає на оксиди кремнію, натрію, кальцію та магнію (SiO_2 : 72,6 %, Na_2O : 13,6 %, CaO : 8,6 % та MgO : 4,1 %). Діоксид кремнію отримується головним чином з піску та скляного бою; зі скляним боєм також надходять інші оксиди у пропорційно менших кількостях. Оксид натрію отримується головним чином з кальцинованої соди, оксид кальцію – головним чином з доломіту та вапняку, а оксид магнію – з доломіту.

На заводах з виробництва плоского скла весь зворотний скляний бій завжди, окрім виняткових випадків, безпосередньо переробляється в печі. Плоске скло зазвичай переробляється в інші вироби для будівельної та автомобільної промисловості, і скляний бій, що утворюється при такому подальшому перетворенні, у багатьох випадках також переробляється. Кількість скляного бою, що переробляється, загалом обмежується

доступністю скляного бою належної якості та хімічного складу. Загальна частка скляного бою, що вноситься в піч, зазвичай становить близько 20 %, проте може варіюватися від 10 до 40 % для печі, у якій вариться флоат-скло, та перевищувати 80 % для інших типів плоского скла. Відходи скла з обробних підприємств, на яких зі скла виготовляються вироби, все частіше повторно використовуються або переробляються на виробництвах плоского скла, проте дещо забруднені відходи можуть використовуватися виробниками тарного скла або виробниками інших типів скляної продукції. Вочевидь, 95 % відходів скла з обробних підприємств тим чи іншим чином переробляється.

Процеси нанесення покриття у ході виробництва дуже спеціалізовані і залежать від конкретного випадку.

У Таблиці 3.22 перелічені деякі типові види сировини, що використовуються в цих процесах.

Як і в інших сегментах скляної промисловості, вода використовується головним чином для охолодження, очищення та зволоження шихти. Плоске скло найчастіше виготовляється у вигляді безперервної стрічки (флоат-скла), яка виходить з відпалювального лера за температур понад 200 °С. Більша частина води, що споживається на фабриці, використовується для охолодження/обмивання цієї гарячої стрічки і не забруднюється, хоча може містити деяку кількість Na_2SO_4 . Фактичне споживання води і викиди водяної пари можуть різнитися залежно від місцевих умов (наприклад, температури навколишнього середовища та твердості води, що вноситься в систему).

Печі для виробництва плоского скла працюють майже виключно на мазуті або природному газі, проте в деяких випадках також застосовується електричне форсування, яке забезпечує до 10 % підведеної енергії. Також може використовуватися киснево-паливне форсування.

Існує кілька малопотужних електричних печей спеціального призначення, а у США є три киснево-паливні печі. У кінці 2008 року почала працювати киснево-паливна піч для виробництва флоат-скла у Франції. У секторі виробництва плоского скла немає значних технічних перешкод для застосування технології киснево-паливного згорання. Її потенційними недоліками є високі витрати на спеціалізовану вогнетривку конструкцію та витрати на кисень, які безпосередньо залежать від ціни на електроенергію. На час укладання цього документа (2010 рік) ці моменти були основними чинниками, що обмежували застосування киснево-паливної технології у секторі виробництва плоского скла.

3.4.2 Викиди у повітря

[19, CPIV, 1998], [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007]

3.4.2.1 Сировина

У більшості сучасних процесів виробництва плоского скла силоси та змішувальні резервуари обладнані системами фільтрів, які знижують викиди пилу до менш ніж 5 мг/м³ н.у. Масові викиди з систем – як оснащених, так і не оснащених фільтрами – явно залежать від кількості операцій транспортування та кількості матеріалу, що транспортується.

3.4.2.2 Варіння скла

У секторі виробництва плоского скла найбільше потенційне значення для навколишнього середовища мають викиди у повітря в результаті діяльності, пов'язаної з варінням скла. Речовини, що при цьому викидаються, та їх джерела вказані у розділі 3.2.2.1. Майже всі печі у цьому секторі – це регенеративні печі з поперечним полум'ям, що працюють на викопному паливі (як на природному газі, так і на мазуті).

Огляд печей, обладнаних системами контролю забруднень повітря, у секторі виробництва плоского скла наведено у Таблиці 3.23. Дані, наведені у таблиці, стосуються ситуації, коли у секторі застосовується система зниження викидів пилу, зазвичай у поєднанні з системами очищення газів від кислотних газоподібних забруднюючих речовин (SO_x , HF, HCl), що складається з 34 електростатичних фільтрів та одного рукавного фільтра. Контроль викидів NO_x здійснюється за допомогою установок СКВ, технології Fenix, контролю параметрів згорання (первинні заходи) та технології 3R

Таблиця 3.23. Огляд систем контролю забруднення повітря (КЗП), встановлених у секторі виробництва плоского скла в Європі

	Рік	Зниження викидів пилю, SO _x , HCl, HF, металів		Контроль/зниження викидів NO _x		Загальна кількість печей
		Системи КЗП (¹)	Обладнано печей	Системи КЗП (¹)	Обладнано печей	
ЄС-15	2000	16	33,3 %	8	16,7 %	48
ЄС-25	2005	28	51,9 %	22	40,7 %	53
ЄС-27	2007	35	60,3 %	28	48,3 %	58

(¹) Системи КЗП = системи контролю забруднення повітря.
Джерело: [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007], [127, Торгова асоціація скляної промисловості «Скло для Європи» (Glass for Europe), 2008]

Діапазони викидів у повітря підсумовані в Таблиці 3.24 нижче. У цій таблиці наведені цифри окремо для печей без жодних систем зниження викидів та для печей, у яких встановлені первинні та/або вторинні технології зниження викидів. Дані охоплюють як газові, так і мазутні печі з виробництва прозорого флоат-скла за нормальних умов експлуатації і відображають результати вимірювань за 2005 рік.

Повідомлені дані є результатом опитування, проведеного серед членів Європейської торгової асоціації скляної промисловості («Скло для Європи»), і стосуються країн ЄС-25. Результати статистичних аналізів даних можуть суттєво відрізнятися від результатів попереднього опитування, проведеного серед членів ЄС-15 для розробки першої версії цього документа BREF.

Слід зазначити, що технології відбору проб та вимірювання, які використовувалися для збору даних, були неоднаковими, а у випадках, коли використовувалися стандартизовані методи, відповідні результати виражені без урахування їх невизначеності.

Таблиця 3.24. Рівні викидів з печей для виробництва плоского скла з використанням та без використання систем зниження викидів

Речовина	Для печей без засобів зниження викидів, у мг/м³ н.у. (кг/тонну звареного скла)	Для печей з первинним/вторинними методами зниження викидів, у мг/м³ н.у. (кг/тонну звареного скла)
Оксиди азоту (у перерахунку на NO ₂)	1250 – 2870 (2,9 – 7,4)	495 – 1250 (1,1 – 2,9)
Оксиди сірки (у перерахунку на SO ₂)	365 – 3295 (1,0 – 10,6)	300 – 1600 (0,5 – 4,0)
Тверді частки	80 – 250 (0,2 – 0,6)	5,0 – 30 (0,02 – 0,08)
Фториди (HF)	<1,0 – 25 (<0,002 – 0,07)	<1,0 – 4,0 (<0,002 – 0,01)
Хлориди (HCl)	7,0 – 85 (0,06 – 0,22)	4,0 – 40 (<0,01 – 0,1)
Метали, крім Se (Ni, V, Co, Fe, Cr)	<1,0 – 5,0 (<0,001 – 0,015)	<1,0 (<0,001)
Селен (кольорове скло)	30 – 80 (0,08 – 0,21)	<5 (<0,015)

Примітка. Опорні умови: сухий газ, температура 0 °C (273 K), тиск 101,3 кПа, 8 % кисню за об'ємом.
Джерело: [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007]

Термін «печі без засобів зниження викидів» означає печі, які у нормальному режимі працюють без використання конкретних первинних чи вторинних технологій контролю забруднень.

Для печей без засобів зниження викидів найвищі викиди NO_x спостерігалися з заводів, які працювали на газі під великим навантаженням, а найнижчі – з заводів, які працювали на мазуті. У печах з засобами зниження викидів реалізовані первинні заходи, такі як процес Fenix, або вторинні заходи, такі як СКВ (селективне каталітичне відновлення) або 3R (додавання вуглеводневого мазуту або природного газу для хімічного відновлення NO_x).

Найвищі викиди SO_x з печей без засобів зниження викидів спостерігалися на заводах, що працюють на мазуті, а найнижчі – на заводах, що працюють на газі.

Найвищі викиди твердих часток для печей без засобів зниження викидів спостерігалися з заводів, які працюють на мазуті, а найнижчі – з заводів, які працюють на газі під низьким навантаженням і з високими частками скляного бою. Тверді частки, що викидаються з печі без відповідних засобів контролю, утворюються головним чином внаслідок конденсації у відхідних газах сполук натрію та сульфатів, що перейшли в леткий стан з розплаву. Основним компонентом твердих часток є сульфат натрію – порівняно нешкідлива розчинна сполука. Інші мікрокомпоненти походять із сировини, конструкції печі та мазуту, якщо він використовується.

Для печей без засобів зниження викидів найвищі викиди HCl та HF спостерігаються з заводів, на яких використовується сировина з порівняно високим вмістом хлоридів та фторидів.

Найвищі викиди металів з печей без засобів зниження викидів спостерігаються на заводах, що працюють на мазуті (за рахунок вмісту нікелю та ванадію у мазуті), або на яких використовуються барвники (Se, Co, Fe та Cr), а найнижчі викиди спостерігаються на заводах, що працюють на газі і виготовляють прозоре скло.

Діапазони викидів SO_x , пилу, HCl , HF та металів з печей, обладнаних засобами зниження викидів, стосуються установок, на яких експлуатуються системи зниження викидів твердих часток (електростатичний фільтр та, в одному випадку, рукавний фільтр) у поєднанні з очищенням кислотних газів для дотримання місцевих умов надання дозволу. За таких умов викиди металів часто нижчі, ніж рівні виявлення.

У разі виготовлення затемненого скла з використанням селену у якості барвника неконтрольовані викиди селену зазвичай знаходяться у діапазоні від 30 до 80 мг/м^3 н.у. У разі застосування вторинних заходів (фільтрування у поєднанні з очищенням кислотних газів) викиди зазвичай нижчі, ніж 5 мг/м^3 н.у., зі значеннями у діапазоні 1 – 3 мг/м^3 н.у. Досвід зниження викидів селену з печей для варіння флоат-скла на сьогодні дуже малий, особливо у випадку мазутних печей.

Ефективність обладнання для контролю викидів залежить від типу реагенту та присутності інших газоподібних забруднювачів (речовин, які поглинаються одночасно), таких SO_x , як у димових газах, що призводить до виникнення паралельних реакцій, які конкурують одна з одною.

3.4.2.3 Операції подальшої обробки

Оскільки ділянка олов'яної ванни герметично ущільнена і тому непроникна для повітря, викиди парів олова з флоат-ванни виявляються дуже низькими, і їх моніторинг зазвичай здійснюється лише для того, щоб гарантувати низькі рівні експозиції на робочих місцях. Це питання не розглядається докладніше в даному документі.

Гаряча обробка поверхні плоского скла на виході з флоат-ванни зазвичай здійснюється з метою поліпшення хімічної стійкості скла. У цьому процесі необхідно використовувати SO_2 , у результаті чого утворюються газоподібні викиди, зазвичай в межах 150 – 300 мг/м^3 н.у. (0,02 – 0,04 кг/тонну звареного скла) [84, Звіт від Італії, 2007]; проте у випадку спеціальних виробництв викиди можуть бути вищими.

Процеси нанесення покриття у ході виробництва, що застосовуються до плоского скла, дуже залежать від конкретного випадку; в них використовується різноманітна сировина і викидаються різноманітні забруднюючі речовини. З-поміж технологій нанесення покриття однією з найважливіших технологій є піролітичне хімічне осадження з газової фази (CVD) у ході виробництва з використанням газоподібної суміші хімічних речовин, яка реагує з гарячою поверхнею скла, у результаті чого на склі осаджується покриття, яке зв'язується зі склом. На поверхню скла осаджуються різні матеріали, які головним чином складаються з металів та оксидів.

Нанесення покриття шляхом напилювання металів з металевих мішеней на поверхню скла зазвичай виконується поза виробництвом за дуже низького тиску у спеціальних вакуумних камерах. Викиди зазвичай містять кислотні гази (HF , HCl) та дрібнодисперсні тверді частки (наприклад, оксиди кремнію та олова).

Загалом операції подальшої обробки не породжують значних масових викидів, хоча вони зазвичай підпадають під дію загального місцевого законодавства щодо охорони навколишнього середовища, і для них встановлюються відповідні системи зниження викидів. Інформація про рівні викидів від цих видів діяльності доступна в обмеженому об'ємі. При цьому типові рівні викидів, наприклад, для HCl: від 10 до 30 мг/м³ н.у., для HF: 5 мг/м³ HF н.у., для твердих часток: 20 мг/м³ н.у., та для сполук олова: 5 мг/м³ н.у.

Ще однією важливою операцією подальшої обробки у секторі плоского скла є виробництво дзеркал. Відповідний технологічний процес та пов'язані з ним рівні викидів не розглядаються у цьому документі, оскільки він уже викладений у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методів управління для поверхневої обробки за допомогою органічних розчинників (STS).

[139, Європейська комісія, 2007].

3.4.2.4 Дифузні / леткі викиди

Основним джерелом дифузних/летких викидів у секторі виробництва плоского скла є зона завантаження шихти у скловарну піч.

Основними проблемами є викиди пилу внаслідок винесення шихти та газоподібні продукти згорання, які містять леткі сполуки, присутні у рецептурі шихти. У викидах з зони завантаження може бути присутній селен, що використовується для забарвлення скла.

Для відведення викидів з зони завантаження в атмосферу часто використовуються витяжні системи, а для видалення пилу використовуються рукавні фільтри.

3.4.3 Викиди у воду

Як було сказано вище, вода у цьому секторі використовується головним чином для очищення, охолодження та зволоження шихти. Водні викиди обмежуються продувками систем охолоджувальної води, очисними водами та поверхневими водними стоками. Очисні води не створюють особливих проблем, нехарактерних для всіх інших промислових об'єктів, тобто містять інертні тверді речовини та масло. Продувки з охолоджувальних систем містять розчинені солі і хімічні речовини для підготовки води. Якість поверхневих вод залежить від ступеня розділення стоків та чистоти на об'єкті.

За винятком побутових стічних вод, скиди зазвичай містять лише тверді частки скла, потенційно можуть містити деяку кількість масляних забруднень та хімічні речовини від підготовки води для системи охолоджувальної води. У секторі зустрічаються прості технології зниження викидів, такі як відстоювання, проціджування, масляні сепаратори та нейтралізація.

3.4.4 Інші відходи

Пил із шихтоскладальних установок завжди, коли це можливо, повертається у силоси з сировиною і повторно використовується у технологічному процесі. Порції браку поступово подаються назад у технологічний процес шляхом додавання їх невеликих кількостей, якщо це можливо, у наступні порції шихти. Зазвичай на переплавлення повертається 99 % скляних відходів, утворених наприкінці процесу виробництва скла, обрізків, браку та пошкодженого скла.

Після завершення кампанії печі її вогнетривка конструкція (іноді без регенераторів) демонтується і замінюється. Як і в секторі виробництва тарного скла, з такого матеріалу, наскільки це можливо, намагаються здобути користь шляхом його повторного використання або продажу. Питання, пов'язані з матеріалами, які містять хром, розглядаються у розділі 3.2.2.3.

Більша частина сировини для скла зазвичай постачається насипом, тому після неї не залишається відходів упаковки. Відходи від операцій пакування продукції (пластмаса, картон, дерево, тощо) зазвичай використовуються повторно або переробляються, якщо це можливо. Інші відходи, які не є специфічними для цього сектора, утилізуються звичайним чином.

3.4.5 Енергія

[19, CPIV, 1998], [15, ETSU, 1992]

Розподіл використання енергії у типовому процесі виробництва флоат-скла зображено на Рисунку 3.5, проте використання енергії у конкретних процесах може дещо відрізнятись. З рисунка видно, що понад три чверті енергії, спожитої на заводах з виробництва флоат-скла, витрачається на варіння скла. Ще 5 % від загальної енергії припадають на формування та відпалювання. Решта енергії витрачається на обслуговування, системи керування, освітлення, опалення фабрики та процеси після формування, такі як огляд та пакування. У розподілі, зображеному на Рисунку 3.5, не враховуються операції подальшої обробки, такі як нанесення покриття, різання, термічне гартування, обробка за допомогою іонного обміну, виготовлення дзеркал, тощо, які можуть виконуватися за межами установки.

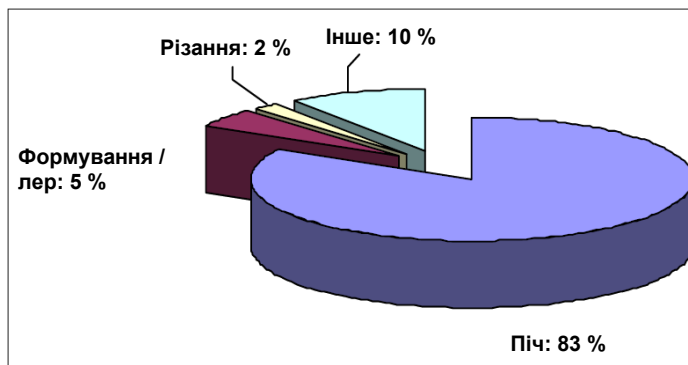


Рисунок 3.5. Розподіл використання енергії у типовому процесі виробництва флоат-скла

Печі для виробництва флоат-скла працюють майже виключно на важкому мазуті або природному газі, проте іноді також застосовується електричне форсування, яке забезпечує до 10 % енергії. Багато печей здатні працювати на мазуті або газі, або ж потенційно здатні водночас спалювати обидва види палива на різних пальниках. Існує кілька прикладів електричних печей, проте вони малопотужні і мають спеціалізоване призначення. Крім того, у США є три киснево-паливні печі, які почали працювати у 1998 році, і ще одна нова піч почала працювати в 2009 році у Франції.

Канали живильників (у випадку прокатного скла) та відпалювальні лери обігріваються газом або електроенергією. Електроенергія використовується для приведення в рух повітряних компресорів та вентиляторів, необхідних для протікання технологічного процесу. До операцій загального обслуговування належить перекачування води, зазвичай – виробництво пари для обігрівання сховищ палива і супутникового обігрівання, зволоження/нагрівання шихти та іноді опалення будівель. У деяких випадках великі печі обладнані котлами-утилізаторами для виробництва всієї необхідної пари або її частини. Обмежена кількість печей обладнана турбінами та генераторами для виробництва електроенергії з пари.

Споживання енергії у технологічному процесі залежить від багатьох чинників, основні з яких окреслені у розділі 3.2.3. Діапазон споживання енергії на підприємствах цього сектора доволі вузький у порівнянні з іншими секторами, оскільки печі, що використовуються, порівняно мало різняться за типами. Питоме споживання енергії дуже залежить від розміру печі; піч з продуктивністю понад 800 тонн звареного скла/добу потребує на 10 – 12 % менше енергії у порівнянні з піччю з продуктивністю близько 500 тонн/добу. Старіння печі призводить до збільшення споживання енергії, яке у середньому еквівалентне 1 – 1,3 % на рік. На установках у країнах ЄС-27 рівні енергії, що витрачається на варіння скла, зазвичай становлять від 5,2 до 8,7 ГДж/тонну звареного скла, з середнім значенням у 7,5 ГДж/тонну скла, і залежать головним чином від розміру та віку установки. Для печей дуже великої потужності на початку кампанії печі можна досягти дуже низьких значень – від 5,0 ГДж/тонну звареного скла. Питома потреба в енергії для технологічного процесу у цілому загалом менша, ніж 8,0 ГДж/тонну [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007].

3.5 Скловолокно з безперервних ниток

Основним вихідним масовим потоком є продукція, яка може складати від 55 – 80 % вхідної сировини. Втрати виникають у вигляді викидів у повітря, твердих залишків та водяних відходів. Розплавлена скломаса складає близько 80 – 85 % сировини, внесеної у піч. Більшу частину витрат становлять газоподібні викиди – особливо CO₂, що утворюється внаслідок розкладання карбонатів. Відходи волокна та стоки скла можуть становити від 10 до 30 % вхідних ресурсів технологічного процесу. У Таблиці 3.25 підсумовані типові вхідні ресурси / вихідні продукти для виробництва скловолокна з безперервних ниток.

Таблиця 3.25. Огляд вхідних ресурсів та вихідних продуктів у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток

		Кількість/тонну продукції			
		Вхідні ресурси	Одиниця вимір.	Вихідні продукти	Одиниця вимір.
Сировина для скла					
Кремнезем		300 – 457	кг		
Колеманіт		0 – 250	кг		
Карбонат кальцію		300 – 411	кг		
Глина		395 – 544	кг		
Флюорит		0 – 20	кг		
Інше (доломіт, обпалене вапно, борна кислота, тощо)		3 – 153	кг		
Викиди у повітря					
Пил без системи зниження викидів				1,4 – 2	кг
Пил при використанні рецептури з низьким вмістом бору або без бору у якості заходу зі зниження викидів				<0,14 – 0,35	кг
Пил при застосуванні системи зниження викидів у кінці виробничого циклу				0,02 – 0,24	кг
CO ₂ від розкладання сировини				0 – 200	кг
CO ₂ від згорання				450 – 1000	кг
Водяна пара від згорання / розкладання сировини				180 – 800	кг
Вода від процесів сушіння				75 – 200	кг
NO _x (у перерахунку на NO ₂) від повітряно-паливного згорання				2,7 – 16,5	кг
NO _x (у перерахунку на NO ₂) від киснево-паливного згорання				0,3 – 2,0	кг
SO _x (у перерахунку на SO ₂)				0,05 – 8	кг
HF				<0,5	кг
HCl				0,03 – 0,12	кг
Вода від випаровування, охолодження				3200	кг
Леткі органічні сполуки (ЛОС) у зоні формування, печач				0,1 – 0,5	кг
Баланс в'язучих речовин					
(У постаченому вигляді)	Полімери (~50 % твердої речовини)	20 – 40	кг		
(У постаченому вигляді)	Силан	1 – 2	кг		
(У постаченому вигляді)	Мастила	1 – 5	кг		
(У постаченому вигляді)	Інше	0 – 10	кг		
(Сухі тверді речовини)	В'язуча речовина на склі			4 – 20	кг
(Сухі тверді речовини)	В'язуча речовина у стічних водах			1 – 13	кг
(Сухі тверді речовини)	В'язуча речовина у твердих відходах			<1	кг
	В'язуча речовина у повітрі (див. ЛОС вище)				кг
Баланс води	Усього	4000 – 15000	кг		
	Додано для в'язучої речовини	<200	кг		
	Для охолодження (додано)	> 1500	кг		
	Для розбризкування, очищення	> 3000	кг		
	У відходах скла			10 – 20	кг
	У каналізації			2000 – 11000	кг
	У повітрі внаслідок випаровування (печі, градирні, тощо)			1500 – 4000	кг
Тверді відходи (сухі тверді речовини)					
	Скловолокно			60 – 250	кг
	Відходи в'язучої речовини			1 – 13	кг
Енергія		10 – 25	ГДж		
Енергія для варіння скла (піч + освітлювач + канали живильника)		7 – 18	ГДж		

Джерело: [19, CPIV, 1998], [66, ОНОВЛЕНІ ДАНІ APFE для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007]

3.5.1 Вхідні ресурси технологічного процесу

Хімічний склад волокна різниться залежно від типу скла та кінцевого призначення і зазвичай виражається у перерахунку на оксиди елементів, з яких воно складається. «Типовий» склад шихти важко визначити точніше, ніж наведено у Таблиці 3.25 вище. Базова сировина підбирається і перемішується для отримання остаточного бажаного складу скла після його варіння. Сировина дуже дрібна за гранулометричним складом: це потрібно, щоб досягти дуже високої однорідності шихти і розплаву. Типові види скла та діапазони вмісту складових матеріалів наведені у розділі 2.6. У наведеній нижче Таблиці 3.26 наведені основні види сировини, що використовуються для отримання такого складу.

Таблиця 3.26. Матеріали, що використовуються у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток

Опис	Матеріали
Склоутворювальні матеріали	Кременистий пісок
Проміжні продукти та модифікатори скла	Карбонат кальцію, оксид кальцію, алюмосилікат, колеманіт, борат кальцію, тетраборат натрію, борна кислота, польовий шпат, флюорит, сульфат кальцію, карбонат натрію, карбонат калію, сульфат натрію, оксид цинку, оксид титану або рутил, оксид цирконію, доломіт та оксид заліза
Матеріали покриття	Матеріал покриття може бути різним залежно від кінцевого використання продукції. До типових матеріалів покриття належать: плівкоутворювачі (наприклад, полівінілацетат, крохмал, поліуретан, епоксидні смоли), апрети (наприклад, органофункціональні силани), модифікатори pH (наприклад, оцтова кислота, хлороводнева кислота, солі амонію) та мастила (наприклад, мінеральні масла, поверхнево-активні речовини)
В'язучі речовини для побічних продуктів	Полівінілацетат, порошки насичених полієфірів, порошки фенолової смоли
Паливо	Мазут, природний газ, електроенергія
Вода	Водопровід та місцеві природні джерела (колодязі, річки, озера, тощо)
Допоміжні матеріали	Пакувальні матеріали, у тому числі пластмаси, папір, картон, тощо Технологічні гази, кисень Хімічні речовини для підготовки охолоджувальної води та очищення стічних вод

Найбільш значними вхідними ресурсами технологічного процесу є кременистий пісок, карбонати та оксиди лужних/лужно-земельних металів, глинозем та боровмісні матеріали. У складі алюмоборосилікатного безлугового скла (скла Е) понад 95 % скла припадає на оксиди кремнію, натрію, калію, кальцію, магнію, бору та алюмінію. Головні оксиди та основні матеріали, з яких вони утворюються, такі: SiO_2 (53 – 60 % піску), $\text{CaO} + \text{MgO}$ (20 – 24 % вапняку, доломіту), B_2O_3 (0 – 10 % колеманіту, тетраборату натрію, тощо), Al_2O_3 (11 – 16 % глинозему) та $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (<2 % кальцинованої соди / поташу).

Матеріали покриття становлять дуже малу частку маси продукції – зазвичай від 0,5 до 2 %. Вони складаються головним чином з водних розчинів полімерів, які зазвичай містять 50 % твердої речовини, та меншої кількості інших матеріалів, вказаних у Таблиці 3.26.

Вода використовується для охолодження, очищення, приготування покриття та в деяких випадках у системах мокрого очищення газів. Однією з особливостей виробництва скловолокна з безперервних ниток є потреба у великій кількості води для охолодження. Кожну фільтру потрібно охолоджувати водою, щоб дуже швидко знизити температуру елементарної нитки з 1250 °C до температури навколишнього середовища. Охолодження здійснюється шляхом передавання тепла в металеві прутики, розташовані поблизу насадок фільтру, а також шляхом охолодження за рахунок циркулювання води, пропускання холодного повітря крізь нитки та розбризкування струменів води. Охолоджувальна вода також повинна циркулювати навколо печі та каналів живильника, зазвичай у напівзамкнених контурах, і загальна її витрата зазвичай становить кілька тисяч м³/год.

Значні об'єми води також використовуються для приготування покриття та змивання у зоні формування/намотування. Загальне споживання води на тонну готової продукції зазвичай становить від 4 до 20 м³; близько 20 % цього значення складають втрати в охолоджувальній системі.

3.5.2 Викиди у повітря

3.5.2.1 Сировина

У більшості сучасних технологічних процесів силоси та змішувальні резервуари обладнані системами фільтрів, які знижують викиди пилу до менш ніж 5 мг/м^3 н.у. Масові викиди з систем – як оснащених, так і не оснащених фільтрами – явно залежать від кількості операцій транспортування та кількості матеріалу, що транспортується.

3.5.2.2 Варіння скла

[19, СРІV, 1998], [66, ОНОВЛЕНІ ДАНІ APFE для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007]

У секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток найбільше потенційне значення для навколишнього середовища мають викиди у повітря в результаті діяльності, пов'язаної з варінням скла. Основні речовини, що при цьому викидаються, та їх джерела вказані у розділі 3.2.2.1. У 2005 році 57 % печей, що працювали в цьому секторі, були рекуперативними печами на природному газі, а в деяких з них використовувалося кисневе форсування та/або електричне форсування (мазут зараз рідко спалюється в печах, і в більшості випадків використовується лише як резервне паливо у періоди дефіциту газу під час пікового споживання). На сьогодні все більше печей (43 % у 2005 році) 100 %-во киснево-паливні, у багатьох з них використовується електричне форсування.

Викиди пилу у процесі варіння скла складаються переважно з сульфатів та боратів лужних і лужно-земельних металів (наприклад, сульфату натрію/калію/кальцію та борату натрію/калію/кальцію). У той час як кінцева скляна продукція містить 6 – 8 % бору (у вигляді B_2O_3), викиди пилу можуть на 85 – 90 % складатися зі сполук бору, породжених явищами переходу в леткий стан та конденсації. Використання рецептури шихти з високим вмістом оксидів бору, у поєднанні з низькими або високими концентраціями оксидів лужних металів, визначає механізм утворення викидів пилу та можливу присутність значних кількостей газоподібних сполук бору у димових газах (HBO_2 та H_3BO_3). Різні варіанти поведінки низьколужних видів скла, таких як скло Е, та інших типів боросилікатного скла описані у розділі 4.4.1.1.

Велика кількість бору викидається у газоподібній формі за низьких температур, які можуть досягати лише 60°C , особливо при виробництві боровмісного скла Е, і в результаті може бути важко визначити рівні викидів сполук бору у вигляді пилу та в газоподібній формі. У цьому випадку для ефективного зниження викидів бору з димовими газами необхідно застосовувати належну технологію очищення газів, оскільки при фільтруванні пилу видаляється лише частина бору. У прикладі, представленому в Таблиці 3.27, наведена масова витрата сполук бору, виміряна перед очищенням відхідних газів та після нього для виробничої установки, обладнаної сухим скруббером та рукавним фільтром, а також додатковою системою мокрого очищення газів для зниження викидів газоподібних сполук бору.

Таблиця 3.27. Розподіл сполук бору за різних температур та на різних етапах очищення димових газів

Температура відхідних газів	Умови відбору проб	Усього твердих часток	Усього сполук бору (у вигляді твердих часток та в газоподібній формі) у перерахунку на B_2O_3
$^\circ\text{C}$		кг/год.	кг/год.
189	Неочищені відхідні гази	3,14	11,2
164	Після рукавного фільтра	0,30	7,25
108	Після рукавного фільтра та мокрого очищення газів	0,29	2,96

Джерело: [84, Звіт від Італії, 2007]

Діапазон викидів у повітря підсумовано в Таблиці 3.28, у якій наведені дані для випадків застосування як первинних, так і вторинних технологій зниження викидів.

Таблиця 3.28. Рівні викидів з печей для виробництва скловолокна з безперервних ниток

Речовина	Первинні технології зниження викидів, у мг/м ³ н.у. ⁽¹⁾ (кг/тонну звареного скла)	Вторинні технології зниження викидів, у мг/м ³ н.у. (кг/тонну звареного скла)
Оксиди азоту (у перерахунку на NO ₂) з повітряно-паливним горінням	600 – 1600 (2,7 – 7,2)	Немає прикладів вторинних технологій зниження викидів
Оксиди азоту (у перерахунку на NO ₂) з киснево-паливним горінням	(0,3 – 1,9)	Немає прикладів вторинних технологій зниження викидів
Оксиди сірки (у перерахунку на SO ₂)	150 – 1200 (0,75 – 6,0) (газові печі); до 3000 (15) (мазутні печі)	Немає прикладів вторинних технологій зниження викидів
Тверді частки	(<0,14 – 0,35)	5 – 50 (0,02 – 0,24)
Фториди (HF)	<20 (<0,09) (без додавання фторидів) 50 – 400 (0,25 – 2,0) (з додаванням фторидів)	<20 (<0,1)
Хлориди (HCl)	<10 (<0,05)	<10 (<0,05)
Метали групи 1 (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI}) ⁽²⁾	<1 (<0,0045)	<1 (<0,0045)
Метали груп 1+2 (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn) ⁽²⁾	<3 (<0,014)	<3 (<0,014)
⁽¹⁾ Значення виражені як концентрації (мг/м ³ н.у.) за таких умов: сухий газ, температура 0 °C (273K), тиск 101,3 кПа, 8 % кисню за об'ємом. ⁽²⁾ Див. визначення металів групи 1 та групи 2 у Таблиці 3.4, розділ 3.2.2.1. Джерело: [66, ОНОВЛЕНІ ДАНІ APFE для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007]		

Первинні технології, що застосовуються для зниження викидів пилу, полягають у використанні рецептур шихти з низьким вмістом бору або взагалі без бору. Шляхом використання безборних рецептур та належного контролю за винесенням шихти для киснево-паливних печей значення викидів можна знизити до менш ніж 0,14 кг/тонну звареного скла. Повідомлялися значення всього лише у 0,03 кг/тонну скла, проте конкретні умови експлуатації, за яких вдалося досягти таких низьких значень, невідомі. Вищі рівні викидів (до 0,35 кг/тонну скла) можуть спостерігатися, якщо використовується сировина, схильна до розтріскування при обпалюванні (тобто доломіт). Без застосування первинних або вторинних заходів рівні викидів твердих часток можуть досягати до 2 кг/тонну звареного скла.

Рівні викидів оксидів азоту з повітряно-паливних печей, виражені у вигляді питомих коефіцієнтів викидів (кг/тонну звареного скла) виявляються нижчими за більшого виходу продукції з печі та використання електричного форсування. На установках з найкращими показниками зареєстровані значення у діапазоні приблизно від 3,0 до 5,0 кг/тонну звареного скла. Киснево-паливне горіння широко застосовується у секторі (приблизно у 50 % скловарних печей), у той час як вторинні технології зниження викидів (тобто 3R, селективне каталітичне відновлення – СКВ, селективне некаталітичне відновлення – СНКВ) не застосовуються.

Викиди фторидів безпосередньо пов'язані з використанням у рецептурі шихти сполук, які містять фтор, у якості флюсу при варінні скла або для поліпшення процесу волокнуутворення. У деяких випадках фториди додаються у якості сировини для того, щоб кінцева скляна продукція відповідала вимогам до її якості. Кількість фтору, яка вважається необхідною, залежить від багатьох специфічних технічних чинників, пов'язаних з конструкцією печі та процесом формування волокон, пропускною здатністю та необхідним діаметром ниток готової продукції.

Якщо фтористі сполуки не додаються у рецептуру шихти умисно, досягнуті рівні HF залежать від кількості домішок у сировині (зокрема, алюмосилікаті та каоліні) з низьким змінним вмістом фторидів, постачання якої надійне і економічно доступне. Незалежно від походження, частка фторидів буде викидатися з печі у складі відхідних газів. Остаточна концентрація HF у димових газах може суттєво різнитися залежно від вмісту фторидів у шихті та заходів зі зниження викидів, що застосовуються.

3.5.2.3 Операції подальшої обробки

[19, СРІV, 1998]

Викиди у повітря при нанесенні покриття зазвичай досить низькі: це зумовлено загалом низькою леткістю матеріалів покриття та низькими температурами скла в місці нанесення покриття. Проте у зоні формування створюються дуже високі витрати повітря, щоб забезпечити належне охолодження скла, і спостерігається деяке винесення крапель або випаровування органічних сполук. У більшості випадків відведене охолоджувальне повітря очищується за допомогою систем мокрого очищення газів перед викиданням або частково регенерується шляхом повернення в зону формування. Великий об'єм охолоджувального повітря означає, що концентрації викидів загалом досить низькі. У результаті нечисленних вимірювань (у тому числі для випадків використання покриття з підвищеним вмістом розчинника) було виявлено концентрації летких органічних сполук (ЛОС) від дуже низьких рівнів до 20 мг/м³ н.у.

Матеріали покриття зазвичай виготовлені на водній основі, а куличі волокна часто сушаться в печах. У процесі сушіння утворюються викиди водяної пари та всіх наявних сполук, які переходять у леткий стан за температур сушіння. Під час процесу сушіння покриття хімічно зв'язується зі склом, і рівні викидів загалом порівняно низькі. Проте рецептури покриття, а отже, і викиди можуть варіюватися в дуже широких межах, і для процесу сушіння існує лише невелика кількість вимірювань. Ці вимірювання демонструють викиди ЛОС, що варіюються від рівнів, які ледве можна виявити, до максимального рівня у 70 мг/м³ н.у., що тотожно (у цьому прикладі) менш ніж 100 г/год.

Викиди також можуть утворюватися під час операцій додаткової обробки з метою виготовлення матів і тканин, у яких використовуються в'язучі речовини, котрі потрібно ствердити або висушити. Знову ж таки, з цього питання доступно дуже мало інформації, а наявна інформація вказує на широкий розкид залежно від технологій і речовин, що використовуються. Максимальні повідомлені викиди ЛОС склали 150 мг/м³ н.у. та 270 г/год.

Стосовно типових концентрацій викидів у результаті операцій подальшої обробки – зокрема, операцій нанесення покриття та сушіння – доступно мало інформації. Концентрації викидів, отримані в результаті вимірювань після системи мокрого очищення газів, склали <20 мг/м³ н.у. для твердих часток (які містять органічні та неорганічні сполуки), <20 мг/м³ н.у. для формальдегіду та <30 мг/м³ н.у. для аміаку [84, Звіт від Італії, 2007].

У результаті зберігання та транспортування матеріалів покриття також можуть утворюватися викиди пилу або летких органічних сполук (ЛОС), проте ці викиди зазвичай дуже низькі, і їх можна контролювати шляхом застосування належних практик виконання робіт та влаштування місцевої витяжної вентиляції.

3.5.2.4 Дифузні / леткі викиди

Основними джерелами дифузних/летких викидів у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток є зона завантаження шихти у скловарну піч, канали живильника та операції зберігання і приготування рецептур покриття.

З огляду на вимоги до однорідності шихти і скла у цьому секторі використовується дуже тонко подрібнена сировина. Проте зону завантаження шихти зазвичай тримають закритою завжди, коли це можливо, тож очікується, що потенційні викиди внаслідок винесення шихти та утворення газоподібних продуктів згорання будуть дуже низькими.

На каналах живильника часто влаштовуються вентиляційні та витяжні системи для відведення викидів твердих часток і газоподібних викидів назовні.

У процесі зберігання та приготування рецептури шихти використовуються органічні сполуки, такі як полівінілацетат, поліуретан та епоксидна смола. Для цих операцій зазвичай відводяться спеціальні закриті ділянки з метою обмеження впливу потенційних викидів на працівників.

3.5.3 Викиди у воду

[19, CPIV, 1998]

Викиди утворюються в зоні формування, у процесах приготування в'язучої речовини, очищення, охолодження, нанесення в'язучої речовини на тканину/мати та у системах водного очищення газів. Основним джерелом викидів є зона формування. Через високу частоту обертання мотальних пристроїв (дію відцентрових сил) та рух ниток у процесі формування деяка частка нанесеної в'язучої речовини розкидається і витискається. Ця речовина збирається у прилеглий зоні разом з водою, що використовується для періодичного очищення зони формування та намотування. Вода, що розбризкується на нитки, також збирається в тому ж місці.

Викиди можуть виникати у зоні приготування в'язучої речовини у вигляді пролитих чи просипаних матеріалів та витоків, які зливаються у систему збору і відведення стічних вод. У системах охолоджувальної води великого об'єму необхідно влаштувати продувальний потік, який буде містити невелику кількість хімічних речовин для підготовки води. Більшість систем очищення газів, що наразі використовуються, – це водяні скрубери рециркуляційного типу, у яких потрібно влаштувати продувальний потік або періодично зливати і замінювати газопромивну рідину. Загальне споживання води на тонну готової продукції зазвичай становить від 4 до 20 м³; близько 20 % цього значення складають втрати в охолоджувальній системі (продувка та випаровування). За очевидним винятком витрат на випаровування, більшість цієї води скидається у вигляді стічних вод. У цьому секторі загалом прийнято скидати цю воду на станції очищення стічних вод або очищати воду на об'єкті. Якщо вода скидається на установки очищення стічних вод, рівні викидів у місці скидання можуть бути значно вищими, ніж значення, наведені у Таблиці 5.5 як досяжні рівні викидів.

Концентрації забруднюючих речовин у стічних водах зазвичай дуже низькі (вміст твердих часток менше 0,2 % перед очищенням, якщо воно застосовується), оскільки ці води розбавляються змивальною водою, і речовини, що містяться у цих водах, переважно здатні до біологічного розкладання. Хімічні речовини, що при цьому використовуються, не містять жодних важких металів або речовин з переліку небезпечних речовин, проте їх фактичний склад дуже різниться на різних об'єктах через велике розмаїття складів в'язучих речовин. Для деяких видів продукції досі використовується апрет на основі хрому, проте він поступово виходить з ужитку.

Приклад водного балансу, типовий для установки, на якій виготовляється скловолокно з безперервних ниток, наведено на Рисунку 3.6.

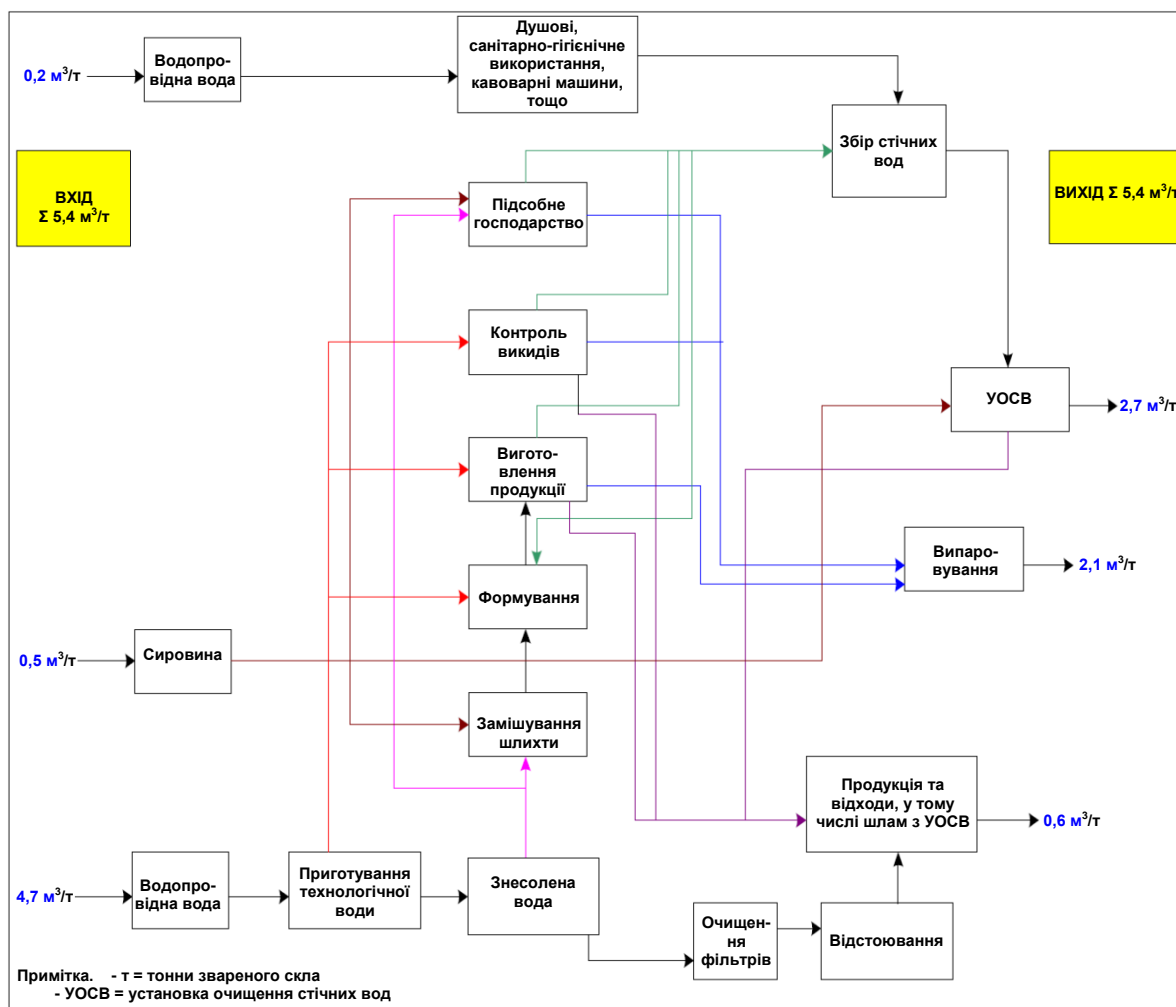


Рисунок 3.6. Приклад водного балансу для установки, на якій виготовляється скловолокно з безперервних ниток

3.5.4 Інші відходи

[19, СРІV, 1998]

Відходи можуть утворюватися на шихтоскладальній установці у вигляді забракованої шихти, пролитих чи просипаних матеріалів та витоків. Технологічний процес дуже чутливий до якості сировини, тому такі відходи зазвичай вивозяться на полігон (від 5 до 50 тонн на рік).

Розплавлена скломаса, що надходить зі скловарного агрегату у канали живильника, може містити невелику кількість домішок (нерозплавлених часток), які потенційно можуть призводити до обривів ниток у фільтрах, а отже, до утворення відходів скловолокна. Щоб зменшити кількість таких обривів, на дні каналу, по якому скломаса надходить у живильники, можна встановити зливні фільтри для відведення невеликих потоків скла, що містять ці нерозплавлені частки більшої густини. У разі використання зливних фільтрів, ці стоки скла зазвичай складають від 1 до 5 % звареного скла. Стоки скла можна перетворити у скляний бій і переробити на самому виробництві або використати з іншою метою. Цей матеріал зазвичай небажано переробляти на самому виробництві, оскільки при цьому у піч повертаються відділені домішки, які знову потечуть у фільтри. Це може призвести до поступового накопичення непридатного до плавлення матеріалу і потенційного збільшення частки стоків скла.

Відходи скла та волокна також утворюються внаслідок переходу на інший вид продукції, зміни упаковки та обривів ниток, коли скло продовжує текти, але його неможливо перетворити у придатний для продажу продукт. При виробництві ниток дуже малого діаметру (від 5 до 25 мкм) важко уникнути деякого рівня обривів. Відповідно, кількість відходів скловолокна може бути більшою, і вони зазвичай складають один з основних потоків відходів від технологічного процесу.

Кількість відходів може становити від 10 до 25 % від загального об'єму розплавленої скломаси, що витікає з печі, залежно від типу процесу формування та діаметру ниток. Ця кількість може суттєво збільшитися у разі виникнення проблем із сировиною або з робочими характеристиками та сталістю роботи печі. Відходи волокна містять до 25 % води і розбавленої в'язучої речовини.

При перетворенні кулича у готову продукцію утворюється певна кількість відходів, яка може бути різною залежно від виду продукції – від 3 до 10 %. Непридатний для використання матеріал складається головним чином з матеріалу на внутрішній та зовнішній поверхні куличів, скуповдженого волокна, пошкодженого матеріалу та браку, зразків для випробування, обрізків матів, тощо. Як правило, відходи містять від 0,5 до 10 % матеріалу покриття (до 20 % для тканин) і можуть містити до 15 % води.

Пил, накопичений в обладнанні для зниження викидів, не завжди можна переробити шляхом повернення назад у піч. У разі застосування технологій сухого чи мокрого очищення газів така переробка може бути складнішою, потребуючи додаткових заходів, таких як змішування або обробка.

3.5.5 Енергія

[19, CPIV, 1998], [15, ETSU, 1992]

Розподіл безпосереднього споживання енергії у типовому процесі виробництва скловолокна з безперервних ниток зображено на Рисунку 3.7. Споживання енергії у конкретних процесах може різнитися залежно від розміру скловарного агрегату та типу операцій подальшої обробки. Загалом на варіння скла витрачається понад три чверті енергії. Близько 15 % спожитої енергії припадає на формування, включно з обігріванням фільтр та перетворенням у готову продукцію, а решта енергії витрачається на операції обслуговування, системи керування, освітлення та опалення фабрики.

У 2005 році більшість печей цього сектора були газовими печами рекуперативного типу, а у деяких з них використовувалося електричне форсування (до 20 % енергії варіння скла). У тому ж році киснево-паливні скловарні агрегати становили близько 46 % від загальної кількості печей, а у 2007 році частка печей цього типу складала від 50 до 55 %. Також є приклади мазутних печей та печей зі збагаченням середовища киснем. Температура підігрівання повітря у рекуперативних печах нижча, ніж у регенеративних печах, а отже, потреби в енергії на тонну скла вищі. Електропровідність скла у цьому секторі дуже низька, і наразі 100 %-во електричне варіння скла не вважається економічно або технічно доцільним.

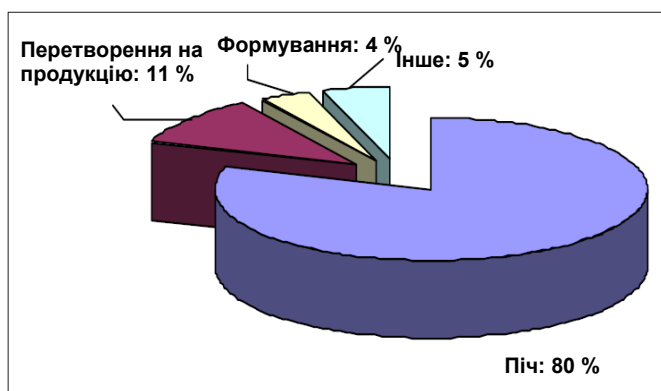


Рисунок 3.7. Безпосереднє споживання енергії у типовому процесі виробництва скловолокна з безперервних ниток

Споживання енергії у технологічному процесі залежить від багатьох чинників, основні з яких окреслені у розділі 3.2.3. Споживання енергії на варіння скла, як правило, складає від 7 до 18 ГДж/тонну розплаву, хоча для деяких невеликих печей, у яких виготовляється продукція спеціалізованого складу, це значення може досягати 30 ГДж/тонну. Загальне споживання енергії зазвичай знаходиться в межах від 10 до 25 ГДж/тонну продукції; нижня межа цього діапазону відповідає великим киснево-паливним печам. У наведених вище даних не враховується опосередковане споживання енергії, пов'язане з виробництвом кисню та/або електроенергії. У цілому, середнє споживання енергії на тонну скла за даними 2007 року (виробництва членів Європейської асоціації виробників скловолокна – APFE) еквівалентне 16,5 ГДж/тонну готової продукції, з яких 12,4 ГДж/тонну припадає на викопне паливо (переважно природний газ), а 4,1 ГДж/тонну – на електроенергію. Це виливається у безпосередні викиди CO₂ у кількості близько 770 кг CO₂/тонну продукції (викиди від згорання викопного палива + технологічні викиди).

Максимальні температури склепіння у печах для виробництва скловолокна з безперервних ниток зазвичай становлять близько 1650 °C: це може бути аж на 50 °C вище, ніж у печах для виробництва тарного скла, і аж на 250 °C вище, ніж у печах для виробництва скловати. Високі температури варіння скла є одним із чинників, що зумовлюють порівняно високе питоме споживання енергії у цьому секторі.

3.6 Сортове скло

[28, Сортове скло, 1998], [68, Оновлені дані про сортове скло, 2007]

Як описано у частинах 1 та 2, сектор виробництва сортового скла дуже розмаїтий; у ньому виготовляється великий асортимент продукції різного складу в різних типах печей. Тому вхідні ресурси та вихідні продукти технологічного процесу досить різноманітні. Як і в усіх інших секторах, основним вихідним продуктом технологічного процесу є продукція. У виробництві вапняно-натрієво-силікатного скла чиста скляна продукція зазвичай складає від 50 до 90 % (у середньому 85 %) вхідної сировини, і менше – близько 40 % – у разі виробництва високоякісного скляного посуду на ніжці. Для свинцевого кришталю коефіцієнт готової до упаковки продукції становить від 35 до 80 % (у середньому 75 %). Нижчі цифри для свинцевого кришталю зумовлені рядом чинників, таких як більший об'єм різання та полірування і жорсткіші обмеження, що накладаються на якість. Значення для інших типів сортового скла (кришталевого, матового, боросилікатного скла та склокераміки) знаходяться між цими двома крайніми випадками. У Таблиці 3.29 підсумовані основні параметри вхідних ресурсів та вихідних продуктів для вапняно-натрієвого скла, кришталевого скла та свинцевого кришталю. Значення для інших типів сортового скла знаходяться у діапазоні між наведеними прикладами.

Повідомлені дані є результатом опитування, проведеного серед членів Європейської асоціації сортового скла, і стосуються країн ЄС-25. Слід зазначити, що з 2000 року на сектор вплинув активний розвиток ринку: внаслідок цього почали виготовлятися інші типи кришталю, і у вибірку даних були додані важливі виробники кришталю з нових країн-членів ЄС (наприклад, Чехії), а рецептури та технології, що використовуються у виробництві, суттєво змінилися. Саме тому у Таблиці 3.29 наведено розширені діапазони значень викидів.

Таблиця 3.29. Огляд вхідних ресурсів та вихідних продуктів у секторі виробництва сортового скла

	Одиниці/тонну звареного скла	Вапняно-натрієве скло (¹)	Кришталеве скло і свинцевий кришталі
		Діапазон (середнє значення)	Діапазон (середнє значення)
Вхідні ресурси			
Енергія, мазут/газ	ГДж	5 – 14 (9)	0,5 – 5 (3)
Енергія, електроенергія	ГДж	1 – 4 (2,5)	1 – 6 (4)
Кварцовий пісок	тонна	0,65 – 0,75 (0,6)	0,20 – 0,50 (0,42)
Карбонати	тонна	0,3 – 0,42 (0,34)	0,08 – 0,20 (0,14)
Оксид свинцю	тонна		0 – 0,30 (0,18) (²)
Мінеральні мікрокомпоненти	тонна	0,02 – 0,08 (0,04)	0,005 – 0,02 (0,01)
Зворотний скляний бій	тонна	0,15 – 0,5 (0,25)	0,25 – 0,65 (0,35)
Пакувальні матеріали	тонна	0,06 – 0,20 (0,1)	0,06 – 0,20 (0,1)
Форми та інше	тонна	0,001 – 0,003 (0,002)	0,001 – 0,003 (0,002)
Вода	м ³	2 – 9 (7)	2 – 55 (11)
Фтороводнева кислота (100 %)	кг/тонну відполірованого кислотою скла (³)		40 – 130 (65)
Сірчана кислота (96 %)	т/т HF (100 %) (³)		1 – 10 (5)
Гідроксид натрію	т/т HF (100 %) (³)		0 – 0,2 (0,1)
Гідроксид кальцію	т/т HF (100 %) (³)		1 – 10 (4)
Свіжа промивальна вода	т/т HF (100 %) (³)		0,025 – 0,07 (0,05)
Вихідні продукти			
Готова упакована продукція	тонна	0,4 – 0,9 (0,85)	0,35 – 0,8 (0,75)
Викиди у повітря	кг	150 – 1000 (700)	150 – 400 (300)
CO ₂		0,2 – 6 (2,5)	0 – 11 (2,7)
NO _x		0,1 – 1,0 (0,5)	0,1 – 0,3 (0,2)
SO _x		0,001 – 0,3 (0,2)	0,001 – 0,3 (0,03)
Пил		60 – 500 (300)	60 – 250 (120)
H ₂ O			
Стічні води	м ³	2 – 9 (6)	2 – 54 (11)
Зворотний скляний бій	тонна	0,15 – 0,4 (0,25)	0,25 – 0,65 (0,35)
Відходи на переробку	кг	10 – 60 (30)	10 – 60 (30)
Інші відходи	кг	6 – 50 (10)	6 – 50 (10)
Відходи на переробку:	т/т HF (100 %) (³)		0,2 – 1,5 (0,8)
PbSO ₄ або PbCO ₃ CaSO ₄	т/т HF (100 %) (³)		2 – 20 (7,5)
Відходи для захоронення:	т/т HF (100 %) (³)		0,3 – 0,7 (0,45)
Шлам від різання	т/т HF (100 %) (³)		0,1 – 0,5 (0,3)
Шлам важких металів			

(¹) Ці дані вказані для традиційних печей (тобто не електричних).

(²) Що стосується кількості оксиду свинцю, яка вноситься у процес, то у діапазоні враховані всі рецептури кришталевого скла та кришталю, класифіковані за Директивою Ради 69/493/ЕЕС.

(³) Що стосується кислотного полірування, то споживання 100 %-ої фтороводневої кислоти є найкращим опорним параметром, оскільки в ньому враховується відношення площі поверхні до об'єму. Споживання 100 %-ої HF/тонну скла, відполірованого кислотою, залежить від відношення площі поверхні до об'єму і, відповідно, від типів виробів, що поліруються.

Джерело: [68. Оновлені дані про сортове скло. 2007]

(¹) Ці дані вказані для традиційних печей (тобто не електричних).

(²) Що стосується кількості оксиду свинцю, яка вноситься у процес, то у діапазоні враховані всі рецептури кришталевого скла та кришталю, класифіковані за Директивою Ради 69/493/ЕЕС.

(³) Що стосується кислотного полірування, то споживання 100 %-ої фтороводневої кислоти є найкращим опорним параметром, оскільки в ньому враховується відношення площі поверхні до об'єму. Споживання 100 %-ої HF/тонну скла, відполірованого кислотою, залежить від відношення площі поверхні до об'єму і, відповідно, від типів виробів, що поліруються.

Джерело: [68, Оновлені дані про сортове скло, 2007]

3.6.1 Вхідні ресурси технологічного процесу

Вхідні ресурси технологічного процесу залежно від продукції, що виготовляється, та необхідного складу скла. Основними типами скла є вапняно-натрієве скло, свинцевий криштал, кришталеве скло, боросилікатне скло, непрозоре скло та склокераміка. Основні види сировини, що використовуються у цьому секторі, окреслені в Таблиці 3.30.

Таблиця 3.30. Матеріали, що використовуються у секторі виробництва сортового скла

Опис	Матеріали
Склоутворювальні матеріали	Кременистий пісок, технологічний скляний бій, боровмісна сировина (наприклад, тетраборат натрію, улексит, борна кислота, колеманіт)
Проміжні продукти та модифікатори скла	Карбонат натрію, карбонат калію, карбонат барію, вапняк, доломіт, глинозем, нефеліновий сієніт, миш'як, сурма, вуглець, оксид свинцю, флюорит, діоксид титану
Окиснювачі та освітлювачі скла	Сульфат натрію, нітрат натрію, нітрат калію
Барвники та знебарвлювачі скла	Оксиди хрому, заліза, кобальту, міді, марганцю, нікелю, кадмію, селен або селеніт цинку, церій
Матеріали для покриття виробів	Неорганічні або органічні хлориди металів. Переважно тетрахлорид олова, тетрахлорид титану та трихлорид монобутилолова
Масила для змащування продукції	Масила на основі поліетилену і жирні кислоти (наприклад, олеїнова кислота)
Паливо	Мазут, природний газ, електроенергія, бутан, пропан, ацетилен
Вода	Водопровід та місцеві природні джерела (колодязі, річки, озера, тощо)
Допоміжні матеріали	Пакувальні матеріали, у тому числі пластмаси, папір, картон та дерево. Масила для полегшення виймання виробів з форм – зазвичай високотемпературні розділові масила на основі графіту. Масила для машин, переважно мінеральні масла. Технологічні гази, у тому числі кисень та водень. Полірувальні матеріали – головним чином сильні мінеральні кислоти (HF, H ₂ SO ₄), а також NaOH. Оздоблювальні матеріали, емалі, піски. Хімічні речовини для підготовки охолоджувальної води та очищення стічних вод.

Сировина для скляної шихти змішується у належній пропорції для отримання скла потрібного складу. У вапняно-натрієвому склі понад 90 % скла припадає на оксиди кремнію, натрію та кальцію (SiO₂: 71 – 73 %, Na₂O: 12 – 14 % та CaO: 10 – 12 %). Діоксид кремнію отримується переважно з піску та скляного бою. Оксид натрію отримується переважно з кальцинованої соди, а оксид кальцію – переважно з вапняку. Типові діапазони складу свинцевого кришталю містять SiO₂: 54 – 65 %, PbO: 25 – 30 %, Na₂O або K₂O: 13 – 15 %, плюс різні інші мікрокомпоненти. У рецептурах кришталевого скла оксид свинцю частково або повністю замінений оксидами барію, цинку або калію, граничний вміст яких встановлено Директивою 69/493/ЕЕС.

Боросилікатні види скла виготовляються з більшою відсотковою часткою сполук кремнію, ніж сполук бору (у перерахунку на триоксид бору, B₂O₃). Їх типовий склад такий: 70 – 80 % SiO₂, 7 – 15 % B₂O₃, 4 – 8 % Na₂O або K₂O та 2 – 7 % Al₂O₃. Бор у складі боросилікатного скла отримується з тетраборату натрію або інших боровмісних матеріалів (борна кислота, улексит, колеманіт), а оксид алюмінію отримується головним чином з глинозему.

Склад непрозорого скла зазвичай виражається як суміш головним чином оксидів кремнію, натрію, кальцію, алюмінію та калію, проте таке скло також містить близько 4 – 5 % фторидів, отриманих з мінералів, таких як флюорит. У складі склокераміки переважають такі оксиди, як оксид кремнію, алюмінію, натрію та кальцію, а також у меншій кількості присутні магній, барій, цинк, цирконій, літій і титан. Використання скляного бою різниться в межах сектора; у більшості процесів переробляється зворотний скляний бій, проте привізний скляний бій зазвичай не використовується з міркувань якості.

У секторі виробництва сортового скла використовуються різні типи освітлювачів та окиснювачів: нітрати, сульфати, а у деяких особливих випадках – сполуки миш'яку та сурми (зазвичай As: 0,1 – 1 % та Sb: 0,1 – 0,4 % шихти) і сполуки церію (0,2 – 0,5 % шихти). Селен також використовується як знебарвлювач, і його частка зазвичай становить <0,005 % від складу шихти. У виробництві кришталевого скла загалом необхідно полірувати скло після різання.

Це найчастіше робиться у такий спосіб: скло занурюється в суміш сильної фтороводнової та сірчаної кислоти, а потім промивається водою. Деякі вироби піддають операціям поверхневої обробки, подібним до тих, що використовуються у секторі тарного скла і описані у розділі 3.3.

У різних процесах використовуються різні види палива, проте зазвичай для варіння скла використовуються природний газ, мазут та електроенергія – окремо або у поєднанні. Канали живильників та відпалювальні лери обігріваються газом або електроенергією, які також використовуються для опалення та операцій загального обслуговування. Легкий мазут, пропан і бутан іноді використовуються як резервне паливо та для заключної обробки поверхні (з цією метою також використовується ацетилен). У печах та у процесах подальшої обробки також використовується кисень.

У цілому, вода у секторі виробництва сортового скла використовується головним чином в охолоджувальних контурах та для очищення. Охолоджувальна вода використовується – зазвичай у замкнених або незамкнених контурах – для охолодження різних елементів обладнання; при цьому виникають відповідні втрати води на випаровування та продування. Вода також використовується на певних етапах подальшої обробки у ході технологічного процесу (різання, полірування, миття, тощо) та у системах мокрого очищення газів. Тому фактичне споживання води може різнитися залежно від місцевих умов (наприклад, температури навколишнього середовища та твердості води, що вноситься в систему).

3.6.2 Викиди у повітря

[28, Сортове скло, 1998]

3.6.2.1 Сировина

У більшості сучасних процесах виробництва сортового скла силоси та змішувальні резервуари обладнані системами фільтрів, які знижують викиди пилу до менш ніж 5 мг/м³ н.у. Масові викиди з систем – як оснащених, так і не оснащених фільтрами – залежать від кількості операцій транспортування та кількості матеріалу, що транспортується. Проте особливістю цього сектора є те, що деякі шихтоскладальні установки порівняно невеликі, і, з огляду на спеціалізований характер та малі об'єми виробництва деяких видів продукції, вантажні операції та переміщення на них частіше здійснюється вручну (або напівавтоматичним способом). Викиди від цих видів діяльності залежать від того, наскільки добре контролюються такі системи; це питання докладніше розглядається у частині 4. Звісно, при транспортуванні матеріалів, які містять потенційно токсичніші сполуки (наприклад, оксид свинцю, миш'як, тощо), потенційно можливі викиди цих речовин. Зазвичай для запобігання викидів використовуються спеціальні засоби контролю (наприклад, відсмоктування пилу та пневматичне транспортування), тож рівні викидів зазвичай дуже низькі.

3.6.2.2 Варіння скла

[28, Сортове скло, 1998], [68, Оновлені дані про сортове скло, 2007]

У секторі виробництва сортового скла найбільше потенційне значення для навколишнього середовища мають викиди у повітря в результаті діяльності, пов'язаної з варінням скла. Основні речовини, що при цьому викидаються, та їх джерела вказані у розділі 3.2.2.1. У цьому секторі виготовляється широкий спектр продукції, і зустрічається більшість технологій варіння скла, описаних у частині 2. У якості джерела енергії для процесу виробництва може використовуватися природний газ, мазут або електроенергія. Діапазони викидів у повітря підсумовані в Таблиці 3.31. Ці дані вказані лише для викидів з печей, у яких виготовляється вапняно-натрієве скло, кришталеве скло та свинцевий кришталь. Через обмеженість наявних даних значення викидів з виробництв боросилікатного скла для побутового вжитку (кухонного приладдя) не вдалося повідомити. Повідомлені дані є результатом опитування, проведеного серед членів Європейської асоціації виробників сортового скла, і стосуються країн ЄС-25. Результати статистичних аналізів даних можуть суттєво відрізнятись від результатів попереднього опитування, проведеного серед членів ЄС-15 для розробки першої версії цього документа BREF. Вважається, що ці цифри, взяті у сукупності, характеризують весь діапазон цього сектора, а значення викидів від виробництва інших типів скла знаходяться між цими прикладами.

Таблиця 3.31. Підсумок викидів у повітря з печей для виробництва сортового скла

Речовина	Вапняно-натрієво-силікатне скло ⁽¹⁾		Кришталеве скло і свинцевий криштал	
	мг/м ³ н. у. (середнє значення)	кг/тонну звареного скла (середнє значення)	мг/м ³ н. у. ⁽¹⁾ (середнє значення)	кг/тонну звареного скла (середнє значення)
Оксиди азоту (у перерахунку на NO ₂) ⁽²⁾	300 – 2100 ⁽²⁾ (1100)	0,2 – 6 (2,5)	300 – 2300 (840)	0,2 – 11 (2,7)
Оксиди сірки (у перерахунку на SO ₂)	80 – 310 (180)	0,1 – 1,0 (0,5)	60 – 130 (80)	0,1 – 0,3 (0,2)
Тверді частки	0,5 – 220 (90)	0,001 – 0,3 (0,2)	0,1 – 13 (4)	0,001 – 0,3 (0,03)
Фториди (HF)	0,2 – 5 (2)		0,1 – 10 (2)	<0,003
Хлориди (HCl)	0,1 – 20 (10)		0,2 – 2 (1)	<0,004
Метали (у тому числі свинець)	<5		0,05 – 0,5 (0,2)	<0,01

⁽¹⁾ Ці дані вказані для традиційних печей (тобто не електричних).
⁽²⁾ Деякі високі результати відповідають використанню нітратів у шихті або іншим особливими умовам (наприклад, дуже низькому питомому зніманню скла).
Джерело: [68, Оновлені дані про сортове скло, 2007]

Рівні викидів для конкретної печі можуть залежати від багатьох чинників, таких як склад шихти, технології зниження викидів, що використовуються, та вік печі. Викиди фторидів, свинцю та інших металів безпосередньо пов'язані з використанням сполук, які містять ці речовини, у шихті. Важкі метали загалом викидаються у вигляді твердих часток і відповідають випадкам, коли виготовляється скляна продукція з високим вмістом металів (наприклад, свинцевий криштал) або, рідше, використовується скляний бій, що містить важкі метали. У деяких випадках фториди додаються в якості сировини для отримання необхідного складу скла; в інших випадках вони є домішкою у складі деяких видів сировини. Частина матеріалу включається до складу скла, проте частина неминуче викидається у повітря. Фтор зазвичай викидається у вигляді HF, а метали можуть викидатися у вигляді парів або, частіше, містяться у твердих частках.

3.6.2.3 Операції подальшої обробки

До вапняно-натрієвих виробів може застосовуватися поверхнева обробка. Способи обробки та викиди подібні до тих, що описані для тарного скла у розділі 3.3.2.3. Багато видів продукції обробляються шляхом вогневого полірування, проте при цьому не утворюється жодних викидів, окрім продуктів згорання у полум'ї. У результаті кислотного полірування виробів із свинцевого кришталю можуть утворюватися викиди кислотних парів (HF та SiF₄), які зазвичай видаляються у баштових скруберах, в яких циркулює вода або розчин лугу (наприклад, гідроксиду натрію).

У воді пари з кислотної ванни вступають в реакції, утворюючи кремнійфтористоводневу кислоту (H₂SiF₆) з концентраціями до 35 %. Цю кислоту воду необхідно нейтралізувати перед скиданням або, за деяких обставин, можна регенерувати для використання у хімічній промисловості.

Концентрації газоподібних викидів, виміряні після системи очищення газів, що використовується для видалення кислотних парів, становлять менш ніж 5 мг/м³ н.у. HF.

Технічні аспекти систем очищення, що застосовуються у секторі, детальніше розглядаються далі у розділі 4.5.4.

У результаті операцій шліфування та різання можуть утворюватися викиди пилу. Вони зазвичай контролюються шляхом різання під рідиною або місцевого відсмоктування повітря.

3.6.2.4 Дифузні / леткі викиди

Основними джерелами дифузних/летких викидів, специфічними для сектора виробництва сортового скла, є завантажувальна кишеня печі, канали живильника, зона формування та операції вогневого полірування.

Викиди з зони завантаження шихти (завантажувальної кишені) пов'язані з винесенням компонентів шихти (викиди пилу) та газоподібних продуктів згорання з печі.

У разі використання електричних печей (наприклад, для виробництва свинцевого кришталю або матового скла) зона завантажувальної кишені часто обладнана витяжною системою для відведення викидів до рукавного фільтра або, рідше, до системи мокрого очищення газів.

З каналів живильника можуть виділятися газоподібні продукти згорання та продукти випаровування. Якщо фарбування скла здійснюється у живильнику, дифузні викиди з каналів живильника можуть бути значними через присутність важких металів.

У зоні формування може виділятися масляний туман з мінерального масла та інших змащувальних матеріалів. Газоподібні продукти згорання можуть утворюватися внаслідок термічної обробки форм та роботи відпалювального лера.

Операції вогневого полірування досить поширені, і в них утворюються газоподібні згорання, які зазвичай викидаються у навколишню атмосферу.

Ці специфічні проблеми зазвичай вирішуються згідно з нормами гігієни праці і техніки безпеки на робочому місці і не створюють суттєвих викидів у повітря. За деяких особливих обставин може бути необхідно забезпечити відсмоктування та очищення дифузних викидів з каналів живильника, щоб обмежити рівні експозиції за важкими металами на робочому місці.

3.6.3 Викиди у воду

[28, Сортове скло, 1998], [101, Бруно Д., НДТМ для води, 2007]

Як і в інших секторах цієї галузі, у секторі виробництва сортового скла вода використовується головним чином з метою охолодження та очищення, а водяні викиди обмежуються продувками систем охолоджувальної води, очисними водами та поверхневими водними стоками. Очисні води загалом не створюють особливих проблем, нехарактерних для всіх інших промислових об'єктів, тобто містять інертні тверді речовини і потенційно можуть містити масло. Продувки з охолоджувальних систем містять розчинені солі і хімічні речовини для підготовки води. Якість поверхневих вод залежить від ступеня розділення стоків та чистоти на об'єкті.

Проте при виготовленні певних видів продукції – зокрема, скла, що містить свинець, – можуть утворюватися інші безпосередні викиди, які можуть містити свинець або інші сполуки.

Основними потенційними джерелами забруднених стічних вод є очисні води з зон, де могли просипатися чи проливатися матеріали шихти (які можуть містити свинець, миш'як, сурму, тощо), та вода, що використовувалася при різанні та шліфуванні виробів. З метою дотримання місцевих вимог у більшості процесів використовуються технології для видалення твердих часток – наприклад, відстоювання, осадження та флокуляція.

Кислотне полірування також створює викиди у воду. Після занурення скла в кислоту на його поверхні залишається шар сульфату свинцю та гексафторсилікатів. Цей шар змивається гарячою водою, яка стає кислою і може містити сульфат свинцю. Залежно від того, які хімічні речовини використовуються для нейтралізації цієї води, сульфат свинцю далі може вступати у реакції – наприклад, реагувати з $\text{Ca}(\text{OH})_2$, утворюючи CaSO_4 , – і свинець при цьому буде переходити в іншу форму (осаджуватися).

У процесі полірування також розчиняється невелика частка скла, яка частково осаджується з кислотної ванни у вигляді суміші солей, які після відділення утворюють «травильний шлам». Цей шлам обробляється шляхом фільтрування і промивання для отримання сульфату свинцю або за допомогою реакцій з карбонатом кальцію чи натрію для отримання карбонату свинцю. Обидва ці продукти можна повторно використати як сировину (повернути в шихту) або використати в інших процесах. Проте у більшості випадків, з огляду на технічні міркування (ризик пошкодження пристроїв для змішування шихти та вогнетривких матеріалів печі), отриманий у результаті шлам захоронюється на спеціальних полігонах. Рідка фракція, утворена в результаті обробки травильного шламу, має вигляд кислого розчину, який можна повторно використати у процесі полірування. Типові концентрації, виміряні у місці скидання, наведені у Таблиці 3.32 нижче.

Таблиця 3.32. Типові концентрації, виміряні у воді в місці скидання після очищення

Параметр	Виміряне значення (мг/л)
Загальний вміст зваженої твердої речовини	≤50
Pb	<0,05
Sb	<0,1
F	<6
SO ₄ ²⁻	<1000
Вуглеводні	<1
Джерело: [84, Звіт від Італії, 2007]	
[110, Австрія, Заводи з виробництва сортового скла, 2007]	

3.6.4 Інші відходи

Більшість скляних відходів (скляного бою) переробляється шляхом повернення у піч, і рівні утворення відходів загалом дуже низькі. Загальні відходи упаковки та ремонтів печі такі ж, як і в інших секторах. Відходи з систем контролю викидів пилу та сухого очищення газів зазвичай переробляються шляхом повернення у піч. У виробництві свинцевого кришталю шлам, виділений із системи збору і відведення стічних вод, необхідно захоронити, якщо його неможливо повторно використати. Утворення шламу розглядається у розділі 3.6.3 вище, а відповідні цифри наведені у Таблиці 3.29.

3.6.5 Енергія

[15, ETSU, 1992]

Споживання енергії у цьому секторі досить важко проаналізувати через його розмаїття та широкий спектр технологій варіння скла, що застосовуються. Великосерійне виробництво вапняно-натрієвого столового посуду дуже подібне до виробництва тарного скла (див. розділ 3.3.5), і для нього спостерігається зіставний розподіл споживання енергії. Проте у цьому секторі більша частка енергії витрачається на операції подальшої обробки (наприклад, вогневе полірування та заключну обробку). Питоме споживання енергії на варіння скла у цьому секторі вище, ніж для тарного скла. Це зумовлено тим, що печі у цьому секторі зазвичай менші, температури варіння скла дещо вищі, а час перебування в печі може бути довшим аж на 50 %.

Значення енергії зазвичай вказані лише для первинного процесу, без урахування операцій подальшої обробки, таких як гравірування, різання, полірування, зварювання, тощо. Типові значення енергії для цих операцій подальшої обробки можуть досягати від 5 до 10 ГДж/тонну виготовленого скла. Розподіл споживання енергії для типового виробництва столового посуду з вапняно-натрієво-силікатного скла зображено на Рисунку 3.8, а приклади питомого споживання енергії наведені у Таблиці 3.8 в розділі 3.2.3. Якщо застосовується електричне варіння скла, типове споживання енергії на варіння скла знаходиться в діапазоні від 4 до 7 ГДж/тонну скла і може знижуватися аж до 3,4 ГДж/т. Для традиційних печей споживання енергії на варіння скла загалом знаходиться у діапазоні від 4,8 до 10 ГДж/тонну звареного скла. Для доволі дрібносерійного виробництва високоякісного столового посуду потреби в енергії будуть вищими (як для флаконної продукції у порівнянні з пляшками в секторі тари).

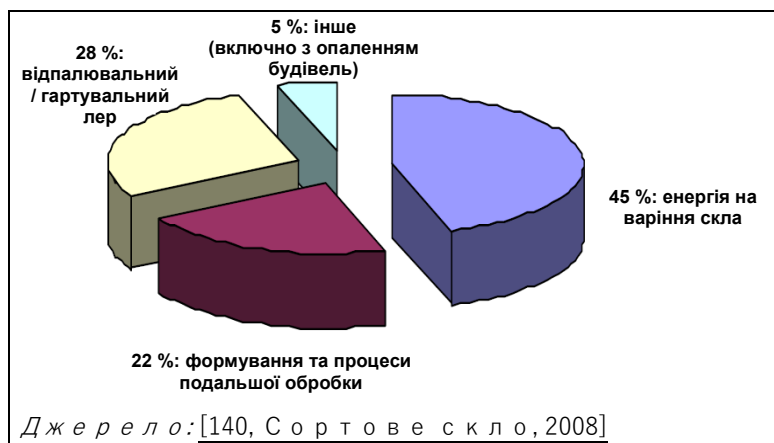


Рисунок 3.8. Споживання енергії у виробництві столового посуду з вапняно-натрієво-силікатного скла

Деякі інші процеси у цьому секторі, особливо виробництво свинцевого кришталю, здійснюються у набагато меншому масштабі, і для них можуть використовуватися горшкові печі. Розподіл споживання енергії для виробництва свинцевого кришталю суттєво різниться для різних заводів, а енергія, необхідна для процесу варіння скла, варіюється від 16 до 85 % загального споживання енергії.

Загальне споживання енергії для виробництва свинцевого кришталю може бути навіть вищим (до 28 ГДж/тонну готової продукції), у той час як розрахована теоретична потреба в енергії на варіння скла зі звичайної сировини становить всього лише 2,5 ГДж/тонну. Ця різниця може бути зумовлена багатьма чинниками, основні з яких окреслені нижче.

- Високі вимоги до якості можуть призводити до високого рівня відбраковування. Горшки повільно розчиняються склом, у результаті чого в вироби потрапляють камінці, а на їх поверхні з'являється свиль.
- Скло часто обробляється вручну; при цьому вихід продукції з процесу формування може бути меншим, ніж 50 %, а вироби під час формування може бути потрібно повторно нагрівати.
- Горшки перед використанням потрібно «відливати» або обпалювати за високої температури, і їх термін служби дуже обмежений у порівнянні з печами безперервної дії.

Електричне варіння свинцевого кришталю дає змогу використовувати високоякісні вогнетривкі матеріали, які забезпечують набагато вищу якість скла, а відтак нижчу частку браку і кращий вихід продукції. Завдяки безперервності електричного варіння скла та відсутності гарячих димових газів, що утворюються при згоранні, цей спосіб часто забезпечує більш ефективне автоматичне формування. Проте загальна потреба в енергії включно з процесами подальшої обробки може бути такою, що споживання енергії буде близьким до значення у 25 ГДж/тонну продукції.

3.7 Спеціальне скло

Сектор виробництва спеціального скла дуже розмаїтий: у ньому виготовляється великий асортимент продукції, використовується широкий спектр рецептур скла та технологій процесу. Багато таких установок не відповідають критерію у 20 тонн/добу, вказаному у Директиві 2008/1/ЕС, якщо тільки вони не поєднані з іншими печами. Тому на практиці неможливо і насправді не завжди корисно намагатися підсумувати весь діапазон викидів з усього сектора. Понад 53 % потужності сектора становлять колби для ламп та трубки, і приблизно 9 % припадає на склокераміку. У цьому розділі зроблена спроба, коли це можливо, охопити весь сектор, проте кількісна інформація надана лише для склокераміки, трубок з боросилікатного скла та вапняно-натрієве скло, з якого виготовляються колби для ламп.

Виробництво розчинного скла зараз розглядається у документі BREF для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин (LVIC-S) [138, Європейська комісія, 2007]; тому цей конкретний продукт не розглядається в цьому розділі.

3.7.1 Вхідні ресурси технологічного процесу

[26, Спеціальне скло, 1998]

Хімічний склад спеціального скла різниться залежно від типу скла та кінцевого призначення і зазвичай виражається у перерахунку на оксиди елементів, з яких воно складається. Для такого розмаїтого сектора важко визначити «типові» варіанти складу шихти. Базова сировина підбирається і перемішується для отримання остаточного бажаного складу скла після його варіння. Типові види скла та діапазони вмісту складових матеріалів наведені у розділі 2.8. У Таблиці 3.33 наведені основні види сировини, що використовуються для отримання такого складу.

Детальніша інформація про вхідні ресурси для виробництва склокераміки, трубок із боросилікатного скла та колб для ламп з вапняно-натрієвого скла представлена у Таблиці 3.34, у якій наведені дані для чотирьох конкретних прикладів технологічних процесів.

Таблиця 3.33. Матеріали, що використовуються в секторі спеціального скла

Опис	Матеріали
Склоутворювальні матеріали	Кременистий пісок та кварцовий пісок високої чистоти, технологічний скляний бій
Проміжні продукти та модифікатори скла	Карбонат натрію, карбонат калію, вапняк, доломіт, глинозем, гідроксид алюмінію, оксид цирконію, тетраборат натрію, борна кислота (у деяких випадках чиста), вуглець, оксид свинцю, оксид титану, оксид олова, карбонат стронцію, карбонат літію, карбонат барію, сподумен, флюорит, нефеліновий сієніт, польові шпати, хлорид натрію, фосфати
Окиснювачі та освітлювачі скла	Сульфат натрію, нітрат натрію, нітрат калію, миш'як (As_2O_3), сурма (Sb_2O_3), вуглець
Барвники для скла	Хроміт заліза, оксид заліза, оксид кобальту, селен або селеніт цинку, церій
Паливо	Мазут, природний газ, електроенергія, бутан, пропан, ацетилен
Вода	Водопровід та місцеві природні джерела (колодязі, річки, озера, тощо)
Допоміжні матеріали	Пакувальні матеріали, у тому числі пластмаси, папір, картон та дерево Мастила для полегшення виймання виробів з форм – зазвичай високотемпературні розділові мастила на основі графіту Мастила для машин, переважно мінеральні масла Технологічні гази, у тому числі азот, кисень, водень та діоксид сірки Хімічні речовини для підготовки охолоджувальної води та очищення стічних вод

Таблиця 3.34. Огляд вхідних ресурсів та вихідних продуктів у взятих для прикладу процесах виробництва склокераміки, трубок з боросилікатного скла та колб для ламп з вапняно-натрієвого скла

		Скло-кераміка	Скляні трубки (боросилікатні)		Скляні колби для ламп (вапняно-натрієві)
Тип печі		Киснево-паливна	Киснево-паливна	3 поперечним полум'ям, регенеративна	3 поперечним полум'ям, регенеративна
Потужність печі		30 – 65 т/добу	10 – 55 т/добу	10 – 55 т/добу	50 – 150 т/добу
Вхідні ресурси	Одиниці/тонну звареного скла				
Енергія, газ	ГДж	5,5 – 11	10 – 15	14 – 17	5 – 14
Енергія, електроенергія	ГДж	1 – 8			
SiO ₂ (розрахункове значення)	кг	660 – 685	740 – 760	740 – 760	400 – 700
Al(OH) ₃ (розрахункове значення)	кг	310 – 340	22 – 26	22 – 26	
CaO, CaCO ₃	кг		18 – 22	18 – 22	100 – 400
K ₂ O, K ₂ CO ₃	кг				20 – 100
Na ₂ CO ₃ , Na ₂ O	кг		22 – 28	22 – 28	100 – 300
CaF ₂	кг		3 – 7	3 – 7	
TiO ₂	кг	12 – 45			
Li ₂ CO ₃ (розрахункове значення)	кг	85 – 110			
B ₂ O ₃	кг		220 – 240	220 – 240	10 – 100
NaNO ₃ , KNO ₃	кг	9,5 – 15	20 – 25	20 – 25	50 – 250
ZrO ₂	кг	12 – 45			
ZnO	кг	12 – 45			
Мінеральні мікрокомпоненти	кг	3,5 – 10	1 – 2	1 – 2	0,5 – 20
Зворотний скляний бій	кг	250 – 550	200 – 400	150 – 350	100 – 500
Вода	м ³	1,5 – 2,5	1,7 – 2,8	1,7 – 2,8	Замкнений водяний контур
Вихідні продукти					
<i>Викиди у повітря</i>					
Система зниження викидів з відхідними газами		Рукавний фільтр	Рукавний/електростатичний фільтр	Рукавний/електростатичний фільтр	Електростатичний фільтр
CO ₂	кг	410 – 500	900 – 1150	950 – 1300	400 – 600
NO _x (у перерахунку на NO ₂)	кг	3,6 – 6,5	5 – 8	7 – 12	0,1 – 6
SO _x (у перерахунку на SO ₂)	кг		0,02 – 0,07	0,02 – 0,07	0,01 – 0,05
HCl	кг		0,02 – 0,08	0,02 – 0,08	0,02 – 0,08
HF	кг		0,002 – 0,004	0,002 – 0,004	
Пил	кг	0,001 – 0,08	0,001 – 0,08	0,001 – 0,08	0,001 – 0,08
Важкі метали	кг	0,003 – 0,02	0,001 – 0,02	0,001 – 0,02	
Стічні води	м ³	0,8 – 1,5	1 – 1,6	1 – 1,6	Замкнений водяний контур

Джерело: [141, Спеціальне скло, 2008]

3.7.2 Викиди у повітря

3.7.2.1 Сировина

У більшості процесів виробництва спеціального скла силоси та змішувальні резервуари обладнані системами фільтрів, які знижують викиди пилу до менш ніж 5 мг/м³ н.у. Масові викиди з систем – як оснащених, так і не оснащених фільтрами – явно залежать від

кількості операцій транспортування та кількості матеріалу, що транспортується. Проте особливістю цього сектора є те, що деякі шихтоскладальні установки порівняно невеликі, і, з огляду на спеціалізований характер та малі об'єми виробництва деяких видів продукції, вантажні операції та переміщення на них частіше здійснюються вручну (або напівавтоматичним способом). Викиди від цих видів діяльності залежать від того, наскільки добре контролюються системи. Звісно, при транспортуванні матеріалів, які містять потенційно токсичніші сполуки (наприклад, оксид свинцю, миш'як, тощо), потенційно можливі викиди цих речовин.

3.7.2.2 Варіння скла

У секторі виробництва спеціального скла найбільше потенційне значення для навколишнього середовища мають викиди у повітря в результаті діяльності, пов'язаної з варінням скла. Основні речовини, що при цьому викидаються, та їх джерела вказані у розділі 3.2.2.1. З огляду на широкий асортимент та спеціалізований характер продукції, що виготовляється у секторі спеціального скла, у цьому секторі використовується ширший асортимент сировини, ніж у більшості інших секторів. Наприклад: конуси для КПТ та деякі види оптичного скла містять велику кількість свинцю – понад 20 % і до 70 %; у певних складах скла можуть використовуватися спеціалізовані освітлювачі, як-от оксиди миш'яку та сурми; а деякі види оптичного скла можуть містити до 35 % фторидів та 10 % оксиду миш'яку. Викиди фторидів, свинцю, миш'яку та інших металів безпосередньо пов'язані з використанням сполук, які містять ці речовини, у шихті.

З огляду на розмаїття цього сектора, у ньому зустрічається більшість технологій варіння скла, описаних у частині 2. Проте малі об'єми виробництва означають, що більшість печей доволі невеликі, і найпоширенішими технологіями є використання рекуперативних печей, газокисневих печей, електричних скловарних агрегатів та ванних печей періодичної дії. Також використовуються регенеративні печі: наприклад, раніше вони застосовувалися у виробництві скла для КПТ, а зараз, хоча й рідше, застосовуються у виробництві трубок з боросилікатного скла чи інших типів скла (наприклад, колб для ламп з вапняно-натрієво-силікатного скла. Температури варіння спеціального скла можуть бути вищими, ніж для більшості традиційних складів скла масового виробництва. Зокрема, для КПТ, боросилікатного скла та склокераміки потрібні температури варіння скла понад 1650 °C.

Ці високі температури та складні викиди можуть призвести до більших викидів на тонну, ніж, наприклад, для вапняно-натрієвої продукції. Підвищені температури сприяють більш інтенсивному переходу в леткий стан та утворенню NO_x , а використання більшої кількості нітратних окиснювачів або сульфатних освітлювачів може призвести до збільшення викидів NO_x , SO_2 та металів. Менший масштаб виробництва у поєднанні з підвищеними температурами також означає, що енергоефективність загалом буде нижчою.

Рівні викидів для конкретної печі можуть залежати від багатьох чинників, проте в першу чергу – від складу шихти, типу печі, технологій зниження викидів, що використовуються, та віку печі. У Таблиці 3.34 наведені рівні викидів у чотирьох взятих для прикладу технологічних процесах, виражені у кг/тонну звареної скляної продукції.

3.7.2.3 Операції подальшої обробки

Викиди у результаті діяльності, що виконується після варіння в печі, дуже залежать від конкретного випадку і повинні розглядатися окремо для кожного об'єкта. Проте існує кілька загальних моментів.

Кілька видів продукції можуть потребувати різання, шліфування та полірування, у результаті чого можуть утворюватися викиди пилу, а у випадку деякої продукції (наприклад, оптичного скла та конусів і панелей для КПТ) ці викиди можуть містити свинець. Ці операції зазвичай виконуються під рідиною, або ж для них влаштовується відсмоктування повітря та фільтрування пилу. Тому рівні викидів загалом дуже низькі.

3.7.2.4 Дифузні / леткі викиди

Основні джерела дифузних/летких викидів, специфічні для сектора спеціального скла, можуть бути різними для різних типів скляних виробів, що виготовляються. Вони зазвичай

пов'язані з зоною завантажувальної кишені печі, каналами живильника, зоною формування та операціями вогневого полірування.

Викиди з зони завантаження шихти (завантажувальної кишені) такі ж, як у секторах виробництва тарного та сортового скла, і пов'язані з винесенням компонентів шихти (викиди пилу) та газоподібних продуктів згорання з печі.

Якщо для виробництва скла з рецептурами шихти, що містять потенційно шкідливі види сировини (наприклад, сполуки As, Sb, Pb, F), використовуються печі періодичної дії, над зоною завантаження горшкової печі або ванної печі періодичної дії може бути влаштована витяжна система, яка відводить дифузні відхідні гази у систему очищення.

З каналів живильника можуть виділятися газоподібні продукти згорання та продукти випаровування.

У зоні формування може виділятися масляний туман з мінерального масла та інших змащувальних матеріалів. Газоподібні продукти згорання можуть утворюватися внаслідок термічної обробки форм та роботи відпалювального лера.

У ході операцій вогневого полірування утворюються газоподібні згорання, які зазвичай викидаються у навколишню атмосферу.

Заходи з запобігання витокам, пролиттю чи розсипанню матеріалів та летким викидам, разом з засобами контролю споживання аміаку, зазвичай застосовуються тоді, коли на установках з виробництва спеціального скла використовуються технології СКВ та СНКВ для зниження викидів NO_x.

Загалом ці джерела не створюють значних викидів у повітря, і більшість проблем вирішуються згідно з нормами гігієни праці і техніки безпеки.

3.7.3 Викиди у воду

Як і в інших секторах цієї галузі, вода використовується головним чином з метою охолодження та очищення, а водяні викиди складаються з продувок систем охолоджувальної води, очисних вод та поверхневих водних стоків. Загалом очисні води не створюють особливих проблем, нехарактерних для всіх інших промислових об'єктів, тобто містять інертні тверді речовини і потенційно можуть містити масло. Продувки з охолоджувальних систем містять розчинені солі і хімічні речовини для підготовки води. Якість поверхневих вод залежить від ступеня розділення стоків та чистоти на об'єкті.

Проте, з огляду на розмаїття цього сектора, неможливо визначити всі потенційні викиди, і кожен випадок необхідно оцінювати окремо. При цьому необхідно враховувати сировину, що використовується для кожного виду продукції, та методи обробки, які до нього застосовуються. Усі потенційно шкідливі види сировини, що використовуються на об'єкті, потенційно здатні потрапляти у потоки стічних вод – особливо у місцях транспортування матеріалів та різання або шліфування продукції. Наприклад, при шліфуванні та поліруванні виробів, таких як конуси для КПТ та деякі види оптичного скла, можуть утворюватися водні потоки, що містять засоби для шліфування та полірування, та дрібні осколки скла, що містять свинець. Як правило, тверді частки видаляються, а рідина переробляється, наскільки це можливо, проте певна частка потоків все рівно буде скидатися, а крім того, рідина потенційно може проливатися. У наведеній вище Таблиці 3.34 представлені деякі кількісні дані для чотирьох прикладів технологічних процесів щодо питомого споживання води та скидів на тонну звареного скла.

3.7.4 Інші відходи

Як правило, більшість скляних відходів (скляного бою), утворених на самому виробництві, переробляється шляхом повернення у піч, і рівні утворення відходів загалом дуже низькі. Загальні відходи упаковки та ремонтів печі такі ж, як і в інших секторах. Відходи з систем контролю викидів пилу та сухого очищення газів переробляються шляхом повернення у піч, якщо це можливо. У процесах, пов'язаних зі шліфуванням та різанням, шлам, виділений з водяних контурів, необхідно захоронити, якщо його неможливо переробити або використати повторно. У наведеній вище Таблиці 3.34 представлені деякі кількісні дані для чотирьох прикладів технологічних процесів щодо повторного використання зворотного скляного бою у процесі варіння скла.

3.7.5 Енергія

Для такого розмаїтого сектора дуже важко викласти загальну інформацію про споживання енергії. У Таблиці 3.34 наведені дані для трьох різних типів продукції про питоме споживання енергії у скловарних печах: воно варіюється від мінімального рівня у 5 ГДж/тонну до 17 ГДж/тонну звареного скла, залежно від типу продукції, розміру печі та технології варіння скла. Дані про споживання енергії можуть бути розкидані в широкому діапазоні залежно від рецептури шихти, технології варіння скла і того, як спроектований та експлуатується завод. Зокрема, для вапняно-натрієво-силікатних видів скла були повідомлені дані у діапазоні 12 – 16 ГДж/тонну готової продукції [час доступу: 29, Центр знань Infomil], [30, Центр знань Infomil 1998]. [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]. [111, Австрійський завод з виробництва спеціального скла, 2006].

На цей сектор, зокрема, поширюється загальний опис, наведений у розділі 3.2.3, а детальніша інформація міститься в обговоренні енергоефективних технологій у частині 4. Специфічним моментом для загального скла є те, що температури варіння спеціального скла загалом вищі, ніж для видів скла масового виробництва, а печі для виробництва спеціального скла у цілому менші, ніж печі в інших секторах скляної промисловості. Обидва ці чинники призводять до вищих рівнів викидів CO₂ та більшого питомого споживання енергії.

3.8 Мінеральна вата

Інформація, викладена у цьому розділі, стосується всього спектру розмірів заводів та видів діяльності, проте не охоплює спеціальні режими, як-от пуски та зупинки. Деякі з найнижчих значень викидів відповідають роботі лише одного заводу, який досягає таких значень з причин, властивих для конкретного об'єкта, тож ці результати не обов'язково характеризують НДТМ для всього сектора.

Основним вихідним масовим потоком є продукція, яка може складати від 55 до 85 % вхідної сировини для процесів виробництва кам'яної вати та від 75 до 95 % для процесів виробництва скловати. При цьому важливим чинником є переробка залишків технологічних процесів, яка значно підвищує ефективність використання сировини. Втрати виникають у вигляді твердих залишків, водяних відходів та викидів у повітря.

3.8.1 Вхідні ресурси технологічного процесу

Хімічний склад мінеральної вати може різнитися у широких межах і традиційно виражається через оксиди елементів, які містяться у мінеральній ваті. Для кожного з основних типів мінеральної вати, тобто скловати, кам'яної вати та шлаковати, важко визначити «типовий» склад шихти. Базова сировина підбирається і перемішується для отримання остаточного бажаного складу скла після його варіння. Відсоток кожного виду сировини у шихті може суттєво різнитися, особливо у випадках, коли в ній використовується значна кількість утилізованих матеріалів.

Характерні діапазони складу для скловати, кам'яної вати та шлаковати наведені у Таблиці 2.9. Види сировини, які можуть використовуватися для отримання таких варіантів складу, наведені у Таблиці 3.35.

У скловаті основними оксидами є діоксид кремнію, триоксид бору, оксиди лужних металів (переважно натрію і калію) та оксиди лужно-земельних металів (переважно кальцію та магнію). Найважливішими джерелами діоксиду кремнію є пісок та скляні відходи, тобто привізний скляний бій (вапняно-натрієво-силікатне скло), та волокнисті відходи. Найважливішими джерелами оксидів лужних та лужно-земельних металів є кальцинована сода, поташ, вапняк і доломіт. У якості сировини для виробництва скловати широко використовується утилізоване скло (вапняно-натрієво-силікатне плоске та тарне скло, використане споживачами, або відходи плоского скла з виробництва плоского скла).

Таблиця 3.35. Матеріали, що використовуються в секторі мінеральної вати

Опис	Матеріали
Скловата	Кременистий пісок, технологічний скляний бій, привізний скляний бій, технологічні відходи, нефеліновий сієніт, карбонат натрію, карбонат калію, вапняк, доломіт, сульфат натрію, тетраборат натрію, колеманіт, улескит
Кам'яна вата / шлаковата	Базальт, вапняк, доломіт, шлак доменних печей, кременисті піски, сульфат натрію, технологічні відходи, іноді – відходи інших технологічних процесів, наприклад, доменний пісок
В'язучі матеріали	Фенолформальдегідна смола (у вигляді розчину), фенол, формальдегід та каталізатор для смоли (якщо смола виготовляється на об'єкті), аміак, сечовина, мінеральне масло, силікон, силан, вода
Паливо	Природний газ, електроенергія, кокс (лише для кам'яної вати / шлаковати), резервне паливо (легкий мазут, пропан, бутан)
Вода	Водопровід та місцеві природні джерела (колодязі, річки, озера, тощо)
Допоміжні матеріали	Пакувальні матеріали, у тому числі пластмаси, папір, картон та дерево. Мастила для машин, переважно мінеральні масла. Технологічні гази, азот та кисень. Хімічні речовини для підготовки охолоджувальної води та очищення стічних вод.

У кам'яній ваті / шлаковаті основними оксидами є діоксид кремнію та оксиди лужно-земельних металів (переважно кальцію та магнію). Діоксид кремнію отримується головним чином з базальту, брикетованих утилізованих матеріалів та шлаку доменних печей. Оксиди лужно-земельних металів отримуються з вапняку, доломіту та брикетованих утилізованих матеріалів. Деякі види кам'яної вати та шлаковати містять значну кількість оксиду алюмінію, отриманого зі шлаку доменних печей, базальт та утилізованих матеріалів. Деякі низькоглиноземисті рецептури виготовляються з шихти, яка містить значну кількість формувального піску та скляного бою, а не лише базальт і шлак.

Відношення кількості мінеральної вати до кількості в'язучої речовини різниться залежно від призначення продукції. Зазвичай продукція з мінеральної вати містить від 95 до 98 % волокна за масою. Деякі види продукції, які зустрічаються дуже рідко, містять максимум 20 % в'язучої речовини з 1 % мінерального масла та 0,5 % різноманітних складових (наприклад, силікону). Продукція з кам'яної вати / шлаковати зазвичай містить меншу частку в'язучої речовини, ніж продукція із скловати такого ж призначення. Це зумовлено тим, що продукція зі скляної вати та з кам'яної вати / шлаковати, яка задовольняє одним і тим же експлуатаційним вимогам, має різну щільність. Для забезпечення одних і тих же теплоізоляційних властивостей, особливо у випадку продукції низької щільності, кам'яна вата повинна бути щільнішою, ніж скловата – іноді аж вдвічі.

Як і у всіх процесах скляної промисловості, при варінні скломаси значна маса сировини виділяється у вигляді газів. Це залежить головним чином від кількості утилізованого матеріалу, що використовується, проте у типовому процесі виробництва мінеральної вати втрати при прожарюванні загалом становлять близько 10 %. Вищі рівні можуть спостерігатися, якщо у шихті використовується велика кількість вуглецевих матеріалів.

У якості сировини для в'язучих речовин зазвичай використовуються рідкі хімічні речовини фабричного виробництва, хоча іноді використовуються тверді хімічні речовини у вигляді порошку. Рецептури в'язучих речовин зазвичай вважаються конфіденційною інформацією і не розкриваються. Фенолова смола може виготовлятися на об'єкті або купуватися у зовнішнього постачальника. Це мало впливає на викиди від самого процесу виробництва мінеральної вати, проте, звісно, існують проблеми, пов'язані зі споживанням ресурсів та викидами на потужностях виробника смоли. Ці проблеми не розглядаються у цьому документі – за інформацією про них слід звернутися до належних методичних матеріалів для хімічної промисловості.

Вода може використовуватися у процесі виробництва для охолодження, очищення, розбавлення та диспергування в'язучої речовини, хоча ступінь та методи її використання залежать від технології виробництва. Базові технологічні процеси є кінцевими споживачами води, потенційно здатними виділяти водяну пару та краплі у зонах формування та стверджування. Крім того, робота системи швидкого охолодження скляного бою у процесах виробництва скляної вати призводить до випаровування води. На

більшості установок використовується система технологічної води з замкненим контуром та високим ступенем рециркуляції. Вода надходить у систему технологічної води з водопроводу або природних джерел; у технологічному процесі також може використовуватися дощова вода. Деяка частка вода також вноситься з сировиною – зокрема, з сировиною для в'язучих речовин. Загальне споживання води для виробництва мінеральної вати таке: від 3 до 5 м³/тонну продукції для скловати; та від 0,8 до 10 м³/тонну продукції для кам'яної вати (також див. розділ 2.9.1 та Рисунок 2.11).

3.8.2 Викиди у повітря

[27, EURIMA, 1998], [89, Пропозиції EURIMA, 2007]

У секторі виробництва мінеральної вати викиди у повітря можна поділити на три частини: викиди від транспортування сировини, викиди від операцій варіння скла та викиди від операцій подальшої обробки або операцій на технологічній лінії (тобто волокноутворення та формування, стверджування продукції, охолодження продукції та заключної обробки продукції). Викидами від операцій подальшої обробки, які важко кількісно оцінити, є неприємні запахи. Неприємні запахи виникають головним чином під час операції стверджування: вважається, що вони спричинені продуктами розпаду в'язучої речовини. У цьому розділі інформація про технологічні викиди виражена через концентрації та маси на одиницю виходу продукції. У Таблиці 3.36 наведені об'єми відхідних газів для основних видів діяльності у технологічному процесі, за якими видно, що найбільший об'єм відхідних газів відповідає процесам волокноутворення та формування.

Таблиця 3.36. Об'єми відхідних газів для основних видів діяльності технологічного процесу у секторі мінеральної вати

Вид діяльності у технологічному процесі		Одиниця вимірювання	Об'єм вихлопу технологічного процесу (у тисячах)
Транспортування сировини		м ³ н. у./год.	Від 1 до 5
Скловарна піч	Електрична	м ³ н. у./год.	Від 5 до 20
	Традиційна газова, скловата	м ³ н. у./год.	Від 5 до 40
	Газокиснева, скловата	м ³ н. у./год.	Від 5 до 40
	Комбінована, скловата	м ³ н. у./год.	Від 5 до 40
	Вагранка	м ³ н. у./год.	Від 5 до 30
	Електродугова занурювального типу	м ³ н. у./год.	Від 3 до 10
	Традиційна газова, кам'яна вата	м ³ н. у./год.	Від 10 до 50
Технологічна лінія	Волокноутворення та формування	м ³ н. у./год.	Від 100 до 400
	Стверджування продукції	м ³ н. у./год.	Від 5 до 40
	Охолодження продукції	м ³ н. у./год.	Від 10 до 40
	Заключна обробка продукції	м ³ н. у./год.	Від 5 до 70

Джерело: [142, Дані EURIMA за серпень, 2008]

3.8.2.1 Сировина

У більшості сучасних процесах виробництва скловати силоси та змішувальні резервуари обладнані системами фільтрів, які знижують викиди пилу до менш ніж 5 мг/м³ н.у. Масові викиди з систем – як оснащених, так і не оснащених фільтрами – явно залежать від кількості операцій транспортування та кількості матеріалу, що транспортується. Слід зазначити, що сировинна шихта для виробництва скловати найчастіше буває сухою і транспортується пневматичним способом. Тому операції транспортування сировини потенційно можуть створювати більші викиди пилу, ніж у деяких інших секторах.

У процесах виробництва кам'яної вати зазвичай використовується грубозерниста сировина з розміром часток >50 мм. Матеріали зберігаються у силосах або на майданчиках і транспортуються за допомогою ручних систем та конвеєрів. Під час зберігання та транспортування, особливо у суху погоду, пил потенційно може переноситися вітром. Для контролю викидів пилу може застосовуватися ряд технологій – наприклад, обгородження майданчиків і конвеєрів та зволоження куп, у яких зберігається матеріал. Рівень викидів важко кількісно оцінити; він великою мірою залежить від кількості матеріалу, що транспортується, і від того, наскільки ефективно застосовуються ці технології.

У рецептурі шихти часто використовуються відходи виробництва, перетворені у зв'язані цементом брикети: вони зазвичай містять близько 0,22 % сірки і можуть складати до 100 % шихти. Для завантаженої в піч порції, яка не містить цементних брикетів і шлаку доменних печей, викиди діоксиду сірки можуть досягати від 500 до 1000 мг/м³ н.у. SO₂, а з завантаженої порції, яка містить 100 % цементних брикетів, буде викидатися від 2000 до 2500 мг SO₂ на м³ н.у. Відмінності зумовлені різним вмістом сірки у коксі, технологіями контролю, що застосовуються, об'ємами димових газів, ступенями окиснення всередині вагранки та нерівномірним вмістом сірки у вулканічній породі (діабазі), що використовується у технологічному процесі. У деяких країнах-членах ЄС відходи не переробляють повністю у брикетах, щоб обмежити викиди SO_x і гарантувати значення концентрацій нижче 1500 мг/м³ н.у. У цих випадках ступінь переробки становить близько 45 %, а надлишок відходів обробляється (Німеччина). У інших випадках повідомляється про викиди в діапазоні 1400 – 1800 мг/м³ н.у. SO₂, незважаючи на високі ступені переробки відходів у межах 85 – 100 % (Данія). Підходи, що застосовуються різними країнами-членами ЄС, можуть суттєво різнитися залежно від того, наскільки пріоритетними є вихід продукції з виробничого циклу, мінімізація кількості відходів та зниження споживання енергії у порівнянні зі зниженням викидів SO_x.

На Рисунку 3.9 показана очікувана концентрація SO₂ залежно від відсотка цементних брикетів, що переробляються у шихті, завантаженої у вагранку. На час укладання цього документа (2010 рік) широко застосовується переробка до 100 % цементних брикетів для запобігання утворенню потоку відходів; якщо ж відходи не переробляються, вони утилізуються на зовнішній утилізаційній станції або захоронюються на полігоні.

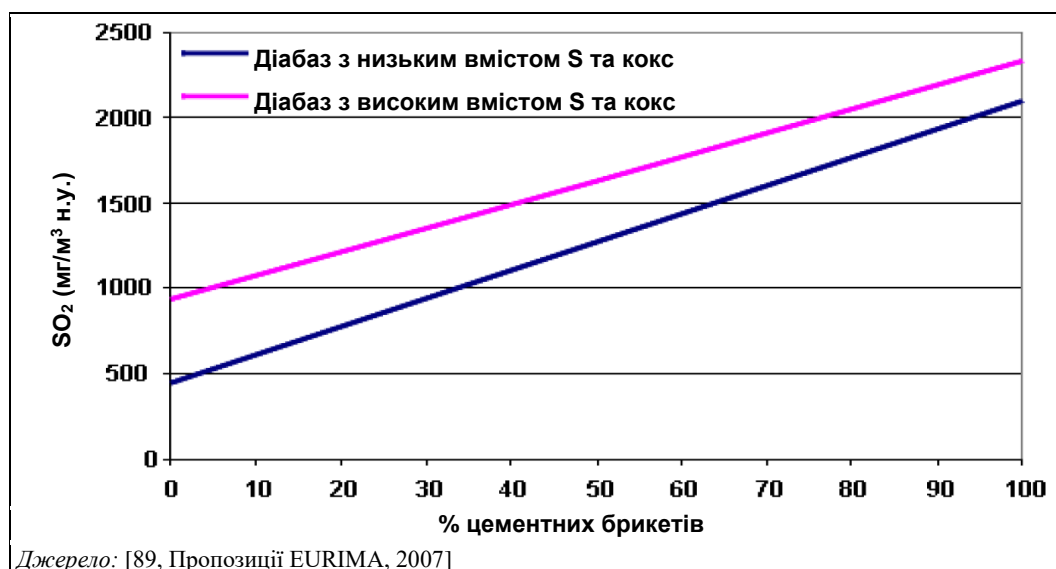


Рисунок 3.9. Очікувана концентрація SO₂ залежно від відсотка цементних брикетів, що переробляються у шихті, завантаженої у вагранку

Нижня лінія на Рисунку 3.9 відповідає малому відсотку коксу (10 %), низькому вмісту сірки у коксі (0,6 %) та діабазу, який не містить сірки. Верхня лінія відповідає більшому відсотку коксу (13 %), 0,7 % сірки у коксі та діабазу, який містить 0,05 % сірки. Вміст сірки у цементному брикеті в обох випадках дорівнює 0,22 %. Розрахункова частка сірки, яка викидається, від кількості сірки, що надійшла з компонентами шихти, становить 50 % для діабазу та 75 % для коксу і брикетів. Ці цифри базуються на досвіді і залежать головним чином від ступенів окиснення всередині вагранки. Невизначеність, зумовлена відмінностями у витраті, тощо, становить близько 20 %. Остаточну концентрацію SO₂ зазвичай можна оцінити за таким рівнянням: $SO_2 \text{ (мг/м}^3 \text{ н.у.)} = 750 + 15 \times \text{частка брикетів (\%)}$.

3.8.2.2 Варіння скла

[27, EURIMA, 1998]. [89, Пропозиції EURIMA, 2007]

Печі для виробництва скловати – це переважно газоповітряні печі (зазвичай з електричним форсуванням), проте серед них є значна кількість електричних печей і дещо менша

кількість газокисневих печей. Печі для виробництва кам'яної вати – це майже виключно коксові вагранки, а також кілька газових та електричних печей. Речовини, що при цьому викидаються, та їх джерела вказані у розділі 3.2.2.1. Механізм утворення викидів докладніше розглядається у частині 4, якщо це стосується технологій контролю забруднень.

Вагранки для виробництва кам'яної вати мають кілька важливих відмінностей від більш традиційних скловарних печей, і це може впливати на викиди з технологічного процесу. Однією з найбільш суттєвих особливостей є те, що вагранки працюють у сильних відновлювальних умовах. Тому викиди NO_x порівняно низькі; частина сірки, що виділилася з палива або сировини, відновлюється до сірководню, а рівень чадного газу високий. У багатьох процесах встановлена система допалювання, яка окиснює сірководень до діоксиду сірки, а чадний газ до вуглекислого газу. Кокс і сировина можуть містити більше металів, хлоридів та фторидів, ніж у деяких інших процесах скляної промисловості, а відтак створювати більші викиди цих речовин.

Усе важливішим чинником, який впливає на викиди від процесу варіння скла, є внесок матеріалів, що переробляються. Якщо у печі переробляється волокно, що містить в'язучу речовину, необхідно враховувати органічний компонент. У печах для виробництва скловати може бути необхідно додавати окиснювачі, такі як нітрат калію, які можуть збільшувати викиди NO_x . Якщо у рецептурі шихти переробляється велика кількість скляного бою, у якості окиснювача може використовуватися оксид марганцю (IV).

У процесах виробництва кам'яної вати для брикетування залишків технологічних процесів часто використовується цемент, і коли брикети плавляться, у результаті виникають викиди SO_2 , адже брикети містять сірку.

У Таблиці 3.37 наведено повний діапазон викидів зі скловарних печей для виробництва мінеральної вати у країнах ЄС-27 за 2005 рік: дані виражені як через концентрації (мг/м^3 н.у.), так і через коефіцієнти викидів (кг/тону звареного скла). Представлені у таблиці дані відображають широкий діапазон викидів для всіх типів установок з застосуванням та без застосування технологій зниження викидів. Діапазони викидів, пов'язані з кожною технологією варіння скла та умовами роботи, детальніше описані у Таблицях 3.37 – 3.41.

Таблиця 3.37. Повний діапазон викидів зі скловарних печей для виробництва мінеральної вати у країнах ЄС-27 за 2005 рік

Тип печі	Скловата (100 % зібраних даних)			Кам'яна вата (100 % зібраних даних)		
	Електрична	Рекуперативна	Газокиснева	Вагранка	Електродугова занурювального типу	Мазутна
Речовина ⁽¹⁾	мг/м^3 н.у. (кг/т)	мг/м^3 н.у. (кг/т)	мг/м^3 н.у. (кг/т)	мг/м^3 н.у. (кг/т)	мг/м^3 н.у. (кг/т)	мг/м^3 н.у. (кг/т)
Тверді частки	0,2 – 128 (0,001 – 0,4)	0,3 – 35 (0,03 – 0,1)	0,2 – 20 (0,001 – 0,016)	0,25 – 1700 (0,04 – 3,5)	4 – 12 (0,006 – 0,02)	10 (0,02)
SO_x у перерахунку на SO_2	0,4 – 120 (0,001 – 0,02)	1 – 30 (0,002 – 0,5)	0,5 – 115 (0,002 – 0,32)	4 – 2600 (0,01 – 4,8)	335 – 350 (0,4 – 0,5)	285 (0,45)
NO_x у перерахунку на NO_2 ⁽²⁾	13 – 580 (0,5 – 2,0)	50 – 1200 (0,3 – 10,6)	9 – 240 (0,02 – 0,4)	35 – 615 (0,07 – 1,7)	80 – 150 (0,1 – 0,2)	815 (1,3)
HF	0,1 – 3,0 (0,001 – 0,01)	0,13 – 20 (0,001 – 0,05)	0,09 – 3,2 (0,001 – 0,01)	0,1 – 11 (0,001 – 0,02)	8 (0,01)	1,2 (0,002)
HCl	0,1 – 4,5 (0,001 – 0,02)	0,2 – 7 (0,001 – 0,06)	0,55 – 3 (0,001 – 0,003)	0,7 – 150 (0,001 – 0,26)	43 (0,05)	5 (0,008)
Середня кількість результатів	9	7	5	32	2	1

⁽¹⁾ Значення концентрацій вказані для 273 К, 1013 гПа та сухих газів. Коефіцієнти викидів виражені у кг на тону звареного скла.
⁽²⁾ Нижчі рівні NO_x відповідають газокисневим печам.
Джерело: [93, Таблиці даних EURIMA – 80%, 2007]

У Таблиці 3.38 наведені значення викидів пилу з електричних та газових печей, що застосовуються у виробництві скловати. Ці дані є результатами вимірювань, проведених один або кілька разів на скловарних печах, врахованих в опитуванні, протягом звітного періоду (2005 рік).

Для повного діапазону даних (100 %) вказані середнє, мінімальне та максимальне значення. Для кращого розуміння також наведені значення, що охоплюють відповідно 75 % та 50 % даних, аби виключити, наскільки це можливо, сумнівні точки даних.

Таблиця 3.38. Викиди пилу зі скловарних печей для виробництва скловати (2005 рік)

Тип печі	Викиди пилу зі скловарних печей для виробництва скловати				
	Повідомлені дані	Кількість значень	мг/м³ н.у. сухого газу		
			Середнє	Мін.	Макс.
Електрична піч					
Без вторинних засобів зниження викидів	100 %	15	33	0	188
	75 %		37		
	50 %		9		
З рукавним фільтром	100 %	19	36	0	274
	75 %		47		
	50 %		20		
З електростатичним фільтром	100 %	9	9	0	17
	75 %		15		
	50 %		9		
Газоповітряна піч					
Без вторинних засобів зниження викидів	100 %	7	189	8	651
	75 %		552		
	50 %		29		
З електростатичним фільтром	100 %	33	20	2	90
	75 %		27		
	50 %		15		
Газокиснева піч					
З електростатичним фільтром	100 %	21	5	1	19
	75 %		6		
	50 %		4		
З електричним форсуванням та електростатичним фільтром	100 %	27	7	1	76
	75 %		8		
	50 %		3		
Джерело: [142, Дані EURIMA за серпень, 2008]					

Джерело: [142, Дані EURIMA за серпень, 2008]

Значення, повідомлені у Таблиці 3.38, які є результатом опитування, проведеного у секторі виробництва скловати, відповідають різним протоколам вимірювання та умовам роботи, тому деякі дані можуть бути суперечливими або неузгодженими. Наприклад, різниця між концентраціями викидів пилу з електричних печей, у яких застосовувалися та не застосовувалися засоби зниження викидів, виглядає досить незначною: імовірно, це зумовлено тим, що (у багатьох випадках) концентрації пилу, виміряні на електричних печах без засобів зниження викидів, були порівняно малими – того ж порядку величини, що й типові концентрації, виміряні після очисних систем.

У Таблиці 3.39 наведені значення викидів SO_x з електричних та газових печей для виробництва скловати. Ці дані є результатами вимірювань, проведених один або кілька разів на скловарних печах, врахованих у опитуванні, протягом звітного періоду (2005 рік).

Для повного діапазону даних (100 %) вказані середнє, мінімальне та максимальне значення. З даних видно, що викиди SO_x є значними лише у випадку печей, що працюють на паливі.

Що стосується концентрацій викидів пилу, то в даних, наведених у Таблиці 3.39 для електричних печей, можуть спостерігатися суперечності, оскільки вимірювалися низькі рівні викидів SO_x. Що стосується випадку газокисневих печей, то використання електричного форсування призводить до зменшення об'єму димових газів, а отже, можуть збільшитися викиди, виражені через концентрації (мг/м³ н.у.). Якби дані про викиди були виражені через кг/тонну звареного скла, могла б спостерігатися інша тенденція, проте ця інформація відсутня.

Таблиця 3.39. Викиди SO_x зі скловарних печей для виробництва скловати (2005 рік)

Тип печі	Викиди SO _x зі скловарних печей для виробництва скловати				
	Повідомлені дані	Кількість значень	мг/м ³ н.у., сухий газ (у перерахунку на SO ₂)		
			Середнє	Мін.	Макс.
Електрична піч					
Без вторинних засобів зниження викидів	100 %	8	2	1	6
З рукавним фільтром	100 %	12	5	0	13
З електростатичним фільтром	100 %	8	3	0	14
Газоповітряна піч					
Без вторинних засобів зниження викидів	100 %	7	34	1	133
З електростатичним фільтром	100 %	32	22	0	119
Газокиснева піч					
З електростатичним фільтром	100 %	17	10	0	63
З електричним форсуванням та електростатичним фільтром	100 %	27	28	2	98
Джерело: [142, Дані EURIMA за серпень, 2008]					

У Таблиці 3.40 наведені значення викидів NO_x з електричних та газових печей для виробництва скловати. Ці дані є результатами вимірювань, проведених один або кілька разів на скловарних печах, врахованих в опитуванні, протягом звітної періоду (2005 рік).

Таблиця 3.40. Викиди NO_x зі скловарних печей для виробництва скловати (2005 рік)

Тип печі ⁽¹⁾	Викиди NO _x зі скловарних печей для виробництва скловати (2000 рік)				
	Повідомлені дані	Кількість значень	мг/м ³ н.у., сухий газ (у перерахунку на NO ₂)		
			Середнє	Мін.	Макс.
Електрична піч					
Без вторинних засобів зниження викидів	100 %	15	204	36	429
	75 %		245		
	50 %		175		
З рукавним фільтром	100 %	21	234	4	670
	75 %		442		
	50 %		468		
З електростатичним фільтром	100 %	9	514	13	1071
	75 %		970		
	50 %		232		
Газоповітряна піч					
Без вторинних засобів зниження викидів	100 %	7	410	93	1031
	75 %		429		
	50 %		356		
З електростатичним фільтром	100 %	31	636	110	1580
	75 %		800		
	50 %		601		
Газокиснева піч					
З електростатичним фільтром	100 %	20	119	7	244
	75 %		170		
	50 %		116		
З електричним форсуванням та електростатичним фільтром	100 %	27	215	82	691
	75 %		242		
	50 %		154		

⁽¹⁾ Посилання на різні категорії умов роботи (без вторинних засобів зниження викидів, з електростатичним фільтром та з рукавним фільтром, тощо) зроблені лише для узгодження з даними про викиди, наведеними у Таблиці 3.37 та Таблиці 3.38, які були отримані з того ж джерела інформації. Очікується, що застосування фільтрувальної системи не вплине на викиди NO_x, у той час як при застосуванні електричного форсування може спостерігатися збільшення концентрації викидів NO_x (мг/м³ н.у.) у поєднанні зі зменшенням об'єму димових газів.

Джерело: [142, Дані EURIMA за серпень, 2008]

Для повного діапазону даних (100 %) вказані середнє, мінімальне та максимальне значення. Для кращого розуміння також наведені значення, що охоплюють відповідно 75 % та 50 % даних, аби виключити, наскільки це можливо, сумнівні точки даних.

Значення, наведені у Таблиці 3.40, відображають різні умови роботи; зокрема, кількість нітратів, яка може додаватися до складу шихти при використанні великих часток привізного скляного бою, може суттєво різнитися. Тому дані, наведені у таблиці, важко порівняти, і їх слід оцінювати разом з додатковою інформацією про конкретні експлуатаційні параметри.

У Таблиці 3.41 наведені значення інших викидів (HCl, HF, CO) з електричних та газових печей для виробництва скловати. Ці дані є результатами вимірювань, проведених один або кілька разів на скловарних печах, врахованих в опитуванні, протягом звітного періоду (2005 рік).

Для повного діапазону даних (100 %) вказані середнє, мінімальне та максимальне значення.

З таблиці видно, що викиди HCl, HF зі скловарних печей для виробництва скловати загалом низькі.

Таблиця 3.41. Викиди HCl, HF та CO зі скловарних печей для виробництва скловати (2005 рік)

Тип печі	Викиди HCl, HF та CO зі скловарних печей для виробництва скловати (100 % повідомлених даних)				
	Речовина	Кількість значень	мг/м³ н.у., сухий газ (¹)		
			Середнє	Мін.	Макс.
Електрична піч					
Без вторинних засобів зниження викидів	HCl	12	2	0	7
	HF	12	0,6	0,1	2,8
	CO	6	63	24	110
З рукавним фільтром	HCl	6	3	0	7
	HF	3	0,7	0,1	1,0
	CO	6	55	17	176
З електростатичним фільтром	HCl	7	2	0	7
	HF	8	0,7	0,1	3,1
	CO	4	264	114	638
Газоповітряна піч					
Без вторинних засобів зниження викидів	HCl	4	6	5	7
	HF	4	2,4	0,6	3,3
	CO	3	165	61	280
З електростатичним фільтром	HCl	32	3	0	19
	HF	32	3,0	0,1	20,0
	CO	8	7	1	20
Газокиснева піч					
З електростатичним фільтром	HCl	16	1	0	5
	HF	16	0,4	0	2,6
	CO	7	42	3	121
З електричним форсуванням та електростатичним фільтром	HCl	27	3	0	32
	HF	27	0,8	0,1	2,3
	CO	19	36	2	241

(¹) Дані вказані для різних умов вимірювання та роботи. З огляду на порівняно низькі початкові концентрації викидів HCl та HF, система сухого очищення газів може не застосовуватися у поєднанні з електростатичним або рукавним фільтром.

Джерело: [142. Дані EURIMA за серпень, 2008]

Оскільки у виробництві кам'яної вати використовується кокс, діабаз і цементні брикети, у цьому випадку спостерігається ширший спектр викидів та речовин, що виділяються в атмосферу. Дані про викиди з вагранок та електродугових печей занурювального типу наведені у Таблиці 3.42 та Таблиці 3.43.

У Таблиці 3.42 наведені значення викидів основних забруднюючих речовин (пилу, SO_x , NO_x , HCl та HF) зі скловарних печей, що застосовуються у виробництві кам'яної вати. Ці дані є результатами вимірювань, проведених один або кілька разів на скловарних печах, врахованих в опитуванні, протягом звітної періоду (2005 рік). Для повного діапазону даних (100 %) вказані середнє, мінімальне та максимальне значення. Для кращого розуміння також наведені значення, що охоплюють 75 % та 50 % даних, аби виключити, наскільки це можливо, сумнівні точки даних.

Різниця, що спостерігається між викидами SO_x з вагранок та електродугових печей занурювального типу, зумовлена переробкою цементних брикетів, яка може варіюватися від 0 % до 100 %.

Таблиця 3.42. Викиди пилу, SO_x , NO_x , HCl та HF зі скловарних печей для виробництва кам'яної вати (2005 рік)

Речовина / тип печі	Викиди зі скловарних печей для виробництва кам'яної вати				
	Повідомлені дані	Кількість значень	мг/м³ н.у. сухого газу		
			Середнє	Мін.	Макс.
Викиди пилу					
Вагранка (¹)	100 %	274	38	0	783
	75 %		42		
	50 %		11		
Електродугова піч занурювального типу	100 %	10	28	4	57
	75 %		42		
	50 %		25		
SOx у перерахунку на SO2					
Вагранка	100 %	353	1220	0	5555
	75 %		1590		
	50 %		1143		
Електродугова піч занурювального типу	100 %	12	318	177	503
	75 %		435		
	50 %		320		
NOx у перерахунку на NO2					
Вагранка	100 %	349	244	0	769
	75 %		350		
	50 %		225		
Електродугова піч занурювального типу	100 %	11	201	68	407
	75 %		283		
	50 %		160		
HCl					
Вагранка	100 %	184	29	0	156
	75 %		35		
	50 %		14		
Електродугова піч занурювального типу	100 %	6	39	18	53
	75 %		49		
	50 %		47		
HF					
Вагранка	100 %	186	2,5	0	40,0
	75 %		3		
	50 %		1		
Електродугова піч занурювального типу	100 %	6	11	5,0	21,0
	75 %		14		
	50 %		11		

(¹) Нижчі значення відповідають випадку використання рукавного фільтра.

Джерело: [142, Дані EURIMA за серпень, 2008]

У Таблиці 3.43, наведені значення викидів інших забруднюючих речовин (H_2S , CO , CO_2 , метали), пов'язаних з виробництвом кам'яної вати. Ці дані є результатами вимірювань, проведених один або кілька разів на скловарних печах, врахованих в опитуванні, протягом звітної періоду (2005 рік).

Для повного діапазону даних (100 %) вказані середнє, мінімальне та максимальне значення. Для кращого розуміння також наведені значення, що охоплюють 75 % та 50 % даних, аби виключити, наскільки це можливо, сумнівні точки даних.

З таблиці видно, що для вагранок, обладнаних піччю для спалювання відхідних газів, концентрації викидів СО набагато нижчі, ніж для електродугових печей занурювального типу; з іншого боку, відповідні викиди CO₂ збільшуються внаслідок окиснення більшості чадного газу (CO), присутнього у відхідних газах.

Таблиця 3.43. Викиди H₂S, CO, CO₂ та металів зі скловарних печей для виробництва кам'яної вати (2005 рік)

Речовина / тип печі	Викиди зі скловарних печей для виробництва кам'яної вати				
	Повідомлені дані	Кількість значень	мг/м ³ н.у. сухого газу		
			Середнє	Мін.	Макс.
H₂S					
Вагранка ⁽¹⁾	100 %	97	1	0	11
	75 %		1		
	50 %		0		
Електродугова піч занурювального типу	100 %	4	1	0	2
	75 %		2		
	50 %		1		
CO					
Вагранка ⁽¹⁾	100 %	80	36	0	260
	75 %		33		
	50 %		17		
Електродугова піч занурювального типу	100 %	11	880	7	3126
	75 %		990		
	50 %		859		
CO₂					
Вагранка	100 %	150	228505	170	410400
	75 %		233081		
	50 %		232181		
Електродугова піч занурювального типу	100 %	8	59750	45802	79509
	75 %		66717		
	50 %		58037		
Метали (група 1) ⁽²⁾					
Вагранка	100 %	48	0,2	0	1,1
	75 %		0,3		
	50 %		0,1		
Електродугова піч занурювального типу	100 %	2	0,2	0,1	0,4
	75 %				
	50 %		0,4		
Метали (група 2) ⁽²⁾					
Вагранка	100 %	38	0,5	0	14
	75 %		0,1		
	50 %		0,03		
Електродугова піч занурювального типу	100 %	2	1,1	0,8	1,3
	75 %				
	50 %		1,3		
⁽¹⁾ Значення стосуються вагранок, обладнаних піччю для спалювання відхідних газів.					
⁽²⁾ Метали згруповані за їх потенційним впливом на навколишнє середовище (див. розділ 3.2.2.1): група 1 (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI}); Group 2 (Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn).					
Джерело: [142, Дані EURIMA за серпень, 2008]					

3.8.2.3 Операції подальшої обробки

[27, EURIMA, 1998], [89, Пропозиції EURIMA, 2007]

Як було сказано у розділі 2.9, продукція з мінеральної вати зазвичай містить певну частку в'язучої речовини на основі фенолової смоли. Розчин в'язучої речовини наноситься на волокна у зоні формування і зшивається та висушується у стверджувальній печі. Відхідні гази з зони формування містять тверді частки, фенол, формальдегід та аміак.

У вихлопних газах стверджувальної печі на установках з виробництва кам'яної вати було виявлено викиди HCN, однак дані про це відсутні.

Тверді частки складаються як з органічного, так і з неорганічного матеріалу, часто дуже малих фракцій. Також можуть реєструватися нижчі рівні ЛОС та амінів, якщо вони входять до складу системи в'язучої речовини. З огляду на характер процесу, газовий потік має великий об'єм і високий вміст вологи. Викиди зі стверджувальної печі складаються з летких компонентів в'язучої речовини, продуктів розпаду в'язучої речовини, водяної пари та продуктів згорання від пальників стверджувальної печі.

Після виходу зі стверджувальної печі продукція охолоджується шляхом пропускання крізь неї великої кількості повітря. Цей газ з великою ймовірністю буде містити волокна мінеральної вати і невелику кількість органічного матеріалу. Заключна обробка продукції складається з операцій різання, транспортування та пакування, у ході яких утворюються викиди.

Важливим чинником, який суттєво впливає на викиди від формування, стверджування та охолодження, є кількість в'язучої речовини, що наноситься на продукцію, оскільки вищий вміст в'язучої речовини зазвичай призводить до вищих рівнів викидів. Викиди, що утворюються з в'язучої речовини, залежать головним чином від маси твердих компонентів в'язучої речовини, нанесених за заданий час, тож високий вміст в'язучої речовини та, меншою мірою, висока щільність продукції можуть призводити до великих викидів. Продукція зазвичай поділяється на продукцію низької, середньої та високої щільності, охоплюючи діапазон від 10 до 80 кг/м³, з вмістом в'язучої речовини 5 – 12 %.

Як повідомлялося у розділі 3.8.2, Таблиці 3.35, у ході операцій волокнуутворення та формування утворюється набагато більший об'єм відхідних газів, ніж при ствердженні продукції (приблизно у 10 разів більше).

У Таблиці 3.44 нижче наведено повний діапазон викидів від операцій подальшої обробки на заводах з виробництва скловати у ЄС за 2005 рік: значення виражені як через концентрації (мг/м³ н.у.), так і через коефіцієнти викидів (кг/тонну продукції).

Таблиця 3.44. Повний діапазон викидів від операцій подальшої обробки у секторі виробництва скловати за 2005 рік

Речовина	Викиди від операцій подальшої обробки скловати ⁽¹⁾			
	Об'єднане волокноутворення, формування та стверджування	Волокноутворення та формування	Стверджування продукції	Охолодження продукції
	мг/м ³ н.у. (кг/т продукції)	мг/м ³ н.у. (кг/т продукції)	мг/м ³ н.у. (кг/т продукції)	мг/м ³ н.у. (кг/т продукції)
Тверді частки	4,4 – 128	11,4	65,2	12,5
	(0,11 – 5,23)	(0,68)	(0,27)	(0,04)
Фенол	0,25 – 20	1,63	0,81	
	(0,009 – 0,93)	(0,093)	(0,0034)	
Формальдегід	0,3 – 16	1,71	1,13	
	(0,04 – 0,48)	(0,091)	(0,014)	
Аміак	6 – 130	21,95	109	
	(0,3 – 6,5)	(1,13)	(0,69)	
Оксиди азоту (NO _x)	7,7	5,82		
	(0,2)	(0,18)		
Леткі органічні сполуки	2 – 47,5	11,2	20,1	
	(0,11 – 2,76)	(0,56)	(0,09)	
Вуглекислий газ	5236			
	(194)			
Середня кількість результатів	15	3	3	1

⁽¹⁾ Дані вказані для всіх типів технологій контролю викидів.

Джерело: [93, Таблиці даних EURIMA – 80%, 2007]

У Таблиці 3.45 нижче наведено повний діапазон викидів від операцій подальшої обробки на заводах з виробництва кам'яної вати у ЄС за 2005 рік: значення виражені як через концентрації (мг/м³ н.у.), так і через коефіцієнти викидів (кг/тонну звареного скла).

Таблиця 3.45. Повний діапазон викидів від операцій подальшої обробки у виробництві кам'яної вати за 2005 рік

Речовина	Викиди від операцій подальшої обробки кам'яної вати ⁽¹⁾			
	Об'єднане волокноутворення, формування та стверджування	Волокноутворення та формування	Стверджування продукції	Охолодження продукції
	мг/м ³ н.у. (кг/т продукції)	мг/м ³ н.у. (кг/т продукції)	мг/м ³ н.у. (кг/т продукції)	мг/м ³ н.у. (кг/т продукції)
Тверді частки	3 – 40	2 – 102	0,5 – 65	3,2 – 61,8
	(0,08 – 1,8)	(0,06 – 1,7)	(0,001 – 0,68)	(0,008 – 0,41)
Фенол	2 – 40	0,11 – 40	0,05 – 60	0,05 – 17
	(0,09 – 1,8)	(0,0035 – 1,36)	(0,0004 – 0,27)	(0,0002 – 0,12)
Формальдегід	3 – 11	0,3 – 15	0,1 – 25	0,05 – 12
	(0,12 – 0,28)	(0,06 – 0,43)	(0,00025 – 0,09)	(0,0007 – 0,04)
Аміак	12 – 67	0,3 – 113	0,3 – 347	1 – 30
	(0,47 – 2,44)	(0,009 – 3,04)	(0,005 – 2,35)	(0,007 – 0,16)
Оксиди азоту (NO _x)	16 – 80	6,2 – 125	15 – 300	43,3
	(0,4 – 3,56)	(0,16 – 5,36)	(0,04 – 1,37)	(0,12)
Леткі органічні сполуки			1 – 7,4	6
			(0,01 – 0,13)	(0,02)
Аміни		0,07 – 0,09	0,05 – 0,08	0,04 – 0,35
		(0,0013 – 0,0017)	(0,0001 – 0,0002)	(0,0001 – 0,0002)
Середня кількість результатів	2	23	29	15

⁽¹⁾ Дані вказані для всіх типів технологій контролю викидів.

Джерело: [93, Таблиці даних EURIMA – 80%, 2007]

Рівні викидів, що відповідають застосуванню різних технологій зниження викидів, які використовуються у виробництві скловати та кам'яної вати, детально описані у розділі 4.5.6, Таблиця 4.40.

3.8.2.4 Дифузні / леткі викиди

Основними джерелами дифузних/летких викидів у секторі виробництва мінеральної вати є зона завантаження шихти і канали живильника (лише для скловати), зберігання та приготування рецептур покриття, а також операції різання, транспортування і пакування. Скловарні печі, що використовуються у виробництві кам'яної вати, мають повністю закриту конструкцію і тому не створюють потенційних дифузних/летких викидів, а крім того, у них немає каналів живильників.

Для забезпечення необхідної вентиляції у робочій зоні поблизу скловарної печі з подальшим викиданням дифузних/летких викидів усередину приміщення або назовні часто використовуються системи місцевої витяжної вентиляції.

Щоб обмежити вплив потенційних викидів на працівників, зазвичай влаштовують спеціальні закриті місця для зберігання та приготування рецептур покриття.

Для різання, транспортування та пакування готової продукції використовують системи місцевої витяжної вентиляції.

3.8.3 Викиди у воду

За нормальних умов роботи технологічні процеси є кінцевими споживачами води, і водні викиди дуже малі. У більшості процесів використовується система технологічної води з замкненим контуром, і у випадках, коли це можливо, в цю систему подаються продувки охолоджувальної води та очисні води. Якщо вони несумісні з процесом або їх об'єми надто великі, їх може бути потрібно скидати окремо, проте на багатьох заводах передбачено збиральні баки, у які можна помістити надлишки об'єму, котрі потім можна випустити назад у систему. На деяких заводах очищена нагріта охолоджувальна вода скидається у каналізацію або у природний водотік. Невеликі об'єми забруднених стічних вод можуть утворюватися в обвалуванні для хімічних речовин, у результаті пролиття рідин та у масловловлювачах: ці води зазвичай скидаються у систему технологічної води, транспортуються на установку очищення за межами об'єкта або скидаються у каналізацію.

Великий об'єм системи технологічної води потенційно може призвести до забруднення контурів чистої води, такої як поверхневі води та вода для швидкого охолодження скляного бою. Якщо системи погано спроектовані або не контролюються належним чином, можуть виникати більш серйозні викиди. У разі використання технологій мокрого очищення газів, особливо хімічного очищення газів, стоки можуть бути несумісними з системою технологічної води, утворюючи додатковий потік відходів.

Приклад водяного контуру для виробництва скловати наведено у розділі 2.9.1, на Рисунку 2.11.

3.8.4 Інші відходи

[27, EURIMA, 1998], [89, Пропозиції EURIMA, 2007]

Основні джерела твердих відходів при виробництві мінеральної вати наведені нижче.

- Матеріали, просипані при транспортуванні сировини для шихти.
- Технологічний скляний бій, що утворюється при швидкому охолодженні гарячого розплаву у воді під час виробництва скловати у випадку, коли скломаса спрямовується в обхід волокноутворювальної машини.
- Розплав, який не перетворився у волокно, у процесах виробництва кам'яної вати під час руху скломаси в обхід волокноутворювальної машини.
- Пил, зібраний із систем зниження викидів, головним чином з електростатичних фільтрів та рукавних фільтрів.
- Корольок, що з'являється під час утворення волокон кам'яної вати. Це важкий, неволокнистий та наполовину перетворений у волокна матеріал, який надто важкий для перенесення на збиральну стрічку і збирається під волокноутворювальною машиною. Приблизно від 10 до 20 % розплаву, що падає на волокноутворювальну машину, перетворюється у корольок.
- Обрізки країв продукції.
- Відходи вати, що утворюються внаслідок переходу на інший вид продукції, зупинок технологічної лінії або виготовлення продукції, що не відповідає заданим технічним вимогам.
- Відходи з фільтрів кам'яної вати, які містять велику кількість органічних речовин – часто близько 50 %.
- Залізо та розплав, випущені з вагранок для виробництва кам'яної вати.
- Суміш розплаву та каменю, що утворюється при зупинках вагранки.
- Тверді відходи від фільтрування контуру технологічної води. Вони становлять від 0,5 до 2,0 % пропускної здатності технологічної лінії і складаються з волокна, твердих компонентів в'язучої речовини та вологи, вміст якої може досягати 50 %.
- Відходи упаковки та інші загальні відходи.
- Відходи вогнетривких матеріалів від капітального ремонту печі.

У виробництві скловати просипану шихту, бій скляного волокна та пил, зібраний із систем зниження викидів, прийнято повертати безпосередньо в піч для переробки. Частину відходів скловати неможливо безпосередньо переробити у скловарній печі, оскільки у ній присутні органічні в'язучі речовини, якщо тільки вона не була належним чином оброблена для видалення органічної фракції.

У процесах виробництва кам'яної вати корольок, спрямований в обхід розплав та пил з систем зниження викидів зазвичай переробляється, якщо використовується процес брикетування. Волокнисті відходи можна переробити шляхом розмелювання та додавання у брикети, проте це, знову ж таки, робиться лише в тому випадку, якщо на установці експлуатується система переробки у вигляді брикетів. Проте обрізки країв зазвичай подрібнюються і переробляються в зоні формування, а в деяких випадках утворені сухі відходи можна подрібнити для утворення продукції з роздутої вати.

Відходи, утворені в результаті зупинок вагранки та випускання заліза з вагранки, теоретично можна переробити у системі брикетування, проте це використовується рідко. Цей матеріал інертний, і його можна використовувати у якості заповнювача (наприклад, дорожнього баласту). Металеве залізо, що накопичується на поді вагранки, можна зібрати у належну спеціальну форму, перш ніж воно змішається з кам'яними відходами, аби уникнути необхідності розділення, яке призведе до викидів пилу, та отримати змогу переробити матеріал за межами виробництва. Металеве залізо з відходів можна продати як металобрухт, проте фінансова вигода від цього мала.

Високі ступені переробки різних відходів, пов'язаних з виробничим циклом, можуть призводити до викидів металів у процесі варіння кам'яної вати.

Оцінка відсотка відходів, що переробляються у секторі мінеральної вати, наразі відсутня. Проте у Таблиці 3.46 нижче охарактеризована прийнята на сьогодні практика; на деяких заводах застосовується переробка, а на інших – ні.

Таблиця 3.46. Утворення та утилізація твердих відходів у секторі виробництва мінеральної вати

	Скловата	Кам'яна вата та шлаковата
Загальна кількість утворених відходів як відсоток від виходу продукції	0 – 15 %	20 – 60 %
Відсоток загальної кількості перероблених відходів	5 – 100 %	5 – 100 %
Відсоток загальної кількості відходів, утилізованих за межами об'єкта	0 – 100 %	0 – 100 %

3.8.5 Енергія

[27, EURIMA, 1998], [15, ETSU, 1992], [89, Пропозиції EURIMA, 2007]

Головними джерелами енергії для варіння скловати є природний газ та електроенергія. Кам'яна вата виготовляється головним чином у вагранках, які працюють на коксі, а крім них, є кілька прикладів газових та електричних печей. Природний газ також використовується у значних кількостях для волокноутворення і стверджування. Електроенергія використовується для загального обслуговування, а легкий мазут, пропан і бутан іноді використовуються як резервне паливо. У цьому секторі працює ряд газокисневих печей.

Трьома основними напрямками споживання енергії є варіння скла, волокноутворення та стверджування. Розподіл споживання може значно різнитися для різних процесів і дуже чутливий до комерційних чинників. У Таблиці 3.47 наведене загальне споживання енергії у виробництві мінеральної вати з розбиття за основними етапами технологічного процесу. Значення для волокноутворення, стверджування та інших напрямків споживання є приблизними оцінками.

Таблиця 3.47. Споживання енергії у виробництві мінеральної вати

Розподіл енергії	Скловата	Кам'яна вата / шлаковата
	ГДж/тонну готової продукції	ГДж/тонну готової продукції
Загальне споживання енергії	9 – 20	7 – 14
	% загальної енергії	% загальної енергії
Варіння скла	20 – 45	60 – 80
Волокноутворення	25 – 35	2 – 10
Стверджування	25 – 35	15 – 30
Інше	6 – 10	5 – 10

Джерело: [89, Пропозиції EURIMA, 2007]

Безпосереднє споживання енергії на електричне варіння скла знаходиться в діапазоні від 2,7 до 5,5 ГДж/тонну готової продукції. Споживання енергії на електричне варіння скла становить приблизно одну третю від енергії, потрібної для 100 %-во газоповітряного варіння скла, і з урахуванням цього можна оцінити відносне споживання енергії на кожному етапі технологічного процесу. За цих значень неусувна похибка такої оцінки буде дуже високою, проте вони орієнтовно характеризують споживання енергії.

У складі шихти для виробництва скловати часто використовується значний відсоток привізного скляного бою (головним чином вапняно-натрієво-силікатного скла), а це суттєво впливає на споживання енергії піччю). Проте на використання скляного бою накладається багато технічних обмежень, таких як належний хімічний склад та присутність забруднювачів (органічних матеріалів, простих металів, тощо).

3.9 Високотемпературне ізоляційне волокно

[9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03, 1996], [41, ECFIA, 1998], [143, Дані ECFIA за листопад, 2008]

Основним вихідним продуктом у виробництві високотемпературного ізоляційного волокна є насипне волокно та мати. Вихід розплаву з сировини зазвичай перевищує 90 %, а вихід готової продукції (мата / насипного волокна) з розплаву варіюється від 55 до 95 %. Проте важливо зазначити, що вихід готової продукції з розплаву є приблизною оцінкою і може варіюватися залежно від типу, характеру, об'єму і тривалості виробництва. Зокрема, нижчі рівні відповідають специфічним і технічно складнішим виробництвам.

3.9.1 Вхідні ресурси технологічного процесу

До високотемпературного ізоляційного волокна належить аморфне скловолокно на основі силікатів лужно-земельних металів (AES) та алюмосилікатне скловолокно: вогнетривке керамічне волокно (ASW/RCF). Полікристалічне волокно (PCW) не розглядається у цьому документі, оскільки для його виробництва використовуються інші хімічні процеси. Існує дві основні рецептури продукції з алюмосилікатного волокна: алюмосилікатне волокно високої чистоти та цирконієво-алюмосилікатне волокно, і чотири основні рецептури продукції з волокна на основі силікатів лужно-земельних металів (AES): кальцієво-силікатне скловолокно, кальцієво-магнієво-силікатне волокно, кальцієво-магнієво-цирконієво-силікатне волокно та магнієво-силікатне волокно, склади яких наведено у розділі 2.10. Основні види сировини наведені у Таблиці 3.48; вони є поєднанням природних (зазвичай оброблених) та синтетичних речовин.

Таблиця 3.48. Матеріали, що використовуються у секторі виробництва високотемпературного ізоляційного волокна

Опис	Матеріали
Сировина для варіння скла	Оксиди алюмінію, кальцію, магнію, кремнію та цирконію. У секторі виробництва аморфного високотемпературного волокна також у меншій кількості використовуються оксиди калію, натрію, титану, заліза та хрому
Додаткова обробка	Для вакуумного формування використовується волога колоїдна суміш крохмалю, латексу, кремнезему або глини. У інших видах діяльності можуть використовуватися ці ж самі речовини та іноді – заповнювачі і органічні полімери або смоли
Паливо	Електроенергія, природний газ та іноді легкий мазут (резервне паливо, опалення)
Вода	Водопровід та місцеві природні джерела (колодязі, річки, озера, тощо)
Допоміжні матеріали	Пакувальні матеріали, у тому числі пластмаси, папір, картон та дерево. Мінеральні масла (покривля волокна та інші загальні способи застосування). Хімічні речовини для підготовки охолоджувальної води та очищення стічних вод

Сировина для розплаву змішується для отримання необхідного складу при варінні скла. Загалом понад 90 % складу алюмосилікатного волокна / вогнетривкого керамічного волокна (ASW/RCF) отримується з діоксиду кремнію, алюмінію та цирконію. Діоксид кремнію отримується головним чином з кременистого піску вищого сорту; оксид алюмінію (глинозем) трапляється у природі, проте зазвичай виготовляється шляхом переробки бокситу. Діоксид цирконію зустрічається в природі у вигляді баделейту або може виготовлятися. Інші компоненти, що використовуються у волокні на основі силікатів лужно-земельних металів (AES), такі як оксид кальцію та оксид магнію, отримуються з сировини, такої як доломіт та вапно.

Відходи за можливості переробляються безпосередньо в печі у вигляді порошку або іноді шляхом додавання в продукцію у вигляді волокна. Додаткова обробка може бути дуже специфічною. Речовини, вказані у Таблиці 3.48 для вакуумного формування, є найбільш поширеними, проте інші речовини можуть дуже різнитися.

Вода у секторі виробництва високотемпературного ізоляційного волокна використовується головним чином в охолоджувальних контурах та для очищення. Охолоджувальна вода використовується – зазвичай у замкнених контурах – для охолодження різних елементів обладнання; при цьому виникають відповідні втрати води

на випаровування та продування. Вода також використовується в операціях вакуумного формування та для виготовлення картону і паперу. Фактичне споживання води і викиди водяної пари можуть різнитися залежно від місцевих умов (наприклад, температури навколишнього середовища та твердості води, що вноситься в систему).

Джерелом енергії для варіння скла є виключно електроенергія, проте для операцій подальшої обробки, особливо сушіння, часто використовується природний газ.

3.9.2 Викиди у повітря

3.9.2.1 Сировина

У більшості сучасних процесах виробництва високотемпературного ізоляційного волокна силоси та змішувальні резервуари обладнані системами фільтрів, які знижують викиди пилу до менш ніж 5 мг/м^3 н.у. Масові викиди з систем – як оснащених, так і не оснащених фільтрами – залежать від кількості операцій транспортування та кількості матеріалу, що транспортується.

3.9.2.2 Варіння скла

Викиди від варіння скла загалом дуже малі і складаються головним чином з пилу, утвореного з сировини у складі шихти, що завантажується в піч. Сировина зазвичай має дуже високий ступінь чистоти і складається майже виключно з оксидів, тому з неї видаляється мало газів, і немає суттєвих викидів газоподібних сполук. Більшість печей обслуговуються витяжною системою, яка пропускає повітря крізь рукавний фільтр. Викиди пилу зазвичай менші, ніж 20 мг/м^3 н.у.

3.9.2.3 Операції подальшої обробки

Викиди пилу та волокнистого пилу можуть утворюватися на кількох ділянках технологічного процесу, до яких належать: волокноутворення та збирання волокна, зшивання у голкопробивну тканину, випалювання мастила, розрізання на смуги, обрізання країв, різання, пакування та операції додаткової обробки. Усі ділянки, на яких можуть утворюватися викиди твердих часток або волокнистого пилу, зазвичай обслуговуються ефективною витяжною системою, яка пропускає повітря крізь систему рукавного фільтра. Викиди пилу зазвичай менші, ніж 20 мг/м^3 н.у., а викиди волокна зазвичай знаходяться в діапазоні $1 - 5 \text{ мг/м}^3$ н.у. Невеликі викиди органічних речовин також можуть виникати у результаті деяких операцій додаткової обробки, особливо сушіння, а відповідні рівні викидів зазвичай менші, ніж 50 мг/м^3 н.у.

3.9.2.4 Дифузні / леткі викиди

Основними джерелами дифузних/летких викидів у секторі виробництва високотемпературного ізоляційного волокна є операції різання, транспортування та пакування.

Зберігання мастил (розчину поліетиленгліколю), що використовуються для пом'якшення волокна, також може стати незначним джерелом дифузних/летких викидів у разі пролиття речовини.

Операції різання, як правило, виконуються за допомогою машин, обладнаних вакуумною системою, яка відносить волокнистий пил у рукавний фільтр.

Операції пакування та транспортування здійснюються шляхом створення вакуум-всмоктування у картонних коробках.

Специфічні проблеми, пов'язані з потенційними дифузними викидами волокнистого пилу, зазвичай вирішуються за нормами гігієни праці і техніки безпеки на робочому місці, а відповідні викиди контролюються за рівнями експозиції на робочому місці. Зокрема, на робочому місці ретельно контролюється експозиція за алюмосилікатним скловолокном / вогнетривким керамічним волокном (ASW/RCF); цей матеріал є канцерогеном категорії 2 (див. Директиву Європейської комісії 2009/2/EC).

3.9.3 Викиди у воду

Як було сказано вище, вода у цьому секторі використовується головним чином для очищення, охолодження, вакуумного формування та для інших операцій додаткової обробки. Водні викиди обмежуються продувками систем охолоджувальної води, очисними водами та поверхневими водними стоками. Очисні води не створюють особливих проблем, нехарактерних для всіх інших промислових об'єктів, тобто містять інертні тверді речовини та масло. Продувки з охолоджувальних систем містять розчинені солі і хімічні речовини для підготовки води. Якість поверхневих вод залежить від ступеня розділення стоків та чистоти на об'єкті. Вода, використана для вакуумного формування, переробляється шляхом влаштування продувок, які можуть містити невелику кількість органічних речовин. У секторі зустрічаються прості технології контролю забруднень, такі як відстоювання, проціджування, використання масляних сепараторів та нейтралізація.

3.9.4 Інші відходи

[41, ECFIA, 1998], [143, Дані ECFIA за листопад, 2008]

Рівні відходів у секторі виробництва ВТІВ загалом низькі. Відходи (шихта, обрізки країв, тощо) завжди, коли це можливо, переробляються шляхом повернення безпосередньо в піч (волокно для цього потрібно обробити) або шляхом додавання у продукцію.

Після завершення кампанії печі (зазвичай кожні шість місяців) вогнетривка конструкція демонтується і замінюється. Матеріал, що залишився від демонтажу, може розмелюватися в порошок і потім використовуватися в інших виробничих процесах (наприклад, для виробництва цегли або у якості матеріалу для піскоструминної обробки).

Близько 95 % порошкоподібного матеріалу та інших твердих відходів можна використати повторно.

Відходи також утворюються у вигляді матеріалу, зібраного в обладнанні для зниження викидів пилу. Цей матеріал зазвичай не переробляється безпосередньо в печі. Це важко зробити через потенційне забруднення та невизначеність складу, проте наразі впроваджуються деякі ініціативи для вирішення цієї проблеми. З огляду на характер матеріалу, його може бути дорого захоронювати на полігоні, і це стимулює пошук альтернатив, тож тенденція до утворення відходів зменшується внаслідок зростання цін на утилізацію відходів, енергію та сировину.

Більша частина мінеральної сировини постачається насипом (у вантажівках-цистернах), тому після неї не залишається відходів упаковки. Відходи від операцій пакування продукції (пластмаса, картон, дерево, тощо) зазвичай використовуються повторно або переробляються, якщо це можливо. Інші відходи, які не є специфічними для цього сектора, утилізуються звичайним чином або переробляються, якщо це дозволяють локальні або національні програми.

У цілому сектор виробництва алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна (ASW/RCF) та волокна на основі силікатів лужно-земельних металів (AES) в ЄС виробляє близько 700 – 900 тонн відходів, що містять волокно, на рік та 100 – 700 тонн інших відходів.

3.9.5 Енергія

[41, ECFIA, 1998]

Про використання енергії у секторі виробництва алюмосилікатного / вогнетривкого керамічного волокна (ASW/RCF) та волокна на основі силікатів лужно-земельних металів (AES) доступно мало інформації. Варіння скла здійснюється виключно за рахунок електричного нагрівання з дуже малими втратами летких речовин. Тому безпосередній ККД процесу варіння скла (без урахування чинників за межами об'єкта) досить високий, хоча для варіння скла такого складу потрібно багато енергії, а печі порівняно невеликі. Споживання енергії варіюється в межах 6,5 – 16,5 ГДж/тону звареної продукції. Споживання енергії для інших видів діяльності варіюється в межах 3,5 – 9,5 ГДж/тону продукції (за умови перетворення 75 % сировини у готовий продукт).

3.10 Фрити

[98, ANFFECC, Становище сектора виробництва фрит, 2005], [99, ІТС-C080186, 2008]

Головним продуктом варіння скла у виробництві фрит є склоподібна речовина з широким спектром різних рецептур залежно від зовнішнього вигляду, властивостей та сфер застосування. У порівнянні з використаною початковою сировиною, остаточний продукт після варіння скла становить 85 – 90 % від початкової ваги, залежно від рецептури. Більшість цих втрат ваги зумовлено викидами CO_2 та H_2O у процесі варіння скла. У процесі виготовлення керамічних фрит не утворюється жодних відходів, і єдиним матеріалом, який потрібно переробляти, зазвичай є пил, зібраний у системах зниження викидів: він не впливає на продукцію суттєвим чином, хоча й потребує планування та частоті переробки. Таким чином, базовий вихід готової продукції дуже високий, оскільки у більшості випадків продукція просто охолоджується водою (хоча також може охолоджуватися повітрям, і єдиними втратами є тверді речовини, які початково не вдалося відділити від охолоджувальної води.

3.10.1 Вхідні ресурси технологічного процесу

[47, ANFFECC, 1999], [98, ANFFECC, Становище сектора виробництва фрит, 2005], [91, ІТС – C071304, 2007], [144, Дані ІТС за листопад, 2008]

Основні види сировини, що використовуються у найпоширеніших рецептурах, перелічені у Таблиці 3.49 разом з їх орієнтовним відсотковим вмістом у складі шихти. Точні значення різняться залежно від рецептури, проте наведені нижче значення можна вважати орієнтиром.

Таблиця 3.49. Основні види сировини, що використовуються у виробництві фрит

Тип фрити	Сировина	Приблизний % у шихті
Керамічні/скляні фрити	Сполуки цирконію	7,7
	Польовий шпат	26,8
	Кварц	25,9
	Борна кислота	6,8
	Оксид цинку	8,4
	Доломіт	8,4
	Карбонат кальцію	13,4
	Нітрат калію	2,6
Емалеві фрити	Тетраборат натрію	19,1
	Кварц	42
	Нітрат натрію	7,8
	Фторсилікат натрію	1,2
	Фторсилікат калію	7,8
	Фосфат натрію	3,2
	Оксид титану	18,9
Легкоплавкі фрити	Свинцевий сурик (Pb_3O_4)	50
	Кварц	19,8
	Оксид цинку	15,1
	Борна кислота	15,1

Вода використовується з метою охолодження та очищення, проте також для охолодження та розбивання розплавленої скломаси (різке охолодження) та у процесі мокрого охолодження. Усі водяні контури виконані замкненими, і в них присутні відповідні втрати на випаровування. Інші втрати води – це вода, що міститься у продукції, та вода у твердих речовинах, захоплена з водяного контуру при контакті з розплавленим матеріалом. За оцінками, споживання води становить 0,5 – 3 м^3 /тонну керамічних фрит.

У якості палива використовується природний газ, а найбільш поширеним окиснювачем є повітря в окисній атмосфері.

3.10.2 Викиди у повітря

3.10.2.1 Сировина

Усі силоси та змішувальні резервуари обладнані системами фільтрів, які знижують викиди пилу до менш ніж 30 мг/м^3 н.у. Викиди пилу з будь-якої системи – як оснащеної, так і не оснащеної фільтрами – залежать від кількості операцій транспортування, розміру гранул та кількості матеріалу, що обробляється. У деяких процесах виробництва фрит, особливо емалевих фрит – хоча й досить рідко і лише в малих кількостях – використовується сировина, що містить свинець або інші важкі метали. Усі необхідні заходи вже реалізовані, тож викиди, утворені з цих речовин, можуть бути мінімальними.

3.10.2.2 Варіння скла

Під час операцій варіння скла у секторі виробництва фрит утворюються викиди в повітря, оскільки цей процес потребує високої температури і інтенсивно споживає енергію. Речовини, що при цьому виділяються, та їх джерела вказані у розділі 3.2.2.1. Усі печі в цьому секторі працюють на природному газі, і викиди оксидів сірки менші, ніж 200 мг/м^3 н.у., залежно від вмісту сульфатів у шихті.

У наведеній нижче Таблиці 3.50 представлені типові рівні викидів від цього сектора; статистичне розбиття відсутнє.

Таблиця 3.50. Типові рівні викидів зі скловарних печей у секторі виробництва фрит

Речовина	Концентрація, мг/м^3 н.у. ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Масові викиди, кг/тону розплаву ⁽¹⁾
	Середні значення	Середні значення
Пил	<40	<0,2
Оксиди азоту (у перерахунку на NO_2)	1600 ⁽³⁾	12 ⁽³⁾
Оксиди сірки (у перерахунку на SO_2)	<200	<1
Хлориди (HCl)	<10	<0,050
Фториди (HF)	<5	<0,025
Метали (група 1+2)	<5	<0,025
Метали (група 1)	<1	<0,01

⁽¹⁾ Дані вказані для продуктивності ≥ 20 тонн/добу.
⁽²⁾ Концентрації викидів вказані для концентрації кисню 15 %.
⁽³⁾ Значення вказані для змішаного виробництва (рецептури з нітратами та без них). Ці значення важко підтримувати, якщо для всіх печей, викиди з яких надходять в одну димову трубу, у рецептурі шихти використовується велика кількість нітратів.
Джерело: [99, ІТС-C080186, 2008], [84, Звіт від Італії, 2007]

Викиди пилу залежать від ефективності системи зниження викидів, що застосовуються, оскільки заводи з виробництва фрит зазвичай оснащені фільтрувальними системами. Викиди оксидів азоту залежать головним чином від системи спалювання палива (повітряно-паливна, з повітрям, збагаченим киснем, киснево-паливна) та вмісту нітратів у сировині, що використовується для приготування шихти потрібного складу. Велике різноманіття продукції та технологій виготовлення, що застосовуються у секторі виробництва фрит, не дозволяє встановити чіткий взаємозв'язок між цими чинниками та викидами NO_x .

Можна вважати, що з 1 кг нітратів (нітрат натрію, калію або кальцію), доданих до складу шихти, утворюється близько $0,5 \text{ кг NO}_2$; тоді з кожного 1 % нітратів, що використовується в шихті, утворюється не більше, ніж приблизно 5 кг NO_2 на тону зварених фрит, якщо припустити, що нітрати повністю перетворюються в NO_2 . Ступінь перетворення нітратів нелегко передбачити, проте за приблизною оцінкою він становить від 30 до 80 % максимального значення (див. розділ 4.4.2.2).

Викиди NO_x внаслідок згорання палива залежать від різних технологій варіння скла, що застосовуються, та надлишку повітря, що підтримується в печі з експлуатаційних міркувань.

Як уже повідомлялося у розділі 2.11.2, скловарні печі у секторі виробництва фрит зазвичай працюють таким чином, що концентрація кисню у вихлопних газах становить близько 15 % за об'ємом, окрім випадку киснево-паливного згорання, за якого відсоток кисню може бути значно більшим і не має значення для визначення концентрацій викидів. Ця особливість сектора врахована уповноваженими органами деяких країн-членів ЄС, а саме Іспанії, де дозволені граничні значення викидів для установок, що виготовляють фрити, встановлені для 15 % кисню – значення, набагато ближчого до реальних параметрів вихлопних газів, що викидаються у цьому секторі.

Якщо сукупність димових газів з різних печей, у яких використовуються різноманітні технології спалювання палива (киснево-паливна, збагачення киснем, повітряно-паливна), надходить в одну і ту ж димову трубу, приведення до 8 % кисню, яке зазвичай використовується для скловарних печей безперервної дії, буде неприйнятним; у цих випадках більш доцільно використовувати коефіцієнти викидів, виражені у кг/тонну звареної фрити.

У Таблиці 3.51 наведені значення викидів NO_x для різних умов роботи (типів спалювання палива) та рецептур шихти (з нітратами або без них). Дані вказані для типових установок з виробництва фрит, на яких гази з однієї або кількох печей (до 7) надходять в одну і ту ж димову трубу.

Таблиця 3.51. Приклади рівнів викидів NO_x з установок для виробництва фрит, що працюють за різних умов спалювання палива та з різними рецептурами шихти

Печі ⁽¹⁾	Умови експлуатації	Нітрати у шихті	Характеристики димових газів			Викиди NO _x	
			O ₂	Температура	Об'єм	Мг/м ³ н.у. ⁽²⁾	кг/т фрит
Кількість		(%)	(%)	°C	м ³ н.у./год.		
7	Киснево-паливне згорання; кілька типів рецептур фрити	1,9 ⁽³⁾	19,8	141	22011		10,9
1	Киснево-паливне згорання; кристалічна фрита	0	21,2	66	17351		7,1
2	Киснево-паливне згорання; цирконієві фрити	1,7 – 4,1	21,2	114	7521		10,4
2	Повітряно-паливне згорання зі збагаченням киснем; цирконієві і титанові фрити	3,7 – 1,6	17,6	136	10594	3890	6,6 ⁽⁴⁾
2	Повітряно-паливне згорання зі збагаченням киснем; цирконієві і кристалічні фрити	<2 ⁽³⁾	19,2	114	40121	883	6,6 ⁽⁴⁾
6	Повітряно-паливне згорання зі збагаченням киснем; кілька типів рецептур фрити	1,2 ⁽³⁾	Н/Д	Н/Д	Н/Д	1800	13,5 ⁽⁴⁾
2	Повітряно-паливне згорання зі збагаченням киснем; кілька типів рецептур фрити	3 ⁽³⁾	Н/Д	Н/Д	Н/Д	3900	29,3 ⁽⁴⁾
2	Повітряно-паливне згорання; кілька типів рецептур фрити	3 ⁽³⁾	Н/Д	Н/Д	Н/Д	1750	13,1 ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Кількість печей, гази з яких надходять в одну й ту ж димову трубу.

⁽²⁾ Концентрації вказані для 15 % кисню за об'ємом.

⁽³⁾ Відсоток нітратів означає зважене середнє значення на основі об'єму виробництва та вмісту кожної печі, під'єднаної до однієї і тієї ж димової труби.

⁽⁴⁾ Для оцінки питомих масових викидів, виражених у кг/тонну звареної фрити, використовується коефіцієнт перетворення, що дорівнює 7,5 x 10⁻³.

Н/Д = немає даних.

Джерело: [166, ІТС-С100244, 2010]

3.10.2.3 Операції подальшої обробки

Викиди у повітря від процесів подальшої обробки дуже малі. Переважна більшість операцій помелу виконується мокрим способом, проте у разі сухого помелу можуть утворюватися викиди пилу, якщо не вжито заходів зі зниження викидів.

3.10.2.4 Дифузні / леткі викиди

Основними джерелами дифузних/летких викидів у секторі виробництва фрит є зона завантаження шихти у скловарну піч, сухий та мокрий помел і пакування продукції.

Зона завантаження шихти зазвичай повністю закрыта, тож очікується, що потенційні викиди внаслідок винесення шихти та утворення газоподібних продуктів згорання будуть дуже низькими.

Операції помелу (морого або сухого) та пакування продукції зазвичай здійснюють під витяжкою, за якою встановлена система рукавних фільтрів, щоб забезпечити належну якість повітря у робочій зоні; за таких обставин очікується, що дифузні викиди будуть дуже малими.

3.10.3 Викиди у воду

Викиди у воду складаються з викидів від штатних операцій охолодження та очищення, а також поверхневих стоків. Контури швидкого охолодження та помелу зазвичай замкнені, з підживленням свіжою водою, проте іноді передбачене їх продування для запобігання накопиченню солей. Рівні викидів дуже низькі, проте викиди можуть містити зважені тверді частки, а за деяких обставин у зважених твердих частках можуть бути присутні важкі метали. Ці метали зазвичай зв'язуються у склі, і їх можна видалити за допомогою технологій відділення твердих часток.

У деяких випадках, залежно від водоприймача, рівні викидів у місці скидання можуть бути значно вищими, ніж значення, вказані у Таблиці 5.5. У таких випадках очікується, що стічні води можуть використовуватися за межами виробництва – у керамічній промисловості.

3.10.4 Інші відходи

Рівні утворення відходів загалом дуже низькі. Основним видом відходів обробки є тверді матеріали (переважно фрити), виділені з водяних контурів. Цей матеріал зазвичай не переробляється, оскільки його склад надто мінливий. На більшості заводів відношення відходів до доброякісної продукції знаходиться в районі 0,5 – 3 %.

Більшість мінеральної сировини постачається насипом, тому після неї не залишається відходів упаковки. Відходи від операцій пакування продукції (пластмаса, картон, дерево, тощо) зазвичай використовуються повторно або переробляються, якщо це можливо. Інші відходи, які не є специфічними для цього сектора, утилізуються звичайним чином або переробляються, якщо це дозволяють локальні або національні програми. Після завершення кампанії печі вогнетривка конструкція демонтується і замінюється. Якщо це можливо, з цього матеріалу намагаються здобути користь шляхом його повторного використання або продажу.

3.10.5 Енергія

Печі для виробництва фрит зазвичай дуже малі у порівнянні з іншими печами, що використовуються у скляній промисловості. Існує лише кілька окремих печей потужністю понад 20 тонн на добу. Усі існуючі печі працюють на природному газі; приклади електричного варіння у промислових масштабах невідомі. Установка зазвичай складається з кількох печей, у кожній з яких виготовляються інші рецептури фрит. Споживання енергії на тонну зварених фрит зіставне з іншими секторами (понад 13 ГДж/тонну, що відповідає 300 м³ н.у. газу на тонну фрит). Для киснево-паливних печей ці значення менші: у районі 9 – 13 ГДж/тонну фрит. Кількість енергії, що споживається в інших процесах, зазвичай мала – з урахуванням того, що операцій подальшої обробки небагато, і продукція зазвичай не сушиться.

У значній кількості печей в якості окиснювача використовується кисень: завдяки цьому можливе заощадження енергії та зниження викидів. Проте в оцінці загального споживання енергії на тонну фрит слід враховувати енергію, потрібну для виробництва кисню. Крім того, слід враховувати опосередковані викиди, пов'язані з виробництвом кисню, разом з додатковими міжсередовищними наслідками (а саме зношуванням вогнетривких матеріалів).

4 ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ ПОТРІБНО РОЗГЛЯНУТИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ НДТМ

4.1 Вступ

У цій частині 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.

Ця частина охоплює системи керування навколишнім середовищем, технології, інтегровані у технологічний процес, та заходи зі зниження викидів у кінці виробничого циклу. Також розглядаються процедури запобігання утворенню відходів та керування утилізацією відходів, у тому числі процедури мінімізації утворення відходів та переробки. Крім того, ця частина охоплює технології, які зменшують споживання сировини, води та енергії.

У Додатку III до Директиви перелічено ряд критеріїв для визначення НДТМ; ці міркування будуть враховані в інформації, наведеній у цій частині. Зібрана інформація про кожну технологію окреслена, наскільки це можливо, з дотриманням стандартної структури, представленої у Таблиці 4.1, щоб технології та їх оцінку можна було порівнювати з визначенням НДТМ, наведеним у цій Директиві.

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

Таблиця 4.1. Інформація для кожної технології, описаної у цій частині

Заголовок у розділах	Тип інформації, що входить до складу цих відомостей
Опис	Стислий технічний опис 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 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"> • споживання та характер сировини і води; • споживання енергії та внесок у зміну клімату; • потенційна здатність до руйнування стратосферного озону; • потенційна здатність до створення фотохімічного озону; • закислення середовища внаслідок викидів у повітря; • тверді частки у навколишньому повітрі (у тому числі мікрочасток та металів); • евтрофікація земель та вод внаслідок викидів у повітря або воду; • потенційна здатність до виснаження запасів кисню у воді; • стійкі / токсичні / біоаккумулятивні компоненти (у тому числі метали); • утворення решток / відходів; • обмеження здатності повторно використовувати чи переробляти рештки / відходи; • створення шуму та/або неприємного запаху; • підвищений ризик нещасних випадків. <p>Слід враховувати Довідковий документ щодо економічних та міжсередовищних наслідків (ЕСМ).</p>
Експлуатаційні параметри	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> • як проєктувати, експлуатувати, виконувати технічне обслуговування, контролювати та виводити з експлуатації цю технологію; • питання моніторингу викидів, пов'язані з використанням цієї технології; • чутливість та довговічність технології; • питання щодо запобігання нещасним випадкам.
Застосовність	Зазначення типів заводів або технологічних процесів у межах сектору промисловості, з якими технологія не може застосовуватися, а також обмеження на реалізацію у певних випадках з урахуванням, наприклад, віку заводу (нового або існуючого), факторів, пов'язаних з модернізацією (наприклад, наявність вільної виробничої площі), розміру заводу (великий або малий), вже встановлених технологій та типу або якості продукції.
Економіка	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. Буде додана економічна інформація, яка стосується будівництва нових чи модернізації існуючих установок. Вона повинна давати змогу визначити, якщо це можливо, загальні економічні наслідки реалізації технології.
Рушій для впровадження	У випадках, де це застосовно – конкретні місцеві умови, вимоги (наприклад, законодавство, заходи техніки безпеки) або рушійні 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.
Приклади заводів	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 Європі або у всьому світі.
Довідкова література	Література або інші довідкові матеріали (наприклад, книги, звіти, дослідження, сайти), 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).

Ця частина складається з восьми основних розділів, які містять таку інформацію:

1. Вибір технології варіння скла.
2. Транспортування матеріалів.
3. Технології контролю викидів у повітря від видів діяльності, пов'язаних з варінням скла.
4. Технології контролю викидів у повітря від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла.
5. Технології контролю викидів у воду.
6. Технології мінімізації утворення інших відходів.
7. Енергія.
8. Системи керування навколишнім середовищем.

Основний вплив скляної промисловості у цілому на довкілля зумовлений викидами у повітря від видів діяльності, пов'язаних з варінням скла. Технології зниження цих викидів описані у розділах 4.2, 4.3 та 4.4; останній з них є найбільшим і найдетальнішим розділом цієї частини. Більшість описаних технологій стосуються більшості установок у скляній промисловості і базуються на спільних принципах. Тому розділ 4.4 структурований за речовинами, і для кожної речовини описані різні технології зниження викидів. Технології описані у розділі, присвяченому тій речовині, на яку вони найсильніше впливають, проте багато технологій неминуче матимуть сприятливі та несприятливі наслідки, пов'язані з кількома речовинами. У відповідних випадках вплив на інші речовини описаний з перехресними посиланнями на інші розділи.

У різних місцях документа використовуються терміни «первинні та вторинні заходи зі зниження викидів». Ці терміни допомагають класифікувати деякі з технологій. Загалом первинні технології – це технології, які запобігають утворенню забруднюючих речовин або знижують інтенсивність їх утворення, а вторинні технології – це технології, які діють на забруднюючі речовини, роблячи їх менш шкідливими (наприклад, шляхом їх перетворення в інші речовини) або даючи змогу зібрати їх у формі, в якій їх можна повторно використати, переробити або захоронити на полігоні. Деякі з описаних технологій неможливо однозначно віднести до жодної категорії, і у відповідних випадках це роз'яснюється у тексті.

Для того, щоб можна було порівняти та оцінити робочі показники різних технологій, у документі представлені дані про викиди (тією мірою, якою ця інформація доступна) разом з експлуатаційними параметрами установки, процедурою відбору проб та періодом усереднення.

Дані про викиди можуть бути виражені у вигляді абсолютних значень, або концентрацій, або у вигляді відносних значень на одиницю фактичного об'єму виробництва або продуктивності. Для кожної з технологій будуть описані найбільш значимі економічні аспекти, аби визначити, якщо це можливо, загальний економічний вплив кожної окремо взятої технології. Витрати та споживання ресурсів можуть бути виражені у вигляді різних величин, віднесених до одиниць об'єму виробництва або часу.

Важливим міркуванням для цієї частини є те, що технологія, яка успішно працює в одному випадку застосування, може мати зовсім інші наслідки у разі її використання в іншому секторі або навіть на іншій установці у тому ж секторі. Витрати, екологічні показники та відповідні переваги і недоліки можуть суттєво різнитися для різних секторів та для окремих установок. Для кожної технології розглядається її доступність та імовірна застосовність у ряді ситуацій.

При оцінці технології також важливо пам'ятати, що певні види обладнання з часом можуть стати менш ефективними, і може спостерігатися тенденція до збільшення деяких, але не всіх, типів викидів. Хоча це відносне збільшення, найімовірніше, буде невеликим, при аналізі рівнів викидів, яких можна досягти, слід належним чином враховувати нормальні та прогнозні характеристики старіння обладнання, пам'ятаючи, що заміну обладнання, можливо, доведеться відкласти до капітального ремонту. Тому оператор повинен уважно стежити за характеристиками викидів з заводу, регулярно проводити технічне обслуговування заводу і за необхідності вчасно готуватися до капітального ремонту.

Оцінюючи застосовність кожної технології, описаної у цій частині, для процесу безперервного варіння скла, необхідно враховувати, чи можна застосовувати її до печі під час кампанії, або ж її можна застосовувати (або найкраще застосовувати) лише у ході капітального ремонту. Важливою характеристикою скляної промисловості є те, що експлуатаційний ресурс печей обмежений, і після спливання цього терміну піч потребує різною мірою поточного або капітального ремонту. Загалом печі на викопному паливі, у яких виготовляється тарне скло, плоске скло, скловата та скловолокно з безперервних ниток, на сьогодні працюють безперервно з типовим терміном служби від 10 до 20 років, а в деяких випадках понад 20 років. Печі на викопному паливі для виробництва спеціального скла і сортового скла працюють безперервно протягом періоду від 3 до 8 років. Печі, що нагріваються електроенергією, зазвичай мають менший експлуатаційний ресурс у всіх випадках застосування – від 2 до 7 років. Деякі інші печі, як-от вагранки та скловарні агрегати періодичної дії для виробництва скляних фронт, працюють протягом набагато менших періодів – від декількох днів до кількох тижнів.

Капітальний ремонт для безперервних процесів буває двох основних категорій.

- У разі «звичайного» капітального ремонту ремонтуються вогнетривкі конструкції печі та, за необхідності, регенератори шляхом повної або часткової заміни матеріалу. Обв'язка печі не зазнає значних коректив, і габарити печі залишаються, по суті, незмінними. Якщо вимоги до печі або технологія суттєво не змінилися, це найпоширеніший тип капітального ремонту між кампаніями.
- «Повний» капітальний ремонт зазвичай передбачає внесення значних коректив або заміну печі та всього пов'язаного з нею обладнання і установок. Він може бути зіставним з будівництвом нової печі, хоча в багатьох випадках можна зберегти велику частку існуючої інфраструктури, і особливо регенераторів. Цей тип капітального ремонту менш поширений і зазвичай застосовується, якщо значно змінилися вимоги до печі (наприклад, потрібно суттєво збільшити площу варильної зони або значно змінити потужність обігрівання) чи технологія. Повний капітальний ремонт загалом потребує значно більших витрат, ніж звичайний капітальний ремонт.

Під час кампанії печі можливість модифікації печі обмежена. Втім, часто проводяться ремонти у гарячому стані з метою заміни або укріплення пошкоджених вогнетривких конструкцій, і модифікація або заміна пальників також може здійснюватися умовно напряму на працюючій печі. Суттєві зміни, що впливають на технологію варіння скла, зазвичай найбільш економно реалізуються у тому випадку, якщо їх впровадження збігається з капітальним ремонтом печі. Це також може стосуватися складних вторинних заходів зі зниження викидів. Однак протягом експлуатаційної кампанії можна внести багато вдосконалень у роботу печі, в тому числі встановити системи, у яких реалізовані вторинні технології. У відповідних випадках ці питання розглядаються в рамках аналізу застосовності різних технологій.

Розмежування між «звичайним» капітальним ремонтом і «повним» капітальним ремонтом, і між найпростішим звичайним капітальним ремонтом та повним зносом і заміною всієї печі є ряд проміжних варіантів. Наприклад, дрібний ремонт з метою усунення конкретних пошкоджень або внесення незначних модифікацій можна проводити у гарячому або у холодному стані. Крім того, незначний капітальний ремонт можливий тоді, коли проводиться плановий ремонт у холодному стані, проте більшість вогнетривких конструкцій залишається на місці, і замінюються лише пошкоджені деталі. Найважливішою відмінністю, яка впливає як на вартість, так і на свободу реалізації нових технологій, є наявність значних змін у обв'язці печі і, відповідно, у її габаритах.

У деяких випадках – зокрема, для менших печей, які частіше зазнають капітальних ремонтів і потребують менших капітальних витрат, – переваги узгодження екологічних вдосконалень з ремонтом печі не такі помітні, проте навіть у цих випадках екологічні вдосконалень можуть бути більш економічно вигідними, якщо їх впровадження скоординоване з іншими операціями та інвестиціями, запланованими для скловарної печі.

4.2 Вибір технології варіння скла

Технології варіння скла, що використовуються у скляній промисловості, описані у частині 2. Вони варіюються за масштабами від невеликих горшкових печей до великих регенеративних печей, у яких виготовляється до 900 – 1 000 тонн скла на добу. Вибір технології варіння скла залежить від багатьох чинників, проте особливо від необхідної потужності, рецептури скла, потрібної якості скла, цін на паливо, рівнів цін на кисень, місцевої ціни на електроенергію та існуючої інфраструктури. Цей вибір є одним із найважливіших економічних і технічних рішень, що приймаються для нового заводу або капітального ремонту печі. Чільними чинниками є необхідна потужність і тип скла.

Вибір між регенеративною або рекуперативною піччю зазвичай базується на економічних і технічних міркуваннях. Тому екологічні аспекти розглядаються тут лише стисло. Вибір між традиційним повітряно-паливним горінням та електричним або киснево-паливним варінням скла є важливим чинником для визначення НДТМ, і ці технології описані окремо. Аналогічним чином, інші спеціальні технології варіння скла – наприклад, скловарний агрегат LoNO_x ® – розглядаються окремо у розділах, присвячених конкретним речовинам.

Кожна з технологій, описаних у частині 2, має свої невід'ємні переваги, недоліки та обмеження. Наприклад, на час укладання цього документа (2010 рік) найкращим з технічної точки зору та найбільш економічно вигідним способом виробництва великих об'ємів флоат-скла було його варіння у великій регенеративній печі з поперечним полум'ям, хоча киснево-паливні печі для варіння флоат-скла можуть становити економічну альтернативу залежно від рівня цін на кисень. Існуючі альтернативи ще не випробувані у відповідному секторі або несприятливо впливають на технічні чи економічні аспекти господарської діяльності (наприклад, електричне варіння скла або рекуперативні печі).

У випадку секторів з подібними характеристиками (наприклад, сектори тарного та сортового скла) технологія варіння скла може бути доцільною для одного сектора і недоцільною для іншого з технічних та економічних міркувань.

Екологічні показники печі визначаються сукупністю таких чинників, як вибір технології варіння скла, тип і вимоги до якості скла, порядок експлуатації та реалізація вторинних заходів зі зниження викидів. З екологічної точки зору технології варіння скла, які самі по собі створюють менше забруднень, або які можна контролювати за допомогою первинних заходів, загалом вважаються кращими, ніж технології, що покладаються на вторинні засоби зниження викидів. Проте тут потрібно враховувати економічні та технічні аспекти, які існують на практиці, і остаточний вибір повинен бути оптимальним компромісом.

Екологічні показники різних технологій варіння скла суттєво різняться залежно від типу скла, який виготовляється, порядку експлуатації та конструкції. Наприклад, викиди (перед вторинними засобами зниження викидів) з рекуперативної печі, яка виготовляє скло для телевізорів з додаванням нітратів і наближається до кінця кампанії, будуть мало схожі на викиди від новозбудованої рекуперативної печі для виготовлення скловолокна з безперервних ниток з оптимізованою геометрією, рецептурою та способом обігрівання. Спеціальні вимоги до якості продукції у різних секторах також можуть впливати на екологічні показники печі. З огляду на ці чинники, різні технології варіння скла важко безпосередньо порівняти за кількісними характеристиками, і таке порівняння має обмежену цінність, тож у наведених нижче розділах лише підсумовані основні екологічні міркування для кожної з технологій, описаних у частині 2. Відмінності у викидах з печей різних типів розглядаються, коли це доцільно, у розділах цієї частини, присвячених конкретним речовинам.

Електричне варіння скла відрізняється від інших технологій, описаних нижче, оскільки воно передбачає докорінну зміну технології і дуже суттєво впливає на викиди. Електричне варіння скла представлене як одна зі спеціальних технологій, які потрібно враховувати при визначенні НДТМ. Проте, оскільки воно впливає на всі викиди, його не можна однозначно пов'язати з конкретною речовиною, як прийнято у цій частині, тому воно описане окремо у цьому розділі.

Інші технології варіння скла, які відрізняються від традиційних повітряно-паливних печей і дуже суттєво впливають, зокрема, на викиди оксидів азоту, розглядаються у розділі 4.4.2. Це стосується киснево-паливного варіння скла і спеціальних конструкцій печей, які розглядаються відповідно у розділах 4.4.2.5 та 4.4.2.3.

Різні значення питомого споживання енергії, що відповідають прийнятим технологіям варіння скла, підсумовані у Таблиці 3.13 та на Рисунку 3.4 для сектора тарного скла і класифіковані за типом і розміром печі.

Регенеративні печі

Ці печі загалом більш енергоефективні, ніж інші традиційні печі, що працюють на викопному паливі, завдяки системі підігрівання повітря, яка забезпечує більш ефективне згорання. Низьке споживання енергії на тону звареного скла призводить до зниження кількості багатьох забруднюючих речовин, пов'язаних зі згоранням палива. Проте високі температури підігрівання сприяють утворенню більшої кількості NO_x . Ці печі продемонстрували дуже хороші результати у поєднанні з первинними технологіями контролю викидів, особливо NO_x . З двох типів регенеративних печей краща енергоефективність та нижчі викиди найчастіше спостерігаються в печах з підковоподібним полум'ям. Проте у регенеративних печах з поперечним полум'ям можна регулювати розташування гарячої точки, щоб забезпечити виробництво якісного скла навіть у печах великого розміру завдяки кращому контролю масових витрат розплавленої скломаси.

Піч з поперечним полум'ям можна замінити лише шляхом повного капітального ремонту. Якщо припустити, що таку піч можливо збудувати на наявній виробничій площі, додаткові витрати, пов'язані з повним капітальним ремонтом, можуть переважувати всі експлуатаційні вигоди екологічного чи економічного характеру.

Великі капітальні витрати на регенеративні печі означають, що такі печі зазвичай рентабельні лише для великомасштабного виробництва скла (зазвичай >100 тонн на добу, хоча є й приклади менших печей). У випадках продуктивності >500 тонн на добу зазвичай використовують печі з поперечним полум'ям, аби забезпечити хороше регулювання нагрівання по всій довжині печі.

Рекуперативні печі

Ці печі менш енергоефективні, ніж регенеративні печі, проте все рівно регенерують значну кількість тепла через рекуператорну систему. Подальшого підвищення енергоефективності можна досягти за допомогою додаткових технологій – наприклад, електричного форсування, котлів-утилізаторів, підігрівання газу та підігрівання шихти / скляного бою. Температури підігрівання нижчі, ніж у регенеративних печах, і хороших результатів можна досягти з застосуванням первинних засобів контролю рівнів NO_x .

Хоча викиди NO_x , виражені через концентрації (мг/м^3 н.у.), зазвичай менші для рекуперативних печей (див. середні значення у Таблиці 3.15), питомі викиди, виражені через $\text{кг NO}_x/\text{тону скла}$, будуть сумірними для регенеративних та рекуперативних печей, за винятком рекуперативних печей спеціальних конструкцій (печей $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$).

Комбіноване варіння скла на викопному паливі та електроенергії

Існує два головні підходи до використання цієї технології: нагрівання переважно за рахунок спалювання викопного палива з додатковим електричним нагріванням або переважно електричне нагрівання, яке підтримується викопним паливом. У багатьох печах встановлене обладнання для електричного форсування, яке може забезпечувати 2 – 20 % від загальної підведеної енергії. У печах для виробництва тарного скла та флоат-скла частка електричного форсування зазвичай дуже обмежена (<5 %) через вартість електроенергії. Електричне форсування знижує безпосередні викиди з печі шляхом часткової заміни спалювання палива електричним нагріванням для заданого питомого знімання скломаси. Як сказано у розділі 4.2.1 нижче, у випадку більш цілісного підходу зниження викидів, якого вдається досягти на об'єкті, слід зіставляти з викидами, пов'язаними з виробництвом електроенергії.

Великі витрати, пов'язані з електричним форсуванням, означають, що ця технологія загалом не є реальним способом зниження викидів у довготерміновій перспективі на базовому рівні виробництва. Це експлуатаційний інструмент, використання якого

визначається економічними та технічними чинниками. Електричне форсування можна використовувати у поєднанні з такими технологіями, як пальники з низьким виходом NO_x , для вдосконалення варіння скла та зниження викидів, проте сама по собі ця технологія не є економічно ефективною. Електричне форсування також можна використовувати для покращення конвективних течій у печі: це покращує теплообмін і може сприяти первинному освітленню. Проте загальні вигоди електричного форсування для навколишнього середовища слід оцінювати з урахуванням ККД виробництва електроенергії на електростанції.

Набагато менш поширеною технологією є використання гострого дуття для спалювання викопного палива у печі з переважно електричним нагріванням. Це дає змогу скористатися багатьма екологічними вигодами електричного варіння скла шляхом подолання деяких технічних та економічних обмежень цієї технології. Використання пальників збільшує швидкість плавлення сировини. Звісно, при цьому виникають викиди, пов'язані зі згоранням палива, які залежать від частки тепла, що підводиться цим способом. У цих печах можна застосовувати багато які технології зниження викидів, що розглядаються в цій частині, у тому числі використання пальників з низьким виходом NO_x та киснево-паливного варіння скла.

Періодичне порційне варіння скла

Ця технологія традиційно використовується для періодичного варіння невеликих об'ємів скла у горшковій печі, хоча все більшого поширення набувають інші технології, такі як ванні печі періодичної дії та скловарні агрегати Flex[®]. Вибір технології зазвичай залежить від логістики конкретної установки – особливо від масштабу виробництва, кількості різних рецептур, що виготовляються, та вимог замовника. У цих печах тією чи іншою мірою можна застосовувати багато які первинні заходи зі зниження викидів, описані у цій частині. Найбільш ефективними технологіями, найімовірніше, є оптимізація рецептури шихти та технологій згорання. З огляду на конструкцію горшкових печей, ці технології загалом демонструють кращі результати для ванних печей періодичної дії та печей напівбезперервної дії. Якщо на практиці можливо застосовувати ванні печі періодичної дії або напівбезперервне варіння скла, зазвичай вдається досягти більшої енергоефективності і зменшити викиди.

Варіння кам'яної вати

Найбільш поширеною технологією для варіння кам'яної вати є вагранка з гарячим дуттям, хоча також є приклади електричного варіння скла та газових печей. У кількох випадках ці інші варіанти спроектовані як повномасштабні дослідні установки для дослідження рентабельності цих технологій у довготерміновій перспективі або вибрані з огляду на певні місцеві обставини. Вагранка з гарячим дуттям має ряд експлуатаційних переваг і є панівною технологією в цьому секторі. Альтернативні варіанти не надають суттєвих вигод для навколишнього середовища або не зарекомендували себе як технічно доцільні та рентабельні технології для ширшого вжитку.

4.2.1 Електричне варіння скла

Опис

Ця технологія описана у розділі 2.3.4, оскільки це базова технологія варіння скла, спільна для кількох секторів. Електричне варіння скла суттєво впливає на викиди забруднюючих речовин і тому також розглядається у цій частині як «первинний» захід зі зниження викидів.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Повна заміна викопного палива у печі електроенергією виключає утворення газоподібних продуктів згорання на рівні установки (однак при цьому потрібно враховувати виробництво електроенергії), а саме оксидів сірки (якщо використовувався мазут), термічних оксидів азоту NO_x , та вуглекислого газу (CO_2). Решта викидів утворюються внаслідок винесення твердих часток та розкладання матеріалів шихти: це головним чином CO_2 , що утворюється з карбонатів, NO_x , що утворюється з нітратів, та SO_x , що утворюється з сульфатів. У більшості випадків, коли застосовується електричне варіння скла, вміст сульфатів у складі шихти досить низький, оскільки частіше використовуються інші освітлювачі та окиснювачі (наприклад, нітрати).

Також можуть спостерігатися низькі рівні викидів галогенідів – наприклад, фтороводною (HF) – або металів, якщо ці речовини присутні у сировині. Проте якщо до рецептури додаються фториди, ці викиди можуть бути значними. Викиди всіх летких компонентів шихти значно нижчі, ніж зі звичайних печей, завдяки менш інтенсивному потоку скла та поглинанню, конденсації і реагуванню газоподібних викидів у шарі шихти, який зазвичай вкриває всю поверхню розплаву.

Печі зазвичай відкриті з одного боку, і в них присутні значні течії повітря, зумовлені газоподібними викидами і теплом, що виділяється з розплаву. Зазвичай необхідно забезпечити вентиляцію у тому чи іншому вигляді, щоб пил, газу та тепло могли виходити з печі, не потрапляючи на робоче місце. Цього досягають шляхом влаштування природної тяги або витяжки.

Об'єм відхідних газів, що викидаються за допомогою природної тяги, дуже малий, проте у них може бути висока концентрація пилу та погані дисперсійні властивості.

Викиди пилу можна контролювати за допомогою витяжки, що відводить газу у систему зниження викидів, яка, з огляду на малі об'єми відповідних газів, зазвичай виконана у вигляді рукавного фільтра. Таке компонування забезпечує дуже малі рівні викидів пилу, а також дає змогу за необхідності видаляти викиди HF за допомогою мокрого очищення газів. Див. розділи 4.4.1.3 та 4.4.3.

Фактичні значення викидів, яких вдається досягти, дуже залежать від рецептури шихти, і, з огляду на низькі витрати відхідних газів, порівняння концентрацій викидів може бути оманливим. Проте можна дуже приблизно оцінити, що загальні безпосередні викиди зменшуються в 10 – 100 разів у порівнянні з традиційною повітряно-паливною піччю з аналогічним питомим зніманням скла. Деякі фактичні кількісні дані наведені у розділі 3.8.2.2 для установок виробництва мінеральної вати та в прикладах установок, представлених у цьому документі.

Міжсередовищні наслідки

Завдяки використанню електричного варіння скла безпосередні викиди з печі значно зменшуються, а термічний ККД такого процесу дуже високий. Проте, якщо розглянути загальні екологічні показники технології, вплив виробництва електроенергії на довкілля нівелює більшість її переваг. У рамках цього документа неможливо виконати повний кількісний аналіз. Екологічні питання, пов'язані з виробництвом електроенергії, дуже складні і широко різняться у межах ЄС та іноді між окремими установками.

Електроенергія може постачатися з загальнодержавної мережі або з місцевих або спеціально передбачених джерел постачання, і це може впливати як на вартість, так і на ефективність постачання. Якщо електроенергія надходить із загальнодержавної енергосистеми, вона може походити з великого розмаїття джерел. Електроенергія може вироблятися з вугілля, нафти, газу, на атомних і гідроелектростанціях та з інших відновлюваних джерел – з усіма цими способами пов'язані зовсім різні екологічні проблеми.

Різниця у термічному ККД процесів електричного варіння скла та варіння скла за рахунок спалювання викопного палива також зменшується, якщо враховується ККД виробництва електроенергії (первинна енергія).

Це, знову ж таки, дуже залежить від джерела електроенергії, проте для традиційної електростанції, що працює на викопному паливі, ККД перетворення первинного палива в електроенергію в місці її використання знаходиться в районі 30 – 35 %. Для газотурбінної установки, що працює на природному газі за комбінованим циклом, ця цифра буде ближчою до 50 %.

Опосередковані викиди CO₂ та NO_x пов'язані з виробництвом електроенергії, були оцінені для невеликої печі продуктивністю 20 тонн/добу, у якій виготовляється безсвинцеве кришталеве скло. У цьому конкретному випадку зниження викидів NO_x на 14 тонн/рік, досягнуте завдяки переходу з печі, що працювала на викопному паливі, на електричну скловарну піч, повністю нівелюється кількістю опосередкованих викидів, врахованих для виробництва електроенергії, що еквівалентно 15 – 16 тонн NO_x/рік 6 300 тонн опосередкованих викидів CO₂/рік. Так буває не завжди; для скловарних печей з

виробництва свинцевого кришталю нетто-викиди NO_x та CO_2 (опосередковані + безпосередні викиди) дещо менші у випадку електричної печі, ніж у випадку печі, що працює на викопному паливі, проте різниця між ними досить невелика. [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

З огляду на малі об'єми відхідних газів, характерні для цієї технології, вартість будь-якого обладнання для зниження викидів, що встановлюється після печі, значно зменшується, і невеликі об'єми зібраного пилю можна легко переробити. Малі втрати летких речовин також зменшують споживання сировини, а отже, знижують як викиди, так і витрати. Це особливо вигідно у випадку деяких порівняно дорогих та/або токсичних компонентів, таких як оксиди свинцю, фториди, сполуки миш'яку, тетраборат натрію, тощо.

Експлуатаційні параметри

У цілому, при електричному варінні скла виготовляється дуже однорідне високоякісне скло – зокрема, у випадку спеціальних видів скла, у яких рецептура шихти містить леткі компоненти. У деяких випадках виробництва сортового та спеціального скла це може бути однією з головних причин вибору електричного варіння скла.

Проте електричні печі з холодним склепінням мають менше експлуатаційне «вікно» тоннажу, ніж традиційні печі. Наприклад, електрична піч з холодним склепінням і потужністю 40 тонн/добу, як правило, добре працює в діапазоні продуктивності 36 – 44 тонн/добу. Якщо, з огляду на продуктивність конкретної машини, потрібен менший тоннаж, електричні печі важко контролювати, і необхідно підтримувати вище питоме зняття скла (влаштувати боковий злив); таким чином, буде варитися більше скла, ніж необхідно для потреб виробництва, і собівартість виробництва буде вищою. Традиційна піч потужністю 40 тонн/добу, навпаки, за потреби може працювати з продуктивністю 25 – 30 тонн/добу майже без проблем.

У скляній промисловості традиційно вважається, що в електричних печах з холодним склепінням потрібно використовувати нітрат натрію або нітрат калію, щоб створювати необхідні окисні умови для забезпечення стабільного, безпечного та ефективного виробничого процесу. Використання нітратів безпосередньо впливає на викиди NO_x , і, хоча вони необхідні не у всіх випадках, це може послабити деякі вигоди електричного варіння скла для навколишнього середовища. Використання нітратів у якості окиснювачів набуває все більшого значення у випадках, коли у скловарному агрегаті переробляються відходи, що містять органічні сполуки. Використання великих кількостей привізного скляного бою (або інших утилізованих матеріалів), може іноді призводити до проблем з неприємними запахами.

Основні переваги і недоліки застосування електричного варіння скла підсумовані у Таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Основні переваги і недоліки електричного варіння скла

Переваги
<ul style="list-style-type: none"> • Дуже малі безпосередні викиди • Потенційно можливе збільшення швидкості варіння скла на м^2 площі печі • Поліпшена безпосередня енергоефективність • У деяких випадках – менші витрати на сировину • У деяких випадках електричне варіння скла забезпечує вищу якість і більшу однорідність скла • Менші капітальні витрати і менша необхідна площа під піч • Потенційно простіша експлуатація
Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> • Високі експлуатаційні витрати • Менша тривалість кампанії • Наразі не рентабельно і недоцільно з технічної точки зору для виробництва скла у дуже великих масштабах • Менш гнучка технологія, не пристосована до великих коливань питомого знімання скломаси у випадку виробництва високоякісного скла • Екологічні наслідки, пов'язані з виробництвом електроенергії

Приклад установки наведено у Таблиці 4.3 для виробництва сортового скла – зокрема, кришталевого скла і свинцевого кришталю.

Таблиця 4.3. Приклад установки з застосуванням електричного варіння скла у секторі виробництва сортового скла (кришталеве скло і свинцевий кришталь)

Умови експлуатації		
	Піч 1	Піч 2
Тип печі	Електрична піч з холодним склепінням	Електрична піч з холодним склепінням
Вік печі	4 роки	7 років
Потужність	27 т/добу	15 т/добу (магнієве кришталеве скло) 20 т/добу (свинцеве кришталеве скло)
Середня продуктивність	25 т/добу (2006 рік)	15,8 т/добу (2005 рік)
Тип скла	Свинцеве кришталеве скло	Магнієве кришталеве скло, свинцевий кришталь
Скляний бій	Лише зворотний	Лише зворотний
Використання пилу з фільтрів	Так	Так
Питоме споживання енергії ⁽¹⁾	Варіння скла: 4,32 ГДж/тонну звареного скла	Варіння скла: 7,20 ГДж/тонну звареного скла
	Усього: 7,70 ГДж/тонну звареного скла; 15,4 ГДж/тонну готової продукції	Усього: 10,58 ГДж/тонну звареного скла; 21,16 ГДж/тонну готової продукції
Об'єм димових газів ⁽²⁾	15000 – 20000 м ³ н.у./год. (сухий газ за робочого вмісту O ₂)	15000 – 20000 м ³ н.у./год. (сухий газ за робочого вмісту O ₂)
Відповідні рівні викидів ⁽³⁾		
Тверді частки ⁽⁴⁾	2,8 мг/м ³ н.у.	
NO _x (нітрати у шихті) ⁽⁵⁾	420 – 560 мг/м ³ н.у. (8,1 кг/т)	340 – 460 мг/м ³ н.у. (10,4 кг/т)
SO ₂ ⁽⁵⁾	Не застосовно – у складі шихти немає сірки	
HCl ⁽⁵⁾	<3 мг/м ³ н.у.	
HF ⁽⁵⁾	<1 мг/м ³ н.у.	
Sb ⁽⁵⁾	У газоподібній формі <0,01 мг/м ³ н.у. У вигляді твердих часток <0,01 мг/м ³ н.у.	
Pb ⁽⁵⁾	У газоподібній формі <0,01 мг/м ³ н.у. (менше межі виявлення) У вигляді твердих часток 0,04 мг/м ³ н.у.	
⁽¹⁾ Повідомлені дані стосуються енергії в місці використання без приведення до первинної енергії. ⁽²⁾ Великі об'єми димових газів зумовлені максимізованим об'ємом повітря, відведеного витяжною системою. ⁽³⁾ Застосовуються такі заходи/технології зниження викидів: рукавний фільтр для кожної печі; пари від обробки скла на вході в лер (перехід свинцю у легкий стан) відводяться витяжною системою. ⁽⁴⁾ Середнє значення за трьома півгодинними безперервними вимірюваннями. ⁽⁵⁾ Однократні вимірювання кожні два роки (середні значення за півгодини). Джерело: [110, Австрія, Заводи з виробництва сортового скла, 2007]		

Застосовність

Електричне варіння скла може застосовуватися у багатьох областях скляної промисловості і використовується у кількох секторах, у тому числі в секторах виробництва високотемпературного ізоляційного волокна, мінеральної вати, спеціального скла, сортового скла і, меншою мірою, тарного скла – в основному для малих тоннажів при виробництві флаконної продукції. Обладнання для електричного варіння скла, вочевидь, можна встановити лише під час капітального ремонту печі. У секторах виробництва плоского скла та фрит не зареєстровано повномасштабних прикладів застосування електричного варіння скла. Ця технологія широко використовується у виробництві скла, яке містить високолеткі компоненти і створює забруднення (наприклад, свинцевого кришталю і матового скла), та продукції з великою доданою вартістю.

Ширший вжиток цієї технології обмежений експлуатаційними витратами та деякими технічними міркуваннями. Як було сказано вище, основним обмеженням є експлуатаційні витрати, які, залежно від ряду чинників, встановлюють максимальний граничний розмір печі, за якого вона буде рентабельною.

На час укладання цього документа (2010 рік) ця технологія не використовується у виробництві великих об'ємів скла (>300 тонн на добу) і тому не може вважатися повністю перевіреною ні технічно, ні економічно. Застосування електричного варіння скла у виробництві скловолокна з безперервних ниток наразі не вважається рентабельним і технічно доцільним, оскільки алюмоборосилікатне безлугове скло (скло Е), з якого часто виготовляється цей вид продукції, має малий вміст лугів, а відтак – дуже низьку електропровідність.

З 1989 по 2000 рік у Великій Британії експлуатувалася експериментальна технологічна лінія з виробництва флоат-скла, на якій використовувалася піч з електричним нагріванням. Цей завод був побудований для того, щоб продемонструвати принцип електричного варіння скла з холодним склепінням у виробництві флоат-скла. Завод успішно працював у цьому дослідно-промисловому масштабі і використовувався для виробництва ряду екзотичних видів скла, викиди від яких було б дуже важко контролювати у печі з традиційним спалюванням палива. Цей приклад застосування продемонстрував, що експлуатація повномасштабної технологічної лінії для виробництва флоат-скла (>500 тонн на добу) наразі нерентабельна через високі експлуатаційні витрати. Ця піч більше не експлуатується.

Економіка

Рентабельність електричного варіння скла залежить головним чином від різниці цін на електроенергію та викопні види палива. На час укладання цього документа (2010 рік) середня вартість електроенергії на одиницю енергії у 4 – 5 разів перевищувала вартість мазуту. Вартість електроенергії у різних країнах-членах ЄС може різнитися аж на 100 %, проте ціни на викопне паливо зазвичай не так сильно відрізняються. Ціни на паливо та розбіжності між ними розглядаються у розділі 4.4.3.1. Електричні печі мають дуже високий термічний ККД; вони загалом у 2 – 4 рази ефективніші, ніж повітряно-паливні печі. У цьому порівнянні великі енергоефективні печі знаходяться на нижній межі цього діапазону, а менші печі – на верхній межі.

Капітальні витрати для електричних печей значно нижчі, ніж для традиційних печей, і це заощадження, перераховане на річну основу, частково компенсує більші експлуатаційні витрати. Проте ці печі працюють з коротшими кампаніями, після чого вони потребують капітального чи поточного ремонту, тобто від 2 до 7 років у порівнянні з періодом від 10 до 20 років для традиційних печей. Електрична піч може бути більш конкурентоспроможною у діапазоні продуктивності від 10 до 50 тонн/добу через вищі питомі втрати тепла з повітряно-паливних печей.

Щодо витрат на електричне варіння скла у порівнянні з варінням скла на викопному паливі не можна зробити загального висновку; усі питання витрат повинні розглядатися для конкретного випадку, оскільки при цьому потрібно враховувати кілька параметрів (розташування, різні джерела енергії та ціни на енергію, потужність печі, гнучкість виробництва, термін служби печі, необхідна якість скла, стабільність процесу, тощо) – зокрема, при порівнянні всіх електричних печей з регенеративними, рекуперативними та киснево-паливними печами.

Наприклад, порівняння повністю електричної скловарної печі потужністю близько 30 тонн/добу у секторі виробництва столового посуду / кришталевого скла з рекуперативним скловарним агрегатом демонструє, що електрична піч потребує більших інвестиційних витрат близько 3 мільйонів євро через свій коротший термін служби, але менших експлуатаційних витрат (на 350 000 євро менше). У цьому конкретному випадку повідомляється про дещо менші витрати на тонну розплавленої скломаси.

З огляду на сучасну практику, розмір електричних печей, за якого вони будуть рентабельними, тобто потенційно можуть бути реальною альтернативою, пропонується визначати за такими дуже загальними орієнтовними критеріями (це правило неминуче матиме винятки через місцеві обставини):

- Печі з потужністю менше 75 тонн на добу загалом є рентабельними.
- Печі з потужністю в діапазоні 75 – 150 тонн на добу можуть бути рентабельними за певних обставин.
- Печі з потужністю понад 150 тонн на добу, як правило, навряд чи будуть рентабельними.

На фінансові міркування також можуть суттєво впливати чинники, характерні для конкретного об'єкта, у тому числі: поточна вартість енергії; вимоги до якості продукції, наявне виробниче місце, вартість альтернативних заходів зі зниження викидів, чинне законодавство; простота експлуатації та очікуваний експлуатаційний ресурс альтернативних печей.

У тих країнах-членах ЄС, де різниця між цінами на викопне паливо та електроенергію знаходиться на верхній межі вказаного діапазону, варіант електричного варіння скла може виявитися менш привабливим. У таких випадках це може призвести до того, що оператор замість електричного варіння скла вибере поєднання інших технологій.

При використанні електричних печей викиди CO₂, пов'язані з процесом варіння скла, будуть низькими, оскільки вони утворюються лише з компонентів шихти. Дозволи на викиди CO₂, необхідні для покриття викидів із печі (Європейські Директиви 2003/87/ЄС та 2009/29/ЄС, що встановлюють Схему торгівлі квотами на викиди для викидів парникових газів), навряд чи вплинуть на відповідні експлуатаційні витрати, проте потрібно враховувати їх опосередкований вплив на вартість електроенергії, оскільки виробник електроенергії несе витрати, пов'язані з отриманням квоти за Схемою торгівлі квотами на викиди в ЄС.

Те, чи будуть електричні печі вважатися більш ефективними «за вуглицем», залежить від джерела електроенергії.

У Таблиці 4.4 наведено приклад установки з зазначенням витрат на технологію електричного варіння скла, що застосовується для виробництва спеціального боросилікатного скла.

Таблиця 4.4. Приклад установки з застосуванням електричного варіння скла у секторі виробництва спеціального скла

Умови експлуатації		Піч 1	Піч 2	
Тип печі		Електрична піч	Електрична піч	
Планова кампанія		60 місяці	60 місяці	
Макс. температура склепіння		230 °С	230 °С	
Потужність		38 т/добу	48 т/добу	
Поточне питоме знімання скломаси		35 т/добу	45 т/добу	
Тип скла		Боросилікатне, біле	Боросилікатне, біле	
Скляний бій		70 %	70 %	
Питоме споживання енергії ⁽¹⁾		4,45 ГДж/тонну скла	3,91 ГДж/тонну скла	
Використання пилу з фільтрів		Ні	Ні	
Система контролю забруднення повітря і пов'язані з нею витрати ⁽²⁾			Піч 1 та піч 2	
Тип фільтра (два окремі фільтри)			Рукавний фільтр	
Температура перед фільтром			80 °С	
Сорбент			Са(ОН) ₂	
Кількість сорбенту			3 (кг/год.)	
Відфільтрований пил			Полігон для захоронення відходів	
Споживання енергії включно з вентилятором			20 (кВт·год./год.)	
Інвестиційні витрати / витрати на заміну (рукавний фільтр, вентилятор, трубопроводи)			440 000 євро	
Період амортизації			10 років	
Експлуатаційні витрати			50 000 євро	
Річні амортизаційні витрати			58 520 євро	
Загальні річні витрати			108 520 євро	
Розрахункові витрати на тонну скла			3,71 євро/т скла	
Відповідні рівні викидів				
	Піч 1		Піч 2	
	мг/м ³ н.у. ⁽³⁾	кг/т скла	мг/м ³ н.у. ⁽³⁾	кг/т скла
Тверді частки	1,2	0,0017	0,8	0,0008
NO _x ⁽⁴⁾	72	0,39	103	0,29
SO ₂	0,7	0,0037	4,7	0,013
HCl	5,1	0,028	22,0	0,061

⁽¹⁾ Повідомлені дані стосуються енергії в місці використання без приведення до первинної енергії.

⁽²⁾ Значення витрат вказані за рік встановлення системи контролю забруднення повітря і не обов'язково характеризують поточні витрати.

⁽³⁾ Концентрації вказані для вимірюваного вмісту кисню.

⁽⁴⁾ Викиди NO_x утворюються внаслідок використання нітратів у рецептурі шихти.

Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]

Рушій для впровадження

Термічний ККД електричної печі вищий, ніж для еквівалентної традиційної печі. Об'єми відхідних газів дуже низькі (лише газ, утворений внаслідок розкладання шихти). Використання електроенергії може бути більш вигідним на місцевому рівні у рамках політики щодо безвуглецевої енергетики.

Приклади заводів

Schott, Майнц, Німеччина – спеціальне скло.

British Gypsum Isover Ltd, Ранкорн, Велика Британія – скловата.

SGD, Мер-ле-Бен, Франція – тарне скло (флаконна продукція).

Bormioli Luigi, Парма, Італія – сортове скло.

Bormioli Rocco e Figlio, Бергантіно, Італія – тарне боросилікатне скло (флаконна продукція).

Довідкова література

[65, Торгова асоціація скляної промисловості «Скло для Європи» – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007], [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

4.2.2 Експлуатація і технічне обслуговування печей

Опис

Експлуатація і технічне обслуговування скловарної печі – це первинна технологія для мінімізації впливу на навколишнє середовище внаслідок старіння скловарної печі. Ця технологія зазвичай застосовується у регенеративних печах з довгим терміном служби, проте деякі з цих рекомендацій також можуть застосовуватися до інших печей.

Традиційні скловарні печі (печі, що працюють на паливі) можуть експлуатуватися протягом тривалого часу, і існує тенденція до все більшого подовження цього періоду; їх термін служби у середньому становить понад 12 років і в багатьох випадках – до 18 років. Протягом терміну служби печі її вогнетривкі компоненти зношуються і старіють, а вогнетривка конструкція зсувається (внаслідок розширення і звуження): це може призводити до втрат термічного ККД та енергоефективності, а також до появи тріщин у верхній будові печі. Тріщини можуть призводити до просочування в піч підсмоктаного повітря (залежно, наприклад, від тиску в печі).

Тому дуже важливо організувати постійний нагляд та моніторинг за піччю, аби гарантувати виконання необхідного технічного обслуговування для мінімізації наслідків старіння та оптимізації умов експлуатації печей та їх параметрів.

Найважливіші операції технічного обслуговування вогнетривких конструкцій полягають у наступному:

- забезпечити герметичність стінок печі та регенератора у кожен момент часу, аби у піч не просочувалося підсмоктане повітря;
- закрити та/або герметизувати всі отвори в печі (наприклад, оглядові отвори, інші отвори під зонди для моніторингу, завантажувальні кишені та блоки пальників), коли вони не використовуються;
- для покращення теплообміну у регенеративних печах – за необхідності чистити насадки регенераторів, і забезпечити належне технічне обслуговування теплообмінників у рекуперативних печах;
- тримати піч якомога краще ізольованою з урахуванням поточного стану печі.

Що стосується роботи печі, то її встановлені параметри необхідно підтримувати сталими залежно від процесу виробництва та первинних технологій, що використовуються, виконуючи, наприклад, такі регулювання:

- правильне розташування пальників та забезпечення їх герметичності відносно блоків пальників;
- контроль усталеного стану полум'я – наприклад, його довжини, яскравості та розподілу температур;
- контроль відношення «повітря-паливо».

Для досягнення найкращих результатів обов'язково забезпечити моніторинг та керування піччю. Для обладнання, що використовується, слід впровадити належну програму технічного обслуговування.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Найважливішими перевагами цієї технології є зниження споживання енергії та викидів NO_x . Ще однією перевагою може бути зниження викидів пилу шляхом зменшення його винесення за рахунок кращого розташування пальників і кращих умов горіння полум'я.

Якщо піч отримує належне технічне обслуговування, то збільшення споживання енергії внаслідок її старіння, за оцінками, може становити від 1,5 до 3 % на рік для регенеративних печей через зменшення дієвості ізоляції та зниження ефективності теплообміну. За неналежного технічного обслуговування це споживання енергії може значно збільшитися.

Підсмоктування повітря в піч призводить до зниження енергоефективності, оскільки це повітря не підігрівається, а також через зміну умов згорання. Крім того, додаткова кількість азоту, яка потрапляє у піч з повітрям, неконтрольовано збільшує інтенсивність утворення NO_x . Особливу увагу слід звертати на киснево-паливні печі, аби запобігти просочуванню в них повітря внаслідок поганого ущільнення печі та/або блоків пальників, що сприяє утворенню NO_x .

Окрім зниження викидів NO_x та споживання енергії, ця технологія здатна покращити продуктивність та якість скла, що виготовляється, оскільки вона здатна підвищити сталість процесу варіння скла. Інформація щодо оцінки цих вдосконалень поки що відсутня.

Загалом, якщо піч отримує належне технічне обслуговування, термін служби всіх її компонентів (наприклад, склепіння печі, палісаду, склепіння регенератора, насадок регенератора) збільшується.

Міжсередовищні наслідки

У результаті очищення насадок регенератора утворюється потік твердих відходів, який може бути забруднений вогнетривкими матеріалами та/або металами. У цьому випадку пил (головним чином сульфат натрію) неможливо повернути у скловарну піч для переробки, і тверді відходи потрібно буде захоронити.

Застосування заходів з контролю відношення «повітря/паливо» може призвести до появи значних концентрацій CO у регенераторах. Згорання палива у меншому об'ємі повітря, ніж передбачено стехіометричним відношенням, та сильно відновлювальна атмосфера димових газів (на яку вказують високі концентрації CO) можуть призвести до відкладення та конденсації у регенераторах агресивних солей, які можуть пошкодити вогнетривкий матеріал насадок регенераторів і, відповідно, зменшити експлуатаційний ресурс печі.

Експлуатаційні параметри

Належні практики експлуатації печі повинні передбачати моніторинг параметрів печі та закривання всіх отворів у печі. Графік моніторингу залежить від конкретної печі (наприклад, її типу, розміру, віку, ступеня зношування, типу насадок регенератора), типу скла, що вариться і виготовляється в печі, типу палива, що використовується (мазут або газ), тощо.

Графік моніторингу може бути, наприклад, таким:

- для потрапляння всередину підсмоктаного повітря (через отвори і тріщини): щоденний візуальний огляд і за потреби вживання заходів (з герметизації);
- для регенераторів: візуальні огляди, які повинні регулярно проводитися операторами заводу; очищення насадок регенераторів за необхідності.

Застосовність

Ця технологія може застосовуватися протягом терміну служби існуючих або нових печей. Вона корисніша для всіх киснево-паливних печей, рекуперативних і регенеративних печей. Можливість її застосування також можна розглянути для інших печей, проте у кожному випадку необхідно виконати оцінку для конкретної печі.

Багато сучасних компаній-виробників скла вже досягли вигід для навколишнього середовища та зниження споживання енергії за допомогою належного технічного обслуговування печі, експлуатаційних процедур та засобів керування.

Економіка

Витрати, пов'язані з застосуванням цієї технології, складаються з витрат на підготовку кваліфікованого персоналу для здійснення нагляду і технічного обслуговування, та на придбання необхідного обладнання, такого як камери і датчики для вимірювання вмісту кисню та температури. Якщо сульфатний пил вивозиться на полігон, це створює додаткові витрати.

Проте витрати на технічне обслуговування не зрівнюються з вигодами, отриманими за рахунок заощадження енергії, кращої якості продукції та більшої продуктивності.

Заощадження енергії, яких можна досягти, знижують витрати на придбання дозволів на викиди CO₂ у рамках Директиви щодо Схеми торгівлі квотами на викиди (ETS).

Рушій для впровадження

У кінці терміну служби печі може бути важче дотриматися вимог законодавства щодо викидів NO_x. Зростання цих викидів можна послабити лише шляхом підтримання печей у найкращому можливому стані.

Приклади заводів

Більшість великих компаній-виробників тарного скла, такі як Saint-Gobain, Owens-Illinois (O-I) та Ardagh Glass, застосовують цю технологію у своїх печах. Крім того, більшість компаній у секторі виробництва плоского скла (AGC, Pilkington NSG Group, Saint-Gobain) також застосовують цю технологію у своїх печах.

Посилання на літературу

[75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007], [78, ГОЛЛАНДСЬКІ киснево-паливні печі, 2007], [79, Нідерландська організація прикладних наукових досліджень (TNO) – Звіт Асоціації італійських технічних фахівців зі скла (ATIV) за 2005 рік, остаточна версія, 2005], [85, Іспанська настанова з НДТМ для скла, 2007]

4.3 Технології зберігання та транспортування матеріалів

З огляду на розмаїття скляної промисловості у ній використовується велике різноманіття сировини. Більшість цих матеріалів є твердими органічними сполуками – мінералами, що зустрічаються у природі, або фабричними продуктами. Вони різняться від дуже грубозернистих матеріалів до дрібнодисперсних порошків. У більшості секторів також використовуються рідини та, меншою мірою, газу.

4.3.1 Технології зберігання матеріалів

Насипні порошкові матеріали зберігаються у силосах, і викиди з них можна мінімізувати шляхом використання закритих силосів, які вентилуються з відведенням повітря у належне обладнання для зниження викидів пилу, таке як рукавні фільтри. У випадках, коли це доцільно, зібраний матеріал можна повертати у силос або переробляти у печі. Якщо у силосах немає потреби з огляду на об'єм матеріалу, що використовується, дрібнозернисті матеріали можна зберігати у закритих контейнерах або у запаяних мішках. Купи грубозернистих пиляких матеріалів можна зберігати під накриттям для запобігання викидам, що виникають внаслідок перенесення часток вітром.

Необхідно звернути увагу на зберігання привізного скляного бою, який є потенційним джерелом пилу, легких викидів і неприємних запахів, породжених органічними рештками, що містяться у вторинній сировині; втім, привізний скляний бій перед постачанням обробляється спеціалізованими компаніями з метою забезпечення його відповідності конкретним вимогам щодо якості. У випадках, коли пил є особливо значною проблемою, на деяких установках може бути необхідно використовувати підмітально-прибиральні машини та технології зволоження матеріалів водою. Летку сировину можна зберігати таким чином, щоб мінімізувати її викиди у повітря. Загалом у місцях безтарного зберігання слід підтримувати настільки низькі температури, наскільки це можливо, і слід враховувати зміни температур внаслідок нагрівання сонцем, тощо. Для матеріалів зі значним тиском парів або для пахучих речовин може бути необхідно застосовувати спеціальні технології для зниження викидів внаслідок дихання резервуарів або внаслідок витіснення парів під час переміщення рідини.

До заходів/технологій для зменшення втрат з баків для зберігання за атмосферного тиску належать такі заходи:

- фарбування баків фарбою з низькою здатністю до поглинання сонячного випромінювання;
- контроль температури;
- ізоляція баків;
- керування запасами;
- використання баків з плаваючим дахом;
- використання систем транспортування рідини з поверненням парів;
- використання баків з м'яким розширюваним дахом;
- використання клапанів регулювання тиску / вакуумних клапанів у випадках, коли баки повинні витримувати перепади тиску;
- вживання спеціальних заходів з видалення викидів – наприклад, адсорбції, абсорбції, конденсації;
- глибинне наливання.

Додаткова інформація щодо технологій зберігання матеріалів, які запобігають дифузії/леткі викиди та мінімізують їх, наведені у Довідковому документі з найкращих технологій та методів управління для викидів зі складів (документ BREF під кодом EFS) [121, Європейська комісія, 2006] (також див. розділ 3.2.2.1 у цьому документі BREF).

4.3.2 Технології транспортування матеріалів

Загальні технології, що використовуються для транспортування матеріалів, описані у розділі 2.1. У скляній промисловості існує дуже мало специфічних проблем, пов'язаних з викидами у повітря внаслідок транспортування матеріалів. Тому у цьому розділі лише підсумовані ті технології, які загалом складають належну практику транспортування цих типів матеріалів.

У випадках, коли матеріали транспортуються наземними конвеєрами, їх необхідно тим чи іншим чином обгородити для захисту від вітру, щоб запобігти значним втратам матеріалу. Ці системи можна спроектувати таким чином, щоб вони закривали конвеєр з усіх боків. У випадках, коли використовується пневматичне транспортування, важливо передбачити герметизовану систему з фільтром для очищення повітря, що використовувалося для транспортування, перед його викиданням. Для зниження викидів пилу під час транспортування та виведення дрібних часток з печі у шихті потрібно підтримувати певний відсоток води – зазвичай 0 – 4 %. У деяких процесах (наприклад, при виробництві боросилікатного скла) використовуються сухі компоненти шихти), і у випадках використання сухих матеріалів потенційно можливі більші викиди пилу, а отже, до таких процесів потрібно ставитися уважніше.

Пил, що уловлюється в системах очищення димових газів, загалом дуже дрібний і може містити значну кількість лужного реагенту, що не прореагував, який може мати корозійні та/або подразливі властивості. Тому такі матеріали може бути необхідно транспортувати і зберігати особливо обережно.

Однією з зон, у яких часто зустрічаються викиди пилу, є зона завантаження матеріалів у піч. Основні заходи/технології для контролю викидів у цій зоні перелічені нижче:

- Зволоження шихти.
- Створення невеликого від'ємного тиску у печі (може застосовуватися лише як невід'ємна умова роботи – зокрема, у скловарних печах для виготовлення фрит, див. розділ 2.11.2). Слід зазначити, що від'ємний тиск може погіршувати енергоефективність печі, оскільки він дозволяє холодному повітрю потрапляти в піч. На практиці у всіх скловарних печах зазвичай підтримується невеликий надлишковий тиск – близько 5 Па.
- Використання сировини, яка не призводить до розтріскування при обпалюванні (головним чином доломіт та вапняк). У цих явищах беруть участь матеріали, які «тріскаються» під дією тепла, і відтак потенційно можуть збільшувати викиди пилу.
- Влаштування витяжки, яка відводить гази у систему фільтрів (ця технологія поширена у скловарних агрегатах з холодним склепінням).
- Використання закритих шнекових живильників.

- Обгородження завантажувальних кишень (може бути необхідно забезпечити охолодження).

Викиди пилу можуть потрапляти безпосередньо у повітря або виникати у виробничих будівлях. У цих випадках пил може накопичуватися всередині будівлі і призводити до легких викидів внаслідок руху потоків повітря у будівлю та з будівлі. У зонах, які потенційно є дуже пилкими, таких як шихтоскладальні установки, будівлі можна проєктувати з мінімальною кількістю отворів і дверей, або ж за потреби можна влаштувати пилозахисні завіси. У будівлях, де встановлені печі, часто необхідно тією чи іншою мірою забезпечити природне охолодження, тож у таких будівлях влаштовують вентиляційні канали, тощо. Важливо забезпечити підтримання чистоти згідно з належними санітарно-гігієнічними нормами і переконатися, що всі засоби контролю викидів пилу (ущільнення, витяжка, тощо) функціонують належним чином.

На ділянках технологічного процесу, де з великою ймовірністю буде утворюватися пил, – наприклад, при відкриванні мішків, змішуванні шихти для фрит, утилізації пилу з рукавних фільтрів, – може бути влаштована витяжна система, яка відводить повітря до належної установки зниження викидів. Це може мати велике значення на невеликих установках, де операції транспортування частіше виконуються вручну. Усі ці технології особливо стосуються тих випадків, коли потрібно транспортувати і зберігати більш токсичні види сировини – наприклад, оксид свинцю і сполуки фтору (також див. розділ 3.2.2.1 та розділи, присвячені конкретним секторам, у частині 3).

Посилання на літературу

[121, Європейська комісія, 2006]

4.4 Технології контролю викидів у повітря від видів діяльності, пов'язаних з варінням скла

4.4.1 Тверді частки

У контексті цього документа термін «тверді частки» означає всі матеріали, які перебувають у твердій формі в точці їх вимірювання, а для викидів від видів діяльності, пов'язаних з варінням скла, вважаються синонімом терміна «пил». У тексті цієї частини обидва ці терміни взаємозамінні. Термін «загальний вміст твердих часток» означає всі неорганічні та органічні тверді речовини (без нижньої межі за розміром) та рідкі матеріали (краплі та аерозолі), які можуть бути присутні у димових газах. Для скловарних печей особливо важлива температура у точці вимірювання, оскільки деякі матеріали (особливо борати), з яких утворюється пил, можуть бути леткими за досить низьких температур. Крім того, з огляду на характер пилу у цих процесах його кількість дуже важко точно виміряти. Характер викидів пилу зі скловарних печей різний для різних процесів, проте залежить головним чином від конструкції та роботи печі і від складу скла.

Три головні джерела пилу при варінні скла такі:

- винесення матеріалу шихти;
- перехід речовин зі складу матеріалів шихти та скляного розплаву у леткий стан і їх вступання у реакції;
- домішки металів у паливі.

Додатковим джерелом викидів пилу, пов'язаних з процесом варіння скла, є тверді продукти хімічних реакцій між газоподібними забруднюючими речовинами та лужними реагентами, що використовуються для очищення відхідних газів.

У печах, що працюють на викопному паливі, переважна частка загальних викидів пилу припадає на перехід у леткий стан і наступне вступання у реакції / конденсацію летких матеріалів, що виділяються з поверхні гарячого скла. Загалом таким чином утворюється від 80 до 95 % викидів пилу. Тому важливо забезпечити, щоб перед очищенням чи вимірюванням відхідних газів усі леткі речовини сконденсувалися. Це не є проблемою для сульфату натрію (температура плавлення приблизно 884 °C), проте потребує розгляду для димових газів, які містять борати.

У сучасній печі, яка експлуатується належним чином, на винесення матеріалів шихти зазвичай припадає менш ніж 5 % остаточних викидів з печі. Цей пил складається з компонентів шихти, серед яких переважають найлегші матеріали.

Домішки металів у паливі (ванадій і нікель) також роблять свій внесок у викиди пилу, проте їх вміст зазвичай значно менший, ніж 5 % від загальної кількості пилу. Ці домішки надходять головним чином з мазутом, з якого у загальну масу пилу також може потрапляти невелика кількість золи. Домішки металів також трапляються у скляному бої та інших видах сировини.

Механізм переходу матеріалу у леткий стан та утворення твердих часток не зрозумілий повністю для всіх типів скла. Зокрема, для димових газів з великим вмістом SO_2 (з мазутних печей) механізм утворення часток за температур нижче 400°C доволі складний: при цьому можуть утворюватися різні сполуки (гідросульфат натрію (NaHSO_4), піросульфат натрію ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$) та сірчана кислота (H_2SO_4)), котрі, якщо їх не врахувати, можуть значно погіршувати надійність вимірювання концентрацій твердих часток. Приблизно 90 % всього скла, що виготовляється в ЄС, – це вапняно-натрієве скло, і найбільше інформації доступно саме для цих складів скла. Пил з печей, у яких виготовляється вапняно-натрієве скло, складається переважно з сульфату натрію. До 98 % пилу становлять розчинні матеріали; з них 80 – 90 % становить сульфат натрію. Решта залежить від точного складу скла, проте містить головним чином сульфати, зокрема, сульфат калію (K_2SO_4). Нерозчинна фракція містить головним чином кремнезем і, у меншій кількості, метали (наприклад, Al, Fe, та Cr). У разі використання привізного скляного бою пил може містити інші компоненти (наприклад, Pb). Діаметр часток зазвичай знаходиться в межах від 0,02 до 1 мкм, проте маленькі частки легко злипаються у більші частки. Нещодавні дослідження показали, що тверда речовина у викидах з печі для виробництва плоского скла складається з часток діаметром від 0,02 до 2 мкм, з середнім діаметром 1,3 мкм, як в неочищених, так і в очищених газах (див. журнал *Glass International* за вересень 2009 року – «Діапазон розмірів часток у відхідних газах печей для виробництва плоского скла» (Particle size range in the waste gas of flat glass furnaces)) [178, Журнал *Glass International* за вересень, 2009]. Можна виокремити ряд різних процесів переходу в леткий стан, які розглядаються у наведеному далі розділі 4.4.1.1.

Для видів скла, які містять у своєму складі значну кількість бору, – наприклад, для скловолокна з безперервних ниток, скловати та боросилікатного скла, – головним компонентом пилу, що викидається, є борати. Решта пилу складається з сульфатів, кремнезему та інших сполук (наприклад, доломіту, вапна), залежно від компонентів шихти і домішок).

Оскільки склад шихти може дуже різнитися для різних типів скла, результуючі викиди пилу також різноманітні і утворюються за різними механізмами. Основними сполуками бору, що випаровуються зі скляних розплавів, є метаборат натрію (NaBO_2), метаборат калію (KBO_2) та метаборна кислота (HBO_2).

У виробництві скловати шихта містить велику кількість оксиду бору, проте у ній також великий вміст оксиду натрію, який при плавленні випаровується і потім утворює твердий метаборат натрію (NaBO_2) за температур нижче 900°C і аж до $650 - 700^\circ\text{C}$. Невелика кількість бору викидається у газоподібній формі, головним чином у вигляді метаборної кислоти (HBO_2). Хімічний склад пилу головним чином представлений боратами лужних металів та, у менших кількостях, борною кислотою.

Для інших типів скла, які містять бор, ситуація інша. Для борних видів скла з низькою лужністю (наприклад, алюмоборосилікатне безлугове скло (скло Е), яке містить бор, у виробництві скловолокна з безперервних ниток), низька концентрація оксидів лугів (зазвичай близько 1 % за масою) впливає на механізм утворення пилу, призводячи до того, що в ньому переважає випаровування метаборної кислоти (HBO_2). Під час охолодження димових газів, коли майже весь натрій і калій конденсується з утворенням сульфатів (внаслідок присутності SO_2 , який утворюється при варінні скляного розплаву з сульфатом натрію) та, меншою мірою, боратів лужних металів, газоподібні сполуки бору можуть вступати у реакції з утворенням інших речовин, таких як борна кислота (H_3BO_3): $\text{HBO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3$ [167, Ганс ван Лімпт (Hans van Limpt) (Нідерландська організація прикладних наукових досліджень – TNO), 2007]. Борна і метаборна кислоти конденсуються за низьких температур і можуть все ще бути присутніми (зокрема, борна кислота) у газоподібній формі в димових газах за температур фільтрування. У цьому

випадку більшість сполук борної кислоти будуть присутні в димових газах у вигляді газоподібних сполук за температур нижче 200 °С і аж до 60 °С.

У випадку боросилікатних видів скла механізм утворення пилу сильно впливає на здатність фільтрувальних систем видаляти сполуки бору, присутні в димових газах. Для захоплення газоподібних сполук бору вкрай велике значення має склад відхідних газів, робоча температура системи фільтрів, тип абсорбенту і точка вприскування перед системою фільтрів.

У багатьох випадках, коли в димових газах скловарної печі присутні газоподібні сполуки бору, вміст твердих часток (його виміряне значення) дуже залежить від застосованого методу вимірювання та від температури відхідних газів у точці відбору проби. Тому, щоб розрізнити сполуки бору, присутні в димових газах у вигляді твердих часток та в газоподібній формі, потрібно застосовувати спеціальну процедуру вимірювання (див. Розділ 8.3.2).

На час укладання цього документа (2010 рік) провадиться і заплановано кілька дослідницьких робіт щодо зниження вмісту газоподібних сполук бору в димових газах при виробництві боросилікатного скла.

У свинцевому склі (склі для телевізорів та кришталевому склі) перехід свинцю у леткий стан призводить до утворення оксиду свинцю та іноді конденсатів сульфату свинцю.

У електричних скловарних агрегатах з холодним склепінням викиди пилу набагато менші і виникають майже виключно внаслідок винесення матеріалу шихти. Відсутність високотемпературної атмосфери згорання палива унеможливує утворення твердих часток шляхом реактивного переходу в леткий стан.

У вагранках для виробництва кам'яної вати викиди пилу є поєднанням пилу сировини, продуктів згорання та сконденсованих летких речовин, що виділилися під час варіння скла.

Викиди в повітря металів у процесах виготовлення скла великою мірою містяться у твердих частках. Тому метали не розглядаються в цій частині окремо, а обговорюються у контексті викидів пилу з посиланнями, де це доцільно, на інші розділи. Проте за деяких обставин можливі значні газоподібні викиди металів – наприклад, селену з бронзового або знебарвленого скла, свинцю з деяких процесів виробництва свинцевого кришталю або спеціального скла чи з домішок, що містяться у привізному скляному бої (зокрема, свинцю – див. нижче).

Основними джерелами металів є домішки, що містяться у сировині, скляному бої та паливі, і використання у рецептурі шихти спеціальних речовин та добавок для надання продукції певних властивостей (наприклад, оксидів свинцю та барвників/знебарвлювачів). Привізний скляний бій є важливим джерелом забруднення металами – головним чином свинцю (бій тарного скла привносить забруднення з попередньої продукції, що була виготовлена із свинцевого скла, яке регламентується Законодавством ЄС щодо упаковки та відходів упаковки – Директивою 94/62 з середнім значенням попередження у 200 млн.⁻¹), проте також і інших металів; наприклад, якщо скляний бій містить трубки ртутних ламп, можливе забруднення ртуттю). Інформація про рівні викидів металів наведена у розділах, присвячених конкретним секторам, у частині 3 та в Таблиці 3.5.

Існує три основні підходи до контролю викидів металів у складі пилу або у вигляді газоподібних компонентів.

1. Вибір сировини для мінімізації забруднення та, коли це можливо, використання альтернативних добавок. Вибір сировини передбачає, зокрема, встановлення технічних вимог до якості скляного бою. У випадках, коли через обмежену доступність привізного скляного бою використовується лише зворотний скляний бій, викиди металів може бути набагато легше контролювати.
2. Технології зниження викидів пилу – зокрема, системи рукавних фільтрів та електростатичні фільтри. У випадках, коли викиди містять значні концентрації металів – до 70 – 80 % загальної кількості пилу (тобто у разі виробництва свинцевого кришталю), високоефективні системи зниження викидів пилу можуть загалом знижувати як викиди пилу, так і викиди металів.

3. Газоподібні викиди металів (наприклад, селену) можна суттєво знизити шляхом використання технологій сухого або напівсухого очищення газів у поєднанні зі зниженням викидів пилу (див. розділ 4.4.3.3).

У деяких випадках, особливо в Німеччині, головним рушійним чинником для встановлення систем зниження викидів у поєднанні з сухим або напівсухим очищенням газів стало зниження викидів металів.

При визначенні НДТМ для знепилення у скловарних печах враховуються такі чинники:

- вплив пилу на навколишнє середовище;
- первинні та вторинні технології зниження викидів, пов'язані з НДТМ;
- економія за рахунок збільшення масштабу і питання витрат.

Вплив пилу на навколишнє середовище

Значимими аспектами викидів пилу з екологічної точки зору є викиди пилу у цілому, потенційні викиди (важких) металів та викиди дрібнодисперсних твердих часток.

Як було сказано вище, у вапняно-натрієвих видах скла основним компонентом пилу є сульфат натрію (до 95 %). Сульфат натрію сам по собі не вважається шкідливим [68, Оновлені дані про сортове скло, 2007], [168, CPIV – Оцінка ризиків для здоров'я, 2009]. Проте викиди часток діаметром менше 10 мкм (PM₁₀) та менше 2,5 мкм (PM_{2.5}), з яких зазвичай і складаються викиди зі скловарних печей, потенційно можуть призводити до проблем зі здоров'ям і завдавати шкоди навколишньому середовищу, і тому на них усе частіше звертають увагу органи, які формують політику у сфері охорони навколишнього середовища.

У твердих частках, що викидаються зі скловарних печей, також можуть зустрічатися кільках видів металів. Основними проблемними компонентами є селен (Se), свинець (Pb), хром (Cr), мідь (Cu), ванадій (V), нікель (Ni), сурма (Sb), миш'як (As), кадмій (Cd), цинк (Zn) та марганець (Mn). Викиди цих компонентів суттєво залежать від кількості та якості утилізованого скла (скляного бою), що використовується, від того, чи використовується мазут, та від додавання металів у рецептуру шихти для забарвлення та/або знебарвлення скла.

Останнім питанням для розгляду є потенційна конденсація газоподібних компонентів після димової труби, яка особливо характерна для виробництва видів скла, що містять бор, коли частина газоподібних сполук бору може проходить крізь обладнання для зниження викидів пилу і конденсуватися після викидання в атмосферу.

Первинні та вторинні технології зниження викидів, пов'язані з НДТМ

Доступні первинні та вторинні технології для зниження викидів пилу зі скловарних печей описані у розділах 4.4.1.1 – 4.4.1.6

У скляній промисловості широко застосовуються вторинні технології зниження викидів (наприклад, електростатичні фільтри і рукавні фільтри), і у деяких країнах-членах ЄС 100 % печей оснащені вторинними системами для зниження викидів пилу. З огляду на те, що існує потреба у зниженні викидів дрібнодисперсних твердих часток, кислотних компонентів та (важких) металів, застосування вторинних заходів на сьогодні є найкращим варіантом боротьби з викидами у повітря. З іншого боку, реалізація вторинних заходів пов'язана зі значними фінансовими витратами і з певними витратами на охорону навколишнього середовища.

У цілому, позитивні риси первинних технологій затьмарюються у технічному сенсі набагато кращими робочими показниками вторинних технологій зниження викидів і відсутністю перспектив досягнення таких низьких значень за допомогою первинних технологій у найближчому майбутньому. Крім того, використання виключно первинних технологій для зниження викидів пилу може обмежити гнучкість умов експлуатації печі з точки зору якості матеріалів, що завантажуються в піч (низький вміст домішок: фторидів, хлоридів, важких металів), типу палива (низький вміст сірки і важких металів) та змін у продукції (забарвлене або знебарвлене скло).

Економія за рахунок збільшення масштабу і питання витрат

У цілому, вторинні технології зниження викидів пилу у скляній промисловості вважаються досяжними, технічно доцільними і, у переважній більшості випадків, рентабельними.

Проте, як і для будь-якої вторинної технології, важливим аспектом є економія за рахунок збільшення масштабу. Це означає, що для невеликих печей (зокрема, для малих або дуже малих печей потужністю менше 80 тонн/добу у виробництві столового посуду (сортового скла), у яких виготовляється високоякісний вапняно-натрієвий скляний посуд з дуже низьким вмістом металів у викидах) відносні витрати (витрати на м³ н.у. очищених димових газів або на тонну звареного скла) загалом вищі, ніж для великих печей (див. Таблиці 8.3 та 8.4 у розділі 8.1.7). Ці витрати залежать від конкретного випадку застосування і особливо від об'єму відхідних газів. Питомі витрати на тонну звареного скла можуть значно різнитися залежно від типу скла, що виготовляється, та розміру печі. Економію за рахунок збільшення масштабу можна враховувати при визначенні НДТМ на загальному рівні разом з вигодами для навколишнього середовища: видалення дрібнодисперсних твердих часток, металів (якщо вони присутні) та очищення кислотних газів (якщо вони присутні) та усунення міжсередовищних наслідків, зумовлених утворенням відходів (якщо їх неможливо переробити), споживання енергії та опосередковані викиди за рахунок використання електроенергії та лужних реагентів.

4.4.1.1 Первинні технології

[19, CPIV, 1998], [31, CPIV, 1998]

Опис

Скловарна піч – це дуже динамічне середовище, і будь-які зміни у хімічному середовищі або умовах роботи можуть мати закономірні наслідки у межах процесу варіння скла та впливати на інші викиди. Тому всі первинні технології, описані у цьому документі, важливо розглядати як комплекс технологій, а не просто як окремі технології. Втім, для зрозумілості технології обов'язково були описані окремо, проте для них, коли це було можливо, були описані їх закономірні наслідки. Низький рівень викидів внаслідок винесення матеріалів досягається шляхом підтримання вмісту вологи у сировині та контролю покриття розплаву шаром шихти, розміру часток, швидкості руху газу та розташування пальників. У тих процесах, для яких потрібні сухі матеріали шихти та/або дуже дрібнозернисті матеріали шихти, викиди пилу внаслідок винесення матеріалу можуть бути дещо вищими.

Проте їх внесок у загальну кількість викидів залишається незначним у порівнянні з внеском летких сполук. Питання, пов'язані з утворенням пилу при завантаженні матеріалу, розглядаються у наведеному вище розділі 4.3.

Оскільки викиди пилу утворюються головним чином з летких сполук, первинні технології зниження викидів, які тут розглядаються, зосереджуються на цьому джерелі. За результатами аналізу пилу, що викидається з печей для виробництва вапняно-натрієвого скла, можна зробити висновок, що сполуки натрію є головними компонентами, які призводять до появи пилу в димових газах. Леткі сполуки з шихти (наприклад, NaCl) та з розплаву (наприклад, NaOH) реагують з оксидами сірки, утворюючи сульфат натрію (Na₂SO₄), який конденсується у димових газах за температур нижче 1100 °С. У більшості випадків сульфат натрію використовується як освітлювач. Дисоціація сульфату натрію у розплавленій скломасі призводить до появи концентрацій оксиду сірки, які значно перевищують концентрації сполук натрію у камері згорання та у димових газах. Що стосується утворення Na₂SO₄, то оксиди сірки, утворені в результаті згорання палива або з сульфатів у шихті, присутні у надлишку порівняно зі стехіометричним відношенням їх вмісту до вмісту натрію, який перейшов у леткий стан, що є визначальним параметром при утворенні пилу. Основними джерелами натрію є скляний бій або кальцинована сода і, меншою мірою, сульфат натрію. Проте використання великої кількості сульфату натрію у рецептурі шихти призводить до збільшення викидів пилу.

У газах з дуже малим вмістом сірки частки хлориду натрію, фториду натрію, карбонату натрію та гідроксиду натрію можуть утворюватися під час охолодження димових газів нижче 900 °С. Це явище рідкісне і може траплятися лише тоді, коли використовується природний газ, і коли замість сульфату натрію використовується інший освітлювач, як-от

сурма. Це ніколи не спостерігається при виробництві тарного або плоского скла, проте може траплятися у випадках виготовлення спеціального скла.

Для вапняно-натрієвого скла можна виокремити ряд різних процесів переходу в леткий стан.

- Реактивний перехід у леткий стан з поверхні розплавленої скломаси. Оксид натрію (Na_2O) у силікатному розплаві реагує на поверхні з водяною парою: Na_2O (розплав) + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH}$ (газ). Цей тип переходу в леткий стан може бути головним джерелом викидів пилу у печах для виробництва вапняно-натрієвого скла.
- Перехід у леткий стан NaCl , присутнього у якості домішки в синтетичній соді. Цей тип переходу в леткий стан призводить до утворення не лише пилу з сульфату натрію, а й HCl .
- Перехід у леткий стан сульфату натрію з поверхні розплавленої скломаси.
- Реактивний перехід у леткий стан внаслідок хімічних реакцій з компонентами, присутніми в атмосфері печі, на поверхні шару шихти. Водяна пара у камері згорання вважається важливим компонентом, з яким реагує кальцинована сода, утворюючи пари гідроксиду натрію; аналогічні реакції також протікають для сполук калію: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH}$ (газ) + CO_2 .
- Перехід у леткий стан компонентів сировини (наприклад, піску, польових шпатів, вапна, кальцинованої соди, доломіту та сульфату натрію) з поверхні шару шихти загалом дуже слабкий. Тиски парів набагато дуже низькі за температур нижче 1200°C та вище 1000°C , а окремі компоненти вже прореагували з утворенням силікатів.
- Перехід у леткий стан сполук натрію в бульбашках газу під час процесу випалювання також має порівняно мале значення.
- У випадку переробки привізного скляного бою – тобто у печах для виробництва тарного скла, – можливі викиди сполук свинцю (PbO , PbCO_3 , PbSO_4), оскільки у скляному бої присутні такі забруднювачі, як свинцеве скло, осколки дзеркал і металевий свинець. Це не стосується вапняно-натрієвого скла у секторі сортового скла, де, з огляду на вимоги до якості, зазвичай використовується лише зворотний скляний бій. У цих випадках частка скляного бою, що використовується в рецептурі шихти, залежить від конкретного процесу і може бути обмежена.

Для інших типів скла ситуація інша. Як уже пояснювалося у розділі 4.4.1, для борних видів скла з низькою лужністю, реактивний перехід у леткий стан вважається основним джерелом твердих часток. Склад пилу, що викидається, значно різниться залежно від лужності рецептури шихти та освітлювача.

Утворення пилу внаслідок переходу в леткий стан дуже легко протікає у виробництві скла, яке містить бор, і концентрація викидів, якщо засоби їх зниження не застосовуються, загалом вищі, ніж для вапняно-натрієвого скла. У деяких випадках вони більші ніж у десять разів вищі.

Типи механізмів переходу у леткий стан, описані для вапняно-натрієвого скла, є загальним принципом переходу в леткий стан для більшості інших типів скла, проте, звісно, існують відмінності, що залежать від хімічного складу.

Найважливішими чинниками, що впливають на перехід у леткий стан, є температура, вміст водяної пари в атмосфері печі, відновлювальні гази над самою поверхнею розплаву або шару шихти та швидкості газів на поверхні розплаву. Також важливим чинником є наявність реактивних сполук, особливо натрію та сульфатів у вапняно-натрієвому склі та бору у борному склі. Проте цей чинник часто обмежений хімічним складом скла.

Особлива ситуація виникає, коли у процесі варіння скла застосовується киснево-паливне згорання. Знижений об'єм димових газів, у поєднанні з нижчими швидкостями димових газів та суттєво відмінним складом газоподібних продуктів згорання, що контактують зі скляним розплавом (значно вища концентрація водяної пари та CO_2), впливає на процеси переходу в леткий стан і зазвичай призводить до появи вищих концентрацій сполук, що випарувалися, і створення більш агресивної пічної атмосфери; проте загальні викиди пилу у кг/тонну скла часто зменшуються, хоча цей ефект дуже залежить від конструкції печі, типу і розташування пальників.

Найважливіші первинні заходи, яких можна вжити для зниження викидів пилу, окреслені нижче.

а. Модифікації сировини

Хлорид натрію може бути суттєвим чинником у викидах пилу та хлоридів. Він використовується у деяких видах спеціального скла як освітлювач, проте частіше зустрічається в невеликих кількостях як домішка у кальцинованій соді, виготовленій за методом Сольве. Тиск з боку скляної промисловості змусив виробників кальцинованої соди значно знизити вміст NaCl (зараз він становить приблизно 1 кг/тонну).

Для подальшого значного зниження його вмісту у найближчій перспективі знадобиться, імовірно, додаткова обробка, а це призведе до збільшення ціни. Також доступна природна кальцинована сода, яка практично не містить NaCl, проте у ЄС цей матеріал загалом більш дорогий з огляду на митні збори та витрати на транспортування з країн її походження. Природна кальцинована сода в основному постачається зі США.

У більшості печей вміст сульфатів у шихті було знижено до мінімуму, адекватного якісному освітленню та підтриманню належного ступеня окиснення скла. Альтернативи сульфату натрію – наприклад, освітлювачі на основі миш'яку та сурми – можуть становити серйознішу проблему для навколишнього середовища. Від подальшого прогресу у цій сфері не очікується суттєвого зниження викидів. Обмежувальним чинником вважається концентрація парів, що містять натрій, проте у газових печах дуже низькі концентрації сульфатів будуть обмежувати реакцію у газовій фазі.

У випадку скла, що містить бор, бор вкрай важливий для формування продукції та забезпечення характеристик продукції. За останні роки рівні бору були суттєво зменшені, проте у цьому питанні стає все важче досягти подальшого прогресу без погіршення продуктивності, споживання енергії та якості. Боровмісні матеріали порівняно дорогі, і при їх виготовленні докладають усіх зусиль, щоб зменшити споживання ресурсів. На час укладання цього документа не існувало переконливих альтернатив, і багато операторів, зіткнувшись з цими труднощами, були змушені встановити обладнання для вторинних технологій зниження викидів – особливо у печах для виготовлення скловати та боросилікатного скла. Видалений з викидів пил зазвичай переробляється у печі.

Ряд компаній у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток розробили рецептури скла, які містять малу кількість бору та фтору або містять ці елементи лише за рахунок їх слідових кількостей у сировині. Повідомлялося про викиди твердих часток менше 0,14 кг/тонну звареного скла – для порівняння, у випадку використання боровмісних рецептур без застосування первинних заходів ці значення становлять близько 2 кг/тонну звареного скла, і це ілюструє велике значення бору для утворення пилу. Цей тип скла потребує вищої температури варіння, з нього важче утворити волокно, і ще належить визначити його довготерміновий вплив на термін служби вогнетривких конструкцій. Подробиці цієї технології є закритою інформацією компаній, тому, хоча ця технологія надзвичайно перспективна, її поки що не можна вважати загальнодоступною. Різні компанії досягли різного прогресу у цьому питанні, проте кілька цих рецептур зараз доступні для збуту на ринку.

б. Зниження температури на поверхні розплаву

Температура на поверхні скляного розплаву є важливим чинником утворення твердих часток, оскільки за вищих температур утворюється більше легких сполук. У печах для виробництва вапняно-натрієвого скла було встановлено взаємозв'язок між температурою склепіння, температурою поверхні скляного розплаву та утворенням часток. Зниження температури печі має бути урівноважене з якістю скла, продуктивністю печі та іншими екологічними аспектами, такими як концентрація NO_x у димових газах. Для зниження викидів пилу на тонну скла найбільш ефективними є заходи, які покращують енергоефективність і особливо теплопередачу до скла. Основні моменти наведені нижче.

- Конструкція та геометрія печі для інтенсифікації конвективних течій та покращення теплообміну. Ці модифікації можна реалізувати лише під час капітального ремонту печі. Великі печі загалом більш енергоефективні, і це також призводить до менших викидів на тонну скла.
- Використання електричного форсування, яке допомагає зменшити температуру склепіння шляхом підведення енергії безпосередньо у розплав та інтенсифікації

конвективних течій. Велике значення має розташування електродів, проте його важко змінити, окрім як під час капітального ремонту печі. Використання електричного форсування зазвичай обмежене вартістю електроенергії.

- Використання більшої кількості скляного бою, що зменшить потребу в енергії для варіння скла, і відтак дасть змогу працювати за нижчої температури та з меншим споживанням палива. Крім того, оскільки скляний бій вже був розплавлений, його використання сприяє зменшенню вмісту деяких летких і реактивних сполук, які сприяють утворенню пилу, – наприклад, хлориду натрію та сульфатів із шихти. Це особливо помітно у печах, що працюють на мазуті або на змішаному газо-мазутному паливі, у яких зменшення потреби в паливі завдяки використанню скляного бою знижує рівні SO_2 . Використання скляного бою обмежене доступністю скляного бою належної якості, складу та за доступною ціною. Наприклад, у печах для виробництва тарного скла використовується 5 – 95 % скляного бою (зворотного та привізного), у печах для виробництва вапняно-натрієвого сортового скла та плоского скла загалом використовується 10 – 40 % скляного бою (зазвичай лише зворотного), а у печах для виробництва скловолокна з безперервних ниток скляний бій взагалі використовується рідко.

с. Розташування пальників

Ще одним важливим чинником, що впливає на інтенсивність переходу в леткий стан із розплаву, є ступінь заміни газів над розплавом. Висока швидкість газів або їх висока турбулентність на поверхні розплаву збільшує інтенсивність переходу в леткий стан із розплаву. Було досягнуто прогресу у розташуванні пальників таким чином, аби оптимізувати швидкість та напрямок руху повітря, що подається для згорання, та швидкості і напрямку руху палива. Також провадиться подальша робота, яка передбачає поєднання цих змін з модифікаціями печі для зниження швидкості руху димових газів над скляним розплавом і шаром шихти з послабленням ефекту відведення летких сполук з рецептури шихти. Зміни, що передбачають модифікацію конструкції печі, яку можна виконати лише під час капітального ремонту печі, та інші зміни іноді найбільш ефективні тоді, коли вони впроваджуються разом з реконструкцією печі. При зміні положення пальників важливо уникати контакту відновлювального полум'я з розплавом, оскільки це збільшує викиди пилу та сприяє агресивному впливу на вогнетривкі матеріали верхньої будови печі, і може впливати на якість скла.

д. Перехід на спалювання газу (або мазутів з дуже низьким вмістом сірки)

Перехід зі спалювання мазуту на спалювання природного газу може значно знизити викиди пилу. Це зумовлено, імовірно, певними реакціями конденсаціями твердих часток, які не протікають у разі спалювання мазуту, проте протікають при спалюванні газу, хоча у деяких випадках впливовим чинником також може бути зниження рівнів SO_x .

Наприклад, з сектора виробництва плоского скла повідомлялося про зниження викидів пилу на більш ніж 25 % при переході з мазуту на спалювання газу. З сектора виробництва плоского скла також повідомлялося про значний вплив зниження вмісту сірки у мазуті (зниження викидів пилу на 20 мг/м^3 н.у. на кожен 1 % зниження вмісту сірки в мазуті). Подібний ефект спостерігався при виробництві сортового скла на мазуті з низьким вмістом сірки (<1 %). Перехід на спалювання природного газу детальніше розглядається у розділі 4.4.3.1. Основні моменти підсумовані нижче:

- більшість заводів уже мають обладнання для використання обох видів палива; хоча деякі з них можуть не мати доступу до джерел постачання природного газу або мазуту;
- вартість реалізації технології залежить головним чином від поточних цін на паливо;
- нижчий коефіцієнт тепловіддачі газового полум'я у порівнянні з мазутним полум'ям знижує теплопередачу до розплаву і може призвести до збільшення споживання енергії;
- спалювання природного газу може призвести до більших викидів NO_x у порівнянні зі спалюванням мазуту;
- у деяких випадках спалювання змішаного палива, коли обидва типи палива одночасно спалюються в одній печі, це дає змогу зменшити викиди пилу без помітного збільшення споживання енергії пичю та викидів NO_x .

е. Інші технології

Викиди з електричних печей із холодним склепінням можна мінімізувати шляхом зниження витрат повітря та турбулентності під час подавання повітря в піч та шляхом оптимізації розмірів зерен та вмісту вологи у сировині. У вагранках для виробництва кам'яної вати рідко реалізуються первинні заходи зі зниження викидів пилу, за винятком брикетування відходів виробництва, що додаються у рецептуру шихти. Основним заходом, якого можна було б вжити, є промивання сировини для видалення пилу. Проте більшість вагранок обладнані рукавними фільтрами, тому немає особливих стимулів до застосування додаткових первинних заходів, оскільки вони навряд чи змінять потребу у вторинних заходах.

Основні переваги та недоліки первинних технологій для зниження викидів пилу наведені у Таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. Основні переваги та недоліки первинних технологій для зниження викидів пилу

<u>Переваги</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Низька вартість • Орієнтовані на запобігання викидам, а не на їх зниження • Технології не передбачають споживання або потенційного утворення твердих відходів, які можуть утворюватися внаслідок роботи вторинних технологій
<u>Недоліки</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Первинні заходи/технології загалом не дозволяють досягти тих рівнів викидів, яких можна досягти за допомогою вторинних технологій, таких як електростатичні фільтри • Первинні заходи/технології накладають додаткові експлуатаційні обмеження на технологічний процес

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Рівні викидів, які досягаються за допомогою первинних технологій, важко кількісно оцінити через широкий спектр чинників, які впливають на результати, і велике розмаїття типів печей та рецептур скла.

Серед печей, у яких горить полум'я, найнижчих рівнів викидів за допомогою лише первинних технологій зниження викидів можна досягти у печах, які виготовляють вапняно-натрієве скло. Середні масові викиди становлять близько 0,4 кг/тонну звареного скла, і більшість концентрацій викидів знаходяться в межах 100 – 300 мг/м³ н.у. Існують деякі печі, у яких можна досягти рівнів викидів нижче 100 мг/м³ н.у. для пилу, проте це рідкість.

На час укладання цього документа рівні викидів пилу нижче 100 мг/м³ н.у. без вторинних засобів зниження викидів досягалися мало на яких заводах, і наразі досяжним рівнем викидів за допомогою лише первинних заходів вважається 100 – 200 мг/м³ н.у. ($\leq 0,4$ кг/тонну скла).

Для інших складів скла, відмінних від вапняно-натрієвого скла, таких цифр навряд чи вдається досягти. Для інших складів загалом очікується, що оптимізація первинних технологій зменшить викиди на 10 – 30 % від початкового значення за відсутності спеціальних заходів, націлених на обмеження викидів пилу.

Первинні заходи, що використовуються у поєднанні з вторинними заходами (фільтрувальними системами, мокрими скруберами), знижують кількість пилу, яку потрібно видалити з димових газів та переробити або захоронити.

Міжсередовищні наслідки

Описані технології загалом запобігають викидам без використання додаткових хімічних засобів / речовин, тож припускається, що їх міжсередовищні наслідки будуть позитивними. Проте модифікація сировини, що використовується для приготування шихти потрібного складу, у контексті зниження вмісту летких сполук може призвести до збільшення питомого споживання енергії. Наприклад, додавання води до складу шихти для придушення винесення матеріалів або заміна певного виду сировини іншим, менш летким, для плавлення якого, однак, потрібна вища температура, зазвичай призводить до збільшення споживання енергії. Зниження температури на поверхні розплаву може вплинути на якість скла, а відтак призвести до збільшення частки браку серед готових виробів та питомого споживання

енергії на одиницю придатної для продажу продукції. Зміна розташування пальників, що застосовується для мінімізації процесів переходу в леткий стан, може знизити енергоефективність печі, а відтак збільшити питомі викиди, що утворюються при згоранні; крім того, зміна процесів випаровування/конденсації відкладених солей потенційно може призвести до пошкодження вогнетривких конструкцій, які контактують з димовими газами. Перехід зі спалювання мазуту на спалювання природного газу зазвичай пов'язаний зі збільшенням викидів NO_x та питомого споживання енергії.

Експлуатаційні параметри

Наведені в описах.

Застосовність

Описані технології вважаються загалом застосовними у всіх областях галузі з урахуванням вказаних обмежень. Проте технології, успішно реалізовані в одній печі, можуть не дати тих самих ефектів для інших печей. Зниження викидів, якого вдасться досягти, залежить від початкового рівня викидів пилу. Крім того, впровадження більш ніж однієї технології з описаних у цьому розділі не завжди забезпечує зниження викидів на сумарну величину.

У короткотерміновій та середньотерміновій перспективі первинні заходи зі зниження викидів пилу, найімовірніше, будуть забезпечувати більш суттєве зниження викидів для вапняно-натрієвих рецептур, ніж для інших типів скла. Винятком може бути скловолокно з безперервних ниток, що виготовляється за безборними рецептурами або рецептурами з низьким вмістом бору.

Економіка

Про вартість первинних технологій доступно дуже мало інформації, проте з підприємств галузі повідомлялося, що вартість заходів, реалізованих на даний момент (2010 рік), можна вважати низькою. Насправді ці технології, що знижують споживання енергії, можуть зменшити витрати.

Витрати на реалізацію первинних технологій можуть бути неоднаковими залежно від рівня та часової шкали їх застосування. Ці заходи є сукупним комплексом, і їх вартість та результати залежать від того, наскільки оптимізований комплекс. Наприклад, використання кальцинованої соди з низьким вмістом хлоридів або природної кальцинованої соди навряд чи знизить викиди пилу до рівнів, сумірних з вторинними засобами зниження викидів, і, залежно від інших чинників, витрати можуть бути непропорційними вигодами. Проте це лише один аспект комплексу заходів, витрати та результати для якого необхідно розглядати у сукупності.

Рушій для впровадження

Реалізація первинних заходів для зниження викидів пилу часто базується на економічних та експлуатаційних вигодах від застосування вибраних технологій, таких як запобігання засміченню регенераторів, корозії чи пошкодженню матеріалів, зниження інтенсивності переходу в леткий стан і, відповідно, втрат цінної сировини, тощо.

Приклади заводів

Деякі первинні технології, описані у цьому розділі, поширені у всій скляній промисловості.

Довідкова література [19, CPIV, 1998], [31, CPIV, 1998], [103, Беркенс, Освітлення скла. Бор, 2008]

4.4.1.2 Електростатичні фільтри

Опис

Електростатичний фільтр (електростатичний пиловловлювач – ЕСП) здатний працювати у широкому діапазоні температур, тисків та навантажень твердими частками. Він не особливо чутливий до розміру часток і може уловлювати тверді частки як у вологих, так і в сухих умовах. Електростатичний фільтр складається з ряду високовольтних коронувальних електродів та відповідних осаджувальних електродів. Частки набувають електричного заряду і потім відділяються від газового потоку під дією електричного поля, що генерується між електродами. Електричне поле створюється на електродах шляхом пропускання крізь них невеликого постійного струму з високою напругою (до 80 кВ). На практиці електростатичний фільтр розділений на кілька дискретних зон (таким чином може використовуватися до п'яти полів), як зображено на Рисунку 4.1.

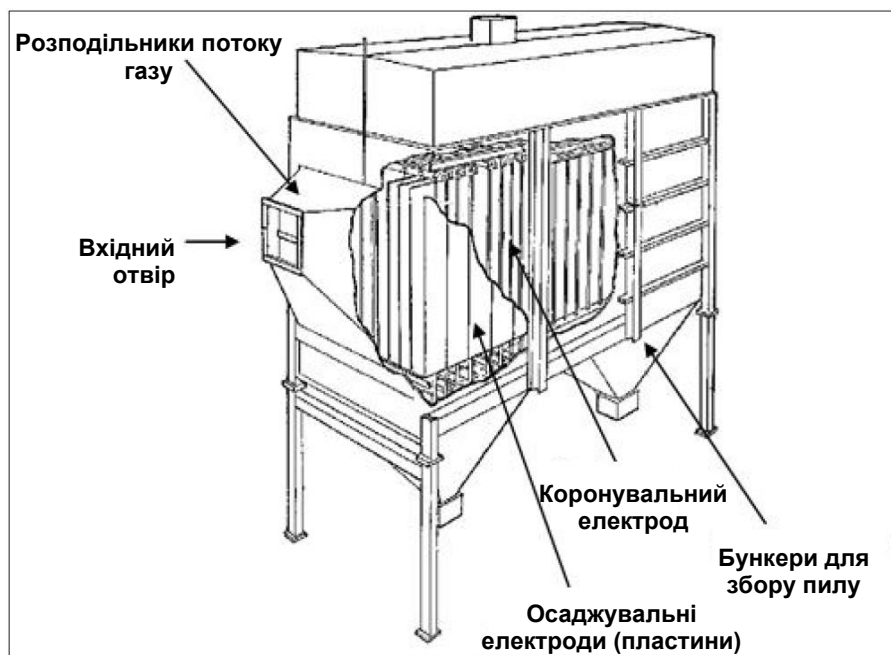


Рисунок 4.1. Електростатичний фільтр (електростатичний пилословлювач)

Частки видаляються з газового потоку у чотири етапи:

- надання часткам електричного заряду;
- міграція часток в електричному полі;
- захоплення часток осаджувальним електродом;
- видалення часток з поверхні електрода.

Коронувальні електроди необхідно струшувати або піддавати вібрації для запобігання нашаруванню на них матеріалу, тож вони повинні мати достатню механічну міцність, щоб витримувати передавання на них струшувальних ударів або вібрації. Велике значення має механічна надійність коронувальних електродів та їх опорної рами, оскільки обрив одного-єдиного проводу може замкнути накоротко все електричне поле електростатичного фільтра. У мокрих електростатичних фільтрах зібраний пил видаляється з осаджувальних пластин шляхом їх промивання належною рідиною, зазвичай водою, – періодично або шляхом безперервного розбризкування.

Результативність роботи електростатичного фільтра підпорядковується рівнянню Дойча-Андерсона (Deutsch-Anderson), яке встановлює зв'язок між ефективністю уловлювання пилу та загальною площею поверхні осаджувальних електродів, об'ємною витратою газів і швидкістю міграції часток. Для заданого матеріалу двома найважливішими параметрами є площа поверхні осаджувальних електродів, яка повинна бути максимальною, та час перебування в електричних полях. Крім того, чим більша відстань між осаджувальними електродами, тим вищу напругу можна подати. Ця відстань залежить від конструкції, передбаченої постачальником.

Для того, щоб подана напруга могла відрізнитися у вхідній та вихідній зонах, випрямляч струму повинен мати належну конструкцію: зокрема, у ній повинні бути передбачені окремі секції випрямляча для кожної зони або частини зони електростатичного фільтра. Це дає змогу змінювати подану напругу, створюючи різну напругу у вхідній та вихідній зонах, щоб врахувати зменшення навантаження твердими частками у напрямку виходу, і завдяки цьому зони можуть працювати з напругою, яка поступово збільшується. На правильність конструкції також впливає використання автоматичних систем керування, які стежать, щоб на електроди подавалася оптимальна висока напруга (ВН). Джерела живлення з фіксованою ВН навряд чи зможуть забезпечити оптимальну ефективність уловлювання часток.

Особливо велике значення має питомий електричний опір (величина, обернена електропровідності) матеріалу твердих часток. Якщо він надто низький, то частки, які досягають осаджувального електрода, будуть легко втрачати заряд, а це може призвести до вторинного винесення твердих часток. Якщо тверді частки мають надто високий питомий опір, на електроді утворюється ізоляційний шар, який перешкоджає утворенню нормального коронного розряду і знижує ефективність уловлювання часток. Питомий опір

більшості твердих часток, що зустрічаються у скляній промисловості, знаходиться у правильному діапазоні. Проте за необхідності уловлювання часток можна поліпшити шляхом кондиціонування твердих часток (для цього можна використовувати, наприклад, аміак і триоксид сірки), проте у процесах виробництва скла цього зазвичай робити не потрібно. Питомий опір також можна знизити шляхом зниження температури газу або додавання вологи до газу.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Електростатичні фільтри дуже ефективно уловлюють пил з розміром часток від 0,1 до 10 мкм, а загальна ефективність уловлювання може становити 95 – 99 % (залежно від концентрації часток на вході та розміру електростатичного фільтра). Фактична результативність роботи залежить головним чином від характеристик відхідних газів, конструкції та віку електростатичного фільтра, проте загалом можна досягти концентрацій викидів від 5 до 10 мг/м³ н.у. Для існуючих електростатичних фільтрів можливості суттєвого вдосконалення можуть бути обмеженими з огляду на їх будову (обмеження за доступною виробничою площею) та експлуатаційні обмеження (швидкість газу в електростатичному фільтрі), і у цих випадках результативність, якої можна досягти, може становити 20 – 30 мг/м³ н.у.; проте в більшості випадків можливе вдосконалення до концентрацій викидів близько 15 мг/м³ н.у. Хоча кількість електричних полів, що створюються, і є важливим чинником, результативність не залежить виключно від цього. Двоступеневий електростатичний фільтр однієї конструкції може бути настільки ж ефективним, як і тріступеневий електростатичний фільтр іншої конструкції або в іншому випадку застосування, і вибір фільтра залежить від необхідного рівня результативності.

Важливим чинником результативності роботи електростатичного фільтра є встановлення сухого скрубера перед фільтром. Залежно від рівнів викидів SO_x, яких потрібно досягати, кількість луку, що додається в систему, може бути дуже великою. Концентрація пилу у димових газах може збільшитися у кілька разів – до 10 разів – порівняно з початковим значенням. У цьому випадку сухий скрубер є основним джерелом пилу. Внаслідок цього кількість лужного реагенту, доданого в систему, може погіршити результативність роботи фільтра.

До специфічних проблем з точки зору результативності електростатичних фільтрів належить, наприклад, присутність важких металів у димових газах: у цьому випадку може бути необхідно забезпечити зниження викидів на більшу величину. Високоєфективний фільтр може суттєво знизити викиди металів, у тому числі бору. Проте у випадку димових газів, які містять сполуки бору, на ефективність уловлювання пилу, утвореного у скловарній печі, електростатичними фільтрами суттєво впливає розташування фільтра та, відповідно, місце конденсації борної кислоти – перед чи після фільтра (див. розділ 4.4.1.1).

Міжсередовищні наслідки

Використання електростатичних фільтрів призводить до збільшення споживання енергії, проте воно невелике у порівнянні зі споживанням енергії піччю – менше 1 % (що дорівнює 1 – 3 % вартості енергії). У місці виробництва електроенергії виникає результуючий вплив на навколишнє середовище, який залежить від джерела електроенергії. За оцінками, опосередковані викиди, пов'язані з використанням електроенергії, знаходяться в межах 8 – 17 кг CO₂ на тонну звареного скла, 0,02 – 0,04 кг NO_x на тонну звареного скла і 0,06 – 0,14 кг SO₂ на тонну звареного скла, залежно від потужності установки (розрахункові питомі показники також наведені у розділі 8.1.7, у Таблиці 8.7).

Додаткові опосередковані викиди пов'язані з виробництвом лужних реагентів, що використовуються у процесі очищення газів (див. розділ 4.4.1.3). У багатьох випадках застосування в межах скляної промисловості перед очищенням необхідно видаляти кислотні гази. Цього зазвичай досягають шляхом сухого або напівсухого очищення газів, у результаті якого утворюється потік твердих матеріалів, у кілька разів (до десяти разів) більший, ніж кількість пилу, викидам якого вдалося запобігти. Якщо ці матеріали можна переробити в печі, споживання сировини загалом зменшиться, якщо ж ні – виникне потік відходів, який потрібно захоронити.

На практиці зібраний пил у більшості випадків можна переробити і, залежно від вибраного сорбенту, замінити ним частину інших видів сировини – зокрема, сульфату натрію (та, у

відповідних випадках, матеріалів, що містять фториди та свинець). Проблеми можуть виникнути у секторі виробництва тарного скла, де вимоги щодо вмісту сульфатів можуть бути невисокими через використання великої кількості скляного бою, та у випадку скла, звареного у відновлювальних умовах, коли розчинність сірки може бути дуже низькою.

Це може обмежити потенційну можливість переробки пилу, особливо у разі використання мазуту з високим вмістом сірки, і частину зібраного пилу, можливо, доведеться утилізувати за межами об'єкта. Ще одна проблема може виникнути, якщо до одного електростатичного фільтра під'єднано кілька печей, у яких виготовляється скло різних типів та/або кольорів. У деяких секторах можливість переробки зібраного пилу може бути обмежена вимогами до якості продукції та хімічним складом скла – наприклад, у випадках, коли скло повинно мати дуже високі оптичні властивості. На можливість переробки відфільтрованого пилу накладаються додаткові обмеження, коли застосовується підігрівання сухої шихти, оскільки при цьому утворюється дрібнодисперсний пил, що може призвести до сильного винесення пилу та засмічення регенераторів.

Переробка відфільтрованого пилу з високими концентраціями NaCl, який зазвичай утворюється в результаті очищення відхідних газів за допомогою абсорбентів на натрієвій основі, може призвести до пошкодження вогнетривких конструкцій у камері згорання та/або у регенераторах, залежно від температури і компонування насадок регенераторів.

Витрати на утилізацію пилу, який неможливо переробити (у тому числі витрати на класифікацію залишків), та витрати на паливо з нижчим вмістом сірки (наприклад, мазут з низьким вмістом сірки або природний газ) у багатьох випадках може бути необхідно порівняти, що оцінити, чи не буде зручніше для оператора замінити паливо замість того, щоб створювати потік твердих відходів для утилізації. Однією з основних цілей етапу очищення кислотних газів часто є кондиціонування газу для електростатичного фільтра для запобігання корозії і, відповідно, зниження загальних викидів кислотних газів. Якщо відфільтрований пил переробляється, між вхідним та вихідним потоками сірки встановлюється динамічна рівновага.

У скляній промисловості більшість твердих часток, що викидаються, утворюється за рахунок реактивного переходу в леткий стан. Тому важливо прослідкувати, щоб температура газового потоку була нижчою, ніж температура утворення твердих часток, яка залежить від присутніх сполук. Основним компонентом пилу від виробництва вапняно-натрієво-силікатного скла є сульфат натрію з температурою утворення $\approx 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, у той час як для боросилікатного скла повна конденсація сполук бору може відбуватися за температур набагато нижчих, ніж $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У регенеративних печах температура відхідних газів загалом становить близько $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, і охолодження зазвичай не потрібне ні для конденсації летких сполук, ні для досягнення умов, які відповідатимуть експлуатаційним межам електростатичного фільтра. У рекуперативних печах температура відхідних газів зазвичай становить близько $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, тож охолодження необхідне – як для конденсації твердих часток, так і для охолодження газу до експлуатаційних меж електростатичного фільтра. Як уже було зазначено вище, для боровмісних видів скла (наприклад, для скловати та скловолокна з безперервних ниток) перед заходами зі зниження викидів може бути необхідно знизити температуру газу нижче $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, і водночас мінімізувати конденсацію у системі і пов'язаний з нею ризик корозії. Температура відхідних газів з киснево-паливних печей зазвичай $>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, тож їх необхідно значно охолодити.

Основні переваги і недоліки використання електростатичних фільтрів підсумовані у Таблиці 4.6.

Таблиця 4.6. Основні переваги і недоліки електростатичних фільтрів

<p><u>Переваги:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Висока ефективність видалення пилу • Пил зазвичай зібраний у формі, яка дозволяє його повторно використати • Малий перепад тиску у порівнянні з рукавними фільтрами, тож експлуатаційні витрати порівняно низькі • Може входити до складу комплексної системи очищення, наприклад, разом зі скруберами та СКВ • Електростатичні фільтри не так легко забиваються під дією високих навантажень або вмісту вологи, що може бути проблемою для рукавних фільтрів • Загалом (тобто не обмежуючись скляною промисловістю) досвід експлуатації цих фільтрів за високих температур більший, ніж для рукавних фільтрів • Можна спроектувати таким чином, щоб пізніше у них можна було створити додаткові поля <p><u>Недоліки:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Споживання енергії. Хоча витрати енергії на експлуатацію фільтра досить малі у порівнянні з загальною енергією печі (<1 %), витрати на неї більш суттєві, оскільки при цьому споживається електроенергія, а не дешевше викопне паливо. Крім того, буде присутній вплив опосередкованих викидів, пов'язаних зі споживанням електроенергії (CO₂ та інші викиди на електростанції) • Утворені потоки твердих відходів не завжди можливо переробити • У багатьох процесах потрібно очищати кислотні гази, і в цих випадках споживається абсорбент. Опосередковані викиди пов'язані з використанням лужних реагентів (виробничий цикл матеріалу) • Електростатичні фільтри можуть потребувати більших капітальних витрат, ніж інші системи, такі як рукавні фільтри • Під час роботи заводу вкрай важливо дотримуватися проектних умов, інакше результативність може суттєво понизитися • Необхідно дотримуватися техніки безпеки при використанні високовольтного обладнання • Електростатичні фільтри можуть бути дуже великими, і необхідно враховувати потребу в площі для їх встановлення

Експлуатаційні параметри

Середня концентрація пилу в очищених газах після системи контролю забруднень загалом низька. У більшості випадків можна очікувати, що належним чином спроектованих дво- або триступеневий електростатичний фільтр знизить викиди до менш ніж 10 мг/м³ н.у. та менш ніж 0,03 кг пилу на тонну звареного скла. Проте ефективність зниження викидів пилу може змінюватися з часом і залежно від умов експлуатації. У якості прикладу на Рисунку 4.2 проілюстровано мінливість результатів щомісячних точкових вимірювань для викидів пилу з мазутної печі для виробництва флоат-скла, яка обладнана електростатичним фільтром і працює зі ступенем сухого очищення газів з використанням Са(ОН)₂. У цьому прикладі середньорічні значення (червоні точки) часто менші, ніж 10 мг/м³ н.у., проте результати точкових вимірювань (сині точки) можуть досягати 30 мг/м³ н.у. Ці відмінності зумовлені функціонуванням фільтра, проте також можуть залежати від коливань характеристик газу на вході (температура, склад пилу, тощо), зумовлених мінливістю технологічного процесу (наприклад, змінами питомого знімання та типу скла). Це також спостерігається при операціях очищення пластин, коли концентрації пилу можуть тимчасово збільшуватися. У багатьох випадках застосування електростатичні фільтри можуть зменшувати викиди нижче цих рівнів завдяки сприятливим умовам або завдяки використанню високоефективних конструкцій. На ряді установок з електростатичними фільтрами було виміряно рівні викидів нижче 5 мг/м³ н.у., проте, за винятком випадків існування сприятливих умов, гарантована робота на такому рівні загалом потребувала б більших витрат, ніж зазначено у цьому розділі. Слід зазначити, що у регенеративних печах з почерговими циклами спалювання палива репрезентативні дані завжди повинні бути середнім значенням викидів, що утворюються протягом двох циклів спалювання палива або періоду, кратного тривалості циклу.

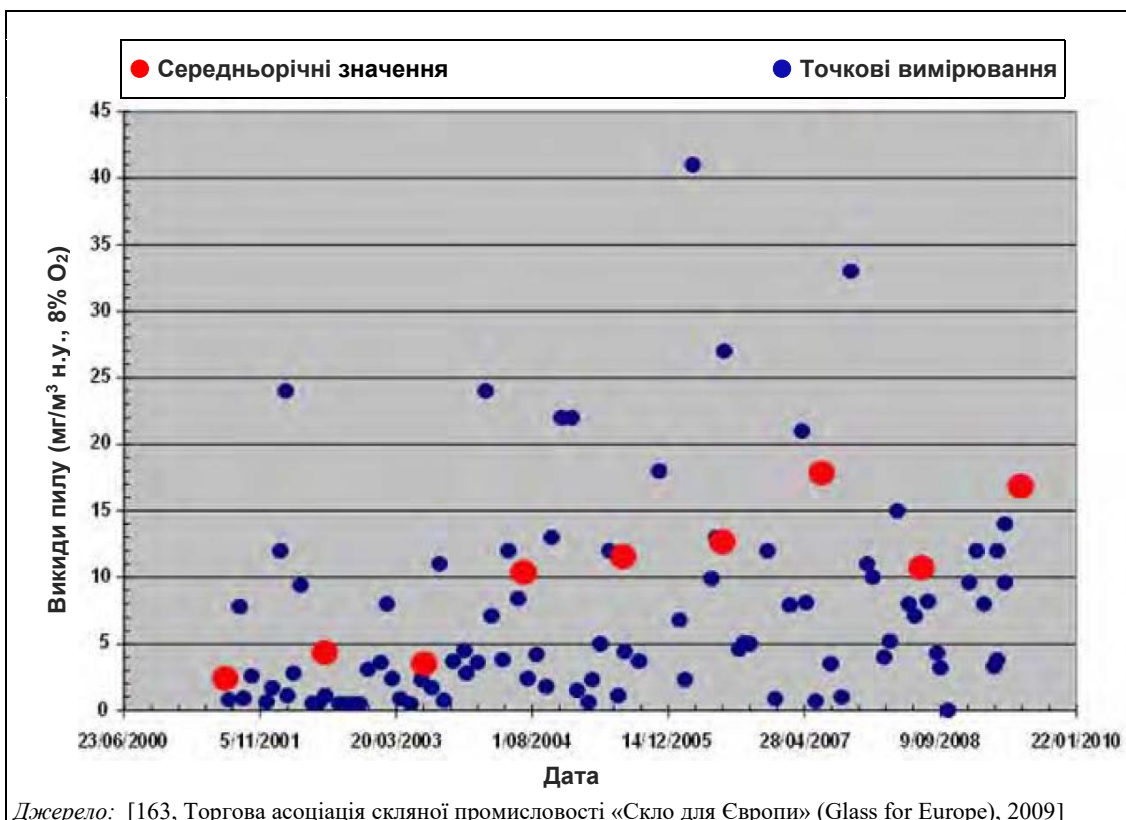


Рисунок 4.2. Результати вимірювання викидів пилу (щомісячних точкових вимірювань) з мазутної печі для виробництва флоат-скла, обладнаної електростатичним фільтром і системою сухого очищення газів з використанням $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Електростатичні фільтри широко застосовуються, зокрема, на установках з великою виробничою потужністю (великим об'ємом димових газів) та/або більш ніж однією піччю.

На час укладання цього документа (2010 рік) багато великих печей/установок були обладнані системами безперервного моніторингу викидів твердих часток або непрозорості газів.

Для забезпечення найкращої результативності електростатичного фільтра необхідно, щоб витрата газу крізь агрегат була рівномірною, і газ не рухався в обхід електричних полів. Правильна конструкція впускних трубопроводів та використання пристроїв розподілу потоку у впускному патрубку повинні забезпечувати рівномірну витрату на вході в електростатичний фільтр. У цілому, робочу температуру необхідно підтримувати нижче 430 °С. У ході тривалої експлуатації результативність роботи електростатичного фільтра зменшується. Електроди можуть тріскатися, змішуватися або вкриватися накипом, тому фільтр потребує регулярного капітального ремонту, особливо у порівняно старому обладнанні.

У випадках застосування, коли газовий потік може містити значні концентрації кислотних газів (особливо SO_x , HCl та HF), загалом вважається за необхідне у тому чи іншому вигляді використовувати перед електростатичним фільтром систему очищення кислотних газів. Вона зазвичай виконана у вигляді системи сухого або напівсухого очищення з використанням гідроксиду кальцію, карбонату натрію або бікарбонату натрію. Ці технології розглядаються у розділі 4.4.3.3.

Кислотні гази утворюються зі скляного бою, сировини та сірки у складі мазуту, що спалюється, і без видалення кислотних газів електростатичний фільтр міг би зазнавати серйозних проблем з корозією. У випадку деяких видів скла, що містять бор, луг також сприяє осадженню летких сполук бору. Якщо відхідні гази не містять великої кількості кислотних газів (тобто паливом слугує газ, і використовується сировина з низьким вмістом сірки) – наприклад, у більшості процесів виробництва скловати, – попереднє очищення може не потребуватися.

У секторах виробництва плоского і тарного скла викиди пилу, пов'язані з використанням електростатичного фільтра у поєднанні з системою очищення кислотних газів, знаходяться у діапазоні 10 – 20 мг/м³ н.у. Ці значення спостерігаються для систем сухого очищення газів за допомогою гашеного вапна з порівняно низькою ефективністю видалення SO_x від 25 – 33 %, проте також і при роботі з вищими значеннями ефективності видалення SO_x у діапазоні 50 – 95 %, залежно від типу лужного реагенту, типу системи очищення газів, температури димових газів та молярного відношення реагенту, що вприскується, до сполук SO_x + HCl + HF, присутніх у димових газах (див. розділ 4.4.3.3). Кількість пилу, що утворюється системою фільтра, може суттєво різнитися залежно від потрібної ефективності видалення кислотних газів. У результаті утворюється потік твердих відходів, який потрібно утилізувати шляхом переробки пилу в печі або його захоронення на полігоні (див. розділи 4.4.3.3 та 4.7).

Деякі приклади рівнів викидів пилу, пов'язані з використанням електростатичних фільтрів, представлені у Таблиці 4.7.

Таблиця 4.7. Рівні викидів пилу, пов'язані з використанням електростатичних фільтрів для прикладів установок

для прикладів установок

Виробництво	Паливо / Технологія варіння скла	Загальна продуктивність	Характеристики електростатичного фільтра	Відповідні рівні викидів (ВРВ) для викидів пилу ⁽¹⁾ ⁽²⁾	
		Тонни/добу		мг/м ³ н.у., сухий газ при 8 % O ₂	кг/т скла
Тарне скло					
Вапняно-натрієве, зелене/біле	Природний газ	470	1 поле – сухе очищення газів за допомогою Ca(OH) ₂	17 ⁽³⁾	0,027
Вапняно-натрієве	Природний газ	640	5 полів – сухе очищення газів за допомогою Ca(OH) ₂	7,6	0,016
Креміль	Природний газ	275	3 поля – без системи очищення газів	23,8	0,037
Бурштинове	Мазут + природний газ	297	2 поля – сухе очищення газів за допомогою Ca(OH) ₂	1,2	0,0019
Біле/бурштинове	Мазут	547	2 поля – сухе очищення газів за допомогою Ca(OH) ₂	18	0,027
Смарагдово-зелене / ультрафіолетове зелене	Природний газ	367	2 поля – сухе очищення газів за допомогою Ca(OH) ₂	27	0,040
Плоске скло					
Біле/кольорове	Мазут	259	2 поля – сухе очищення газів за допомогою NaHCO ₃	3,0	0,0048
Біле	Мазут + природний газ	700	4 поля – сухе очищення газів за допомогою Ca(OH) ₂	1,5	0,0031
Біле	Природний газ	600	3 поля – сухе очищення газів за допомогою Ca(OH) ₂	30	0,084
Сортове скло					
Не вказано	Мазут	110	Не вказано	16,5	0,034
Спеціальне скло					
Не вказано	Мазут + природний газ	170	2 поля – сухе очищення газів за допомогою Ca(OH) ₂	20	0,127

⁽¹⁾ Рівні викидів означають середні значення, отримані у результаті періодичних вимірювань (30 – 60 хвилин).

⁽²⁾ Для низьких значень концентрацій невизначеність методу вимірювання зазвичай того ж порядку величини, що й виміряне значення (див. розділ 8.3.2).

⁽³⁾ Середньомісячне значення, отримане у результаті безперервних вимірювань.

Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007], [84, Звіт від Італії, 2007] [86, Австрійські заводи з виробництва тарного скла, 2007], [120, Технологічний центр кераміки та скла (CTCV), 2009]

Застосовність

В принципі, ця технологія може застосовуватися для всіх нових та існуючих печей у всіх секторах скляної промисловості. У випадку існуючих установок удосконалення фільтра зі створенням додаткових полів можна виконати лише тоді, коли скловарна піч виведена в ремонт, за умови наявності необхідного простору. Аналогічним чином, встановлення електростатичних фільтрів зазвичай необхідно здійснювати під час ремонту у холодному стані або капітального ремонту печі (печей).

Для забезпечення високої результативності роботи системи велике значення має регулярне технічне обслуговування електростатичних фільтрів.

Електростатичні фільтри не використовуються у вагранках для виробництва кам'яної вати через ризик вибуху, зумовлений присутністю чадного газу в димових газах.

Економіка

Витрати на електростатичні фільтри залежать від таких основних чинників:

- об'єм відхідних газів;
- необхідна ефективність;
- кількість полів;
- кондиціонування відхідних газів;
- якщо необхідно здійснювати очищення кислотних газів – ефективність скрубера та очисної речовини для скрубера (тобто гашеного вапна, гідрокарбонату натрію, карбонату натрію);
- характеристики заводу (наявність вільної виробничої площі, компонування, необхідна підготовка майданчика, тощо);
- вартість енергії, електроенергії, води та робочої сили;
- вартість утилізації відходів (якщо їх неможливо переробити).

Кожне додаткове електричне поле після перших двох збільшує капітальні витрати приблизно на 10 – 15 %, проте загальне збільшення витрат за рахунок цих комплексних систем контролю забруднення повітря (КЗП), включно зі скруберам та експлуатаційними витратами, становить лише приблизно 5 %.

Витрати, пов'язані зі встановленням електростатичних фільтрів, з великою ймовірністю будуть більшими для існуючих заводів, ніж для нових заводів, особливо у випадках, коли виробнича площа обмежена, і коли розташування фільтра на порівняно великих відстанях потребує прокладання додаткових трубопроводів (які часто потрібно ізолювати).

У випадку електричних печей та невеликих традиційних печей (<200 тонн на добу) високі капітальні витрати можуть спонукати операторів вибрати альтернативні технології, зокрема, рукавні фільтри.

Питомі витрати можуть бути значно більшими для невеликих об'ємів виробництва та для мазутних печей, хоча це також залежить від ступеня зниження викидів SO_x , якого потрібно досягти. У якості прикладу на Рисунку 4.3 наведені питомі витрати на реалізацію систем контролю забруднення повітря (КЗП), що складаються з систем фільтрування та систем сухого очищення газів, у яких використовується $\text{Ca}(\text{OH})_2$, для чотирьох різних випадків печей з виробництва флоат-скла, залежно від питомого знімання звареного скла та з припущенням, що весь відфільтрований пил викидається.

Оцінка витрат базується на таких досяжних рівнях викидів:

- вважається, що викиди пилу знаходяться в діапазоні 10 – 20 мг/м^3 н.у., а їх можливі значення варіюються від 5 до 10 мг/м^3 н.у. залежно від конструкції електростатичного фільтра та його експлуатації (наприклад, тимчасово підвищені значення відповідають зняттю шарів відкладень з пластинчастих електродів);
- у якості стандартних умов роботи прийнято обмежене зниження викидів SO_x на 25 – 33 % за допомогою системи сухого очищення газів з використанням гашеного вапна.

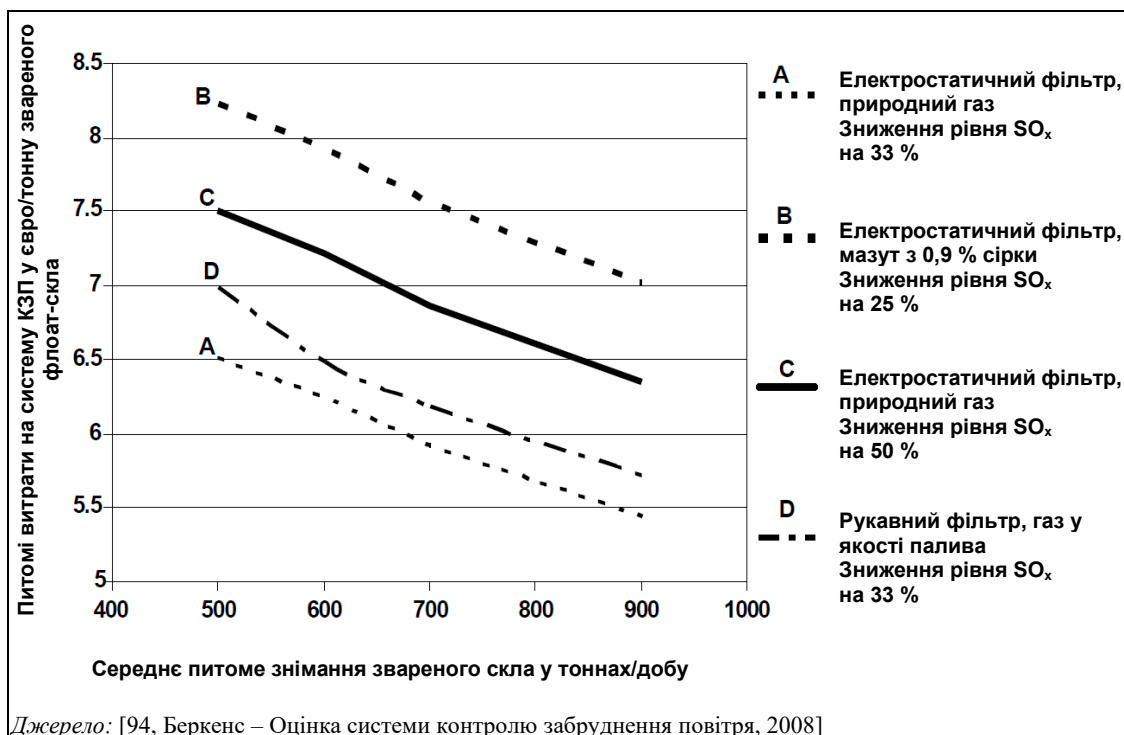


Рисунок 4.3. Питомі витрати на тонну звареного скла для системи контролю забруднення повітря за допомогою сухого очищення газів та фільтрів, з захороненням усього відфільтрованого пилю, для печей з виробництва флоат-скла, залежно від питомого знімання звареного скла

За методикою, описаною у розділі 8.1, було оцінено значення витрат для різних потужностей печей та ефективностей зниження викидів SO_x та для двох варіантів утилізації: повної переробки відфільтрованого пилю або захоронення всього пилю як відходів. Дані базуються на реальних вартостях (наприклад, розцінках постачальників) та розрахункових значеннях [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008].

Нижче наведені значення витрат, оцінені для типового початкового рівня викидів, який становить 800 – 1000 мг/м³ н.у. SO_x для газових печей та 1800 – 2000 мг/м³ н.у. SO_x для мазутних печей, і з припущенням, що зниження викидів SO_x обмежене і становить близько 30 % від рівня, який досягається за умов сухого очищення газів з використанням гашеного вапна.

Виробництво флоат-скла

- Загальні інвестиційні витрати на систему контролю забруднення повітря (електростатичний фільтр + ступінь сухого очищення газів) можуть варіюватися від 3,9 до 5,5 мільйона Євро, залежно від розміру печі (500 – 900 тонн/добу).
- Експлуатаційні витрати варіюються від 375 000 до 575 000 Євро на рік у випадку повної переробки відфільтрованого пилю та від 685 000 до 11 400 000 Євро на рік у випадку захоронення всього відфільтрованого пилю.
- У випадку, коли відфільтрований пил повністю переробляється в печі, питомі витрати можуть варіюватися від 3,9 до 4,8 Євро на тонну звареного скла; менше значення відповідає більшому печам (900 т/добу), а більше значення відповідає меншим печам (450 – 500 т/добу). У випадку захоронення всього відфільтрованого пилю питомі витрати на тонну звареного скла приблизно на 1,5 – 2 Євро вищі. Вища ефективність видалення SO_x (близько 50 %), що досягається шляхом додавання більшої кількості гашеного вапна, породжує додаткові витрати у 1 Євро на тонну звареного скла для газових печей та 2,5 Євро на тонну звареного скла для мазутних печей у випадку захоронення всього відфільтрованого пилю. Якщо відфільтрований пил повністю переробляється в печі, збільшення питомих витрат буде набагато меншим (близько 0,2 – 0,3 Євро на тонну звареного скла).

- Питомі витрати на кг видаленої забруднюючої речовини можуть варіюватися від 9 до 15 євро на кг видаленого пилу та від 0,45 до 0,7 євро на кг видаленого SO₂, залежно від потужності печі та умов експлуатації.

Виробництво тарного скла

- Загальні інвестиційні витрати на систему контролю забруднення повітря (електростатичний фільтр + ступінь сухого очищення газів) можуть варіюватися від 2,2 до 4,7 мільйона євро на піч, залежно від розміру печі (133 – 560 тонн/добу). На практиці системи контролю забруднення повітря у секторі виробництва тарного скла часто очищують відхідні гази від більш ніж однієї печі.
- Експлуатаційні витрати можуть варіюватися від 166 000 до 673 000 євро на рік: менше значення відповідає газовій печі з переробкою відфільтрованого пилу, а більше значення відповідає мазутній печі з захороненням усього відфільтрованого пилу.
- Питомі витрати на тонну звареного скла сумірні зі значеннями, вказаними для виробництва флоат-скла.
- Питомі витрати можуть варіюватися від 10 до 24 євро на кг видаленого пилу та від 0,5 до 1,2 євро на кг видаленого SO₂, залежно від потужності установки та умов експлуатації.

Виробництво сортового скла

- Загальні інвестиційні витрати на систему контролю забруднення повітря (електростатичний фільтр + ступінь сухого очищення газів) можуть варіюватися від 1,2 до 2 мільйона євро, залежно від розміру печі (35 – 180 тонн/добу).
- Експлуатаційні витрати можуть варіюватися від 43 500 до 247 000 євро на рік: менше значення відповідає невеликим газовим печам (35 т/добу) з переробкою відфільтрованого пилу, а більше значення відповідає більшим газовим печам (180 т/добу) з захороненням усього відфільтрованого пилу.
- Питомі витрати на тонну звареного скла можуть бути набагато вищими, ніж у секторі виробництва тарного скла. За оцінками, ці значення становлять від 7,7 до 16,7 євро на тонну звареного скла і залежать головним чином від розміру печі.
- Питомі витрати можуть варіюватися від 20 до 44 євро на кг видаленого SO₂, залежно від потужності установки та умов експлуатації.

Методика оцінки значень витрат, разом із підсумком оцінених витрат на застосування електростатичних фільтрів у поєднанні з системами сухого очищення димових газів, що виходять зі скловарних печей, наведена в розділі 8.1.7, у Таблиці 8.7, у якій представлені дані для систем КЗП, що застосовувалися до 2007 року, та систем, реалізованих у 2007 та 2008 роках.

Наведені вище значення можуть відрізнятися на плюс-мінус 15 % для капітальних витрат та 30 % для експлуатаційних витрат, залежно від ряду чинників, властивих для конкретного об'єкта. Для установок, які не потребують очищення кислотних газів, капітальні витрати будуть приблизно на 15 – 20 % нижчими, а експлуатаційні витрати – на 30 – 40 % нижчими.

Витрати на інфраструктуру варіюються залежно від розміру електростатичного фільтра та місцевих обставин для кожної установки (у тому числі від кількості печей, під'єднаних до електростатичного фільтра, та відстаней від печей до електростатичного фільтра). Як зазначено вище, електростатичні фільтри можуть бути досить великими, і на існуючих установках, якщо виробнича площа обмежена, може бути необхідно виконати значні об'єми будівельних робіт.

Фактичні показники витрат на взятих для прикладу установках, які виготовляють різні типи скла (тарне, плоске, спеціальне скло та мінеральну вату) за різноманітних умов експлуатації, наведені у Таблиці 4.8

Таблиця 4.8. Підсумок прикладів фактичних витрат на електростатичні фільтри, що застосовуються у виробництві плоского, тарного, спеціального скла та мінеральної вати

	Плоске скло ⁽¹⁾	Плоске скло ⁽²⁾	Тарне скло ⁽³⁾	Спеціальне скло ⁽⁴⁾	Скловата ⁽⁵⁾
Тип печі	3 поперечним полум'ям, регенеративна	Флоат-ванна, з поперечним полум'ям	3 поперечним полум'ям, регенеративна	3 поперечним полум'ям, регенеративна	Киснево-паливна
Паливо	Мазут	Природний газ + легкий мазут	Природний газ	Природний газ + легкий мазут	Природний газ
Потужність печі	350 т/добу	800 т/добу	350 т/добу	220 т/добу	206 т/добу
Фактичне питоме знімання скломаси	259 т/добу	700 т/добу	275 т/добу	170 т/добу	199 т/добу
Електричне форсування	Так	Так	Так	Так	Так
Тип скла	Біле, чисто-біле, бронзове, жовте	Біле	Флінт	Трубки з боро-силікатного скла	Скло С
Скляний бій	30 %	35 %	60 %	25 %	66 %
Питоме споживання енергії	5,71 ГДж/т скла	5,20 ГДж/т скла	3,78 ГДж/т скла	16,44 ГДж/т скла	3,55 ГДж/т скла
Кількість полів у електростатичному фільтрі	2	4	3	2	2
Температура перед фільтром	300 °C	300 °C	200 °C	350 °C	Немає даних
Тип сорбенту	NaHCO ₃	Ca(OH) ₂	Немає ⁽³⁾	Ca(OH) ₂	Немає
Кількість сорбенту	55 – 80 кг/год. ⁽⁶⁾	15 кг/год.		22 кг/год.	
Повторне використання відфільтрованого пилю у рецептурі шихти	100 %	100 %	100 %	0%	100 %
Споживання енергії електростатичним фільтром включно з вентилятором	125 кВт·год./год.	320 кВт·год./год.	194 кВт·год./год.	250 кВт·год./год.	Немає
Періодичність обслуговування	Щорічно	Щорічно	За необхідності	Не вказано	Не вказано
Показники витрат ⁽⁷⁾					
Інвестиційні витрати	євро 2,2 мільйона	євро 2,5 мільйона	євро 1,5 мільйона	євро 2,8 мільйона	євро ⁽⁸⁾ 0,91 мільйона
Період амортизації	10 років	10 років	10 років	10 років	8 років
Експлуатаційні витрати	205 000 євро/рік	238 000 євро/рік	120 000 євро/рік	275 000 євро/рік	60 000 євро/рік ⁽⁸⁾
Річні амортизаційні витрати	292 600 євро/рік	331 500 євро/рік	199 500 євро/рік	372 400 євро/рік	158 750 євро/рік
Загальні річні витрати	497 600 євро/рік	569 500 євро/рік	319 500 євро/рік	647 400 євро/рік	218 750 євро/рік
Розрахункові витрати на тону скла	5,26 євро/т скла	2,23 євро/т скла	3,18 євро/т скла	10,4 євро/т скла	3,01 євро/т скла ⁽⁸⁾
Відповідні рівні викидів (BPB)					
	Середні значення за півгодини	Середні значення за півгодини	Середні значення за півгодини	Середні значення за півгодини	Дані вимірювань відсутні
мг/м ³ н.у., сухий газ при 8 % O ₂	Пил: 3,0 SO _x : 1150 HCl: 7,0 HF: 3,7	Пил: 1,5 SO _x : 1327 HCl: 25 HF: 0,5	Пил: 23,8 SO _x : 386 HCl: 4,8 HF: 3,0	Пил: 20 SO _x : незначна кількість HCl: 9 HF: 4	Пил: <5 SO _x : незначна кількість HCl: <1 HF: <1
кг/т скла	Пил: 0,0048 SO _x : 2,78 HCl: 0,017 HF: 0,009	Пил: 0,0031 SO _x : 2,72 HCl: 0,051 HF: 0,001	Пил: 0,037 SO _x : 0,60 HCl: 0,0075 HF: 0,005	Пил: 0,127 SO _x : незначна кількість HCl: 0,057 HF: 0,015	Пил: <0,01 SO _x : незначна кількість HCl: <0,0015 HF: <0,0015

⁽¹⁾. Установа обладнана системою використання відхідного тепла перед електростатичним фільтром та після нього

⁽²⁾. Установа обладнана системою використання відхідного тепла.

⁽³⁾. Установа обладнана підігрівачем шихти.

⁽⁴⁾. Установа обладнана технологією СКВ для зниження викидів NO_x.

⁽⁵⁾. Дані про викиди означають очікувані рівні, визначені на основі вимірювань, проведених на подібних заводах.

⁽⁶⁾. Кількість сорбенту залежить від типу скла, що виготовляється.

⁽⁷⁾. Значення витрат вказані за рік встановлення системи контролю забруднення повітря і не обов'язково характеризують поточні витрати.

⁽⁸⁾. Найновіші показники витрат (за 2008 рік) для потужності печі у 150-250 т/добу такі: інвестиційні витрати: від 1,5 мільйона євро до 2,0 мільйона євро, експлуатаційні витрати: 80 000 – 200 000 євро на рік, питомі витрати: 4,5 – 5,5 євро на тону звареного скла.

Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007], [115, EURIMA-ENTEC, Оцінка витрат, 2008]

Рушій для впровадження

Найважливішим рушієм для впровадження цієї технології є дотримання граничних значень викидів, встановлених законодавством.

Додатковим чинником, який є рушієм для встановлення засобів зниження викидів пилу, є необхідність зниження викидів металів та/або газоподібних викидів (SO_x , HF , HCl , тощо), яке часто потребує використання твердого реагенту і призводить до утворення у великих кількостях викидів твердих часток.

Приклади заводів

У скляній промисловості є багато прикладів успішного використання електростатичних фільтрів: понад 90 печей у Німеччині і понад 40 печей в Італії оснащені електростатичними фільтрами, переважно у поєднанні з системами очищення кислотних газів; такі приклади є й в інших європейських країнах. Електростатичні фільтри – це найпоширеніший вид фільтрів, що використовуються у скляній промисловості; цій технології віддають перевагу в галузі головним чином у випадку великомасштабних установок з виробництва скла.

У 2007 році понад 60 % усіх печей для виробництва флоат-скла були обладнані електростатичним фільтром. З 2005 року існуючі установки для виробництва флоат-скла обладнувалися системами зниження викидів під час ремонту печей у холодному стані.

Довідкова література

[33, Беркенс, 1999], [64, FEVE, 2007], [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008], [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]

4.4.1.3 Рукавні фільтри

Опис

Системи рукавних фільтрів застосовуються у скляній промисловості в багатьох випадках, оскільки вони дають змогу з високою ефективністю контролювати викиди дрібнодисперсних твердих часток. На сьогодні вони стали частіше застосовуватися для фільтрування димових газів на виробництвах тарного скла, оскільки у них почали використовуватися сучасні і надійні тканини та системи керування. Проте, оскільки за певних обставин вони можуть забиватися, не у всіх випадках застосування вони є найкращим варіантом. У багатьох випадках існують технічні рішення для боротьби з цими ускладненням, проте вони можуть потребувати відповідних витрат.

Базовий принцип фільтрування крізь рукавний фільтр полягає в тому, щоб вибрати таку тканинну мембрану, яка буде проникною для газу, але утримуватиме пил. 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. По мірі того, як пиловий кек стає товстішим, його опір потоку газу збільшується, і фільтрувальний матеріал необхідно періодично очищати для регулювання перепаду тиску на фільтрі. Потік газу може рухатися зсередини фільтра назовні або ззовні фільтра всередину (див. Рисунок 4.4).

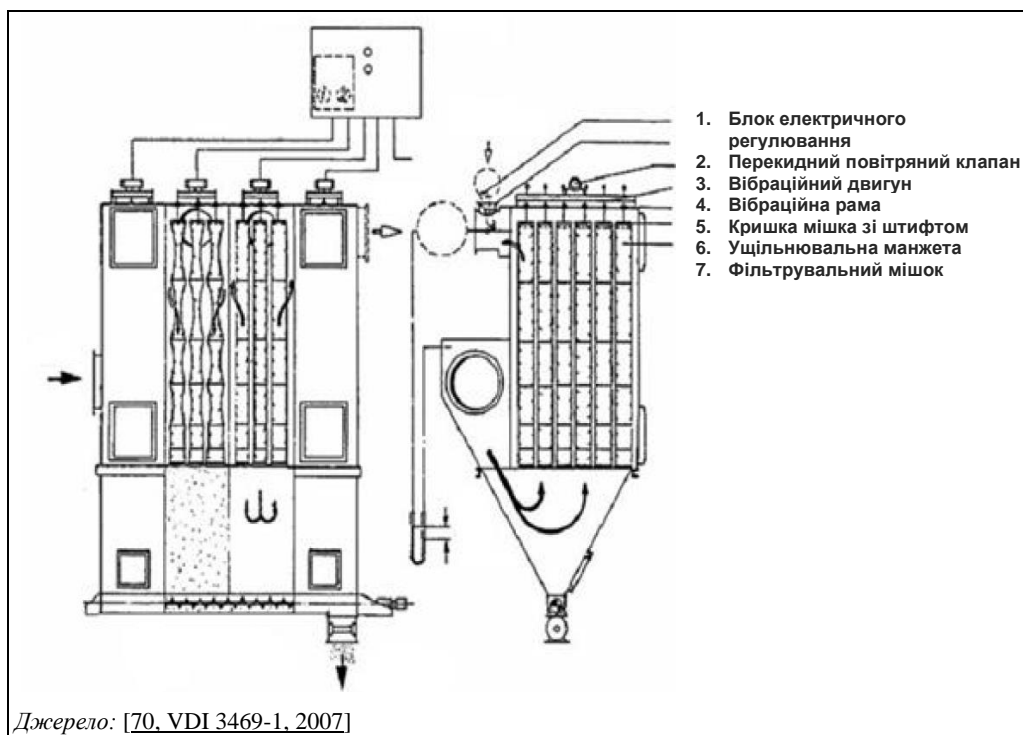


Рисунок 4.4. Схема рукавного (тканинного) фільтра

Найбільш поширеними методами очищення рукавного фільтра є зворотний потік повітря, механічне струшування, вібрація та імпульсне подавання стисненого повітря. Часто використовується комбінація цих методів. Звичайні механізми очищення не відновлюють тканину до її первозданного стану. Тканину не вигідно надто ретельно чистити, оскільки частки, що відклалися в глибині тканини, сприяють зменшенню розміру пор між волокнами, і тому дають змогу досягти більшої ефективності.

Рукавні фільтри проєктуються на основі очікуваної швидкості фільтрування, котра визначається як максимальна допустима швидкість газу, що протікає крізь одиницю площі тканини (виражена у м/с). Швидкості фільтрування зазвичай знаходяться у діапазоні від 0,01 до 0,06 м/с відповідно до конкретного випадку застосування, типу фільтра та тканини. Конструкція фільтра повинна забезпечувати оптимальний компроміс між перепадом тиску (експлуатаційні витрати) та розміром (капітальні витрати). Якщо швидкість фільтрування надто велика, перепад тиску буде великим, частки будуть проникати у тканину і призводити до її забивання. Якщо швидкість фільтрування надто мала, фільтр буде ефективним, але дуже дорогим.

Оскільки частки, присутні у відхідних газах після скловарних ванних печей, схильні прилипати до матеріалу фільтра, осаджені частки іноді може бути важко зчистити з матеріалу фільтра. Для забезпечення задовільної безперервної роботи фільтра можна скористатися схильністю часток до злипання, безперервно повертаючи частину потоку часток, зчищених з матеріалу фільтра, у забруднений газовий потік. Використання гашеного вапна для очищення газів посилює цей ефект.

При виборі тканинного матеріалу необхідно враховувати склад газів, характер і розмір часток пилу, метод очищення, який буде застосовуватися, потрібну ефективність та економічні міркування. Також потрібно враховувати температуру газу разом з методом охолодження газу, якщо воно використовується, і точку роси утвореної в результаті водяної пари та кислоти. Серед характеристик тканини, які потрібно враховувати, – максимальна робоча температура, хімічна стійкість, форма волокон та тип пряжі, плетіння тканини, обробка тканини, стійкість до стирання та згинання, міцність, ефективність уловлювання часток, апретування тканини та проникність тканини.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Рукавні фільтри – це високоефективні пристрої для уловлювання пилу, і від них можна очікувати ефективності уловлювання у 95 – 99 %.

За їх допомогою викиди твердих часток можна знизити до $0,5 - 5 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$, і в багатьох випадках застосування можна очікувати рівнів нижче $5 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ Це загалом дорівнює менш ніж $0,008 \text{ кг}$ на тонну звареного скла і менш ніж $0,02 \text{ кг/т}$ скла у деяких особливих випадках, таких як виробництво боросилікатного скла або модифікованого вапняно-натрієвого скла. Проте слід зазначити, що у випадках періодичних вимірювань невизначеність стандартних методів (див. EN 13284-1: 2003) має такий же порядок величини, як і виміряне значення; тому повідомлені дані з низькими концентраціями слід оцінювати обережно.

Необхідність досягнення таких низьких рівнів може мати велике значення, якщо пил, що виділяється у технологічному процесі, містить велику кількість металів (яка близька до граничних значень викидів або перевищує їх).

Видалення сполук бору з відхідних газів може бути ефективнішим у разі використання рукавного фільтра, який здатен працювати за порівняно низьких температур (див. розділ 4.4.1).

Для сектора виробництва мінеральної вати, особливо у випадку вагранок для виробництва кам'яної вати, повідомлялося, що застосування рукавних фільтрів на існуючих установках лише приблизно у 60 % випадків призводить до зниження концентрацій пилу у викидах нижче $10 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$

Якщо у поєднанні з рукавним фільтром використовується ступінь очищення газів, результуючі загальні викиди кислотних газів зазвичай будуть нижчими (див. розділи 4.4.3 та 4.4.4.2). Якщо пил переробляється, частина кислотних газів буде повторно викидатися. Проте при цьому встановиться динамічна рівновага, за якої, у цілому, більша їх кількість буде захоплюватися склом, рівні деяких видів сировини можуть зменшитися, а загальні викиди будуть меншими. У випадку деяких газоподібних забруднювачів та за особливих обставин ефективність сухого очищення у поєднанні з рукавними фільтрами може бути вищою, ніж у поєднанні з електростатичними фільтрами, оскільки забруднювачі будуть додатково поглинатися фільтраційним кеком, присутнім на мішках, або під час переробки частини пилу у рамках механізмів, що спостерігаються у сучасних рукавних фільтраційних системах.

Міжсередовищні наслідки

Використання рукавних фільтрів супроводжується споживанням електроенергії для подавання стисненого повітря та для роботи вентиляторів і систем керування, на яку припадає менш ніж 1 % споживання енергії піччю. Опосередковані викиди CO_2 , пов'язані з використанням електроенергії, залежать від джерела її виробництва на електростанції. Розрахункові викиди з печі для виробництва флоат-скла потужністю 500 тонн/добу складають близько 2 500 тонн CO_2 /рік (приблизно 2,5 – 3 % річних викидів CO_2 зі скловарної печі). Розрахункові дані для печі, у якій виготовляється тарне скло, потужністю 300 тонн/добу демонструють, що опосередковані викиди CO_2 , пов'язані з використанням рукавного фільтра, можуть досягати 3 % річних викидів CO_2 зі скловарної печі (утворених у результаті згорання та з сировини).

У випадку печей для виробництва столового посуду опосередковані викиди CO_2 становлять близько 200 – 250 тонн/рік для потужності 30 – 40 тонн/добу та 600 тонн/рік для більших печей потужністю 180 – 200 тонн/добу (близько 3 % загальних викидів CO_2 з печі).

За оцінками, опосередковані викиди, пов'язані з використанням електроенергії, знаходяться в межах $10 - 26 \text{ кг CO}_2$ на тонну звареного скла, $0,025 - 0,045 \text{ кг NO}_x$ на тонну звареного скла і $0,09 - 0,16 \text{ кг SO}_2$ на тонну звареного скла, залежно від потужності установки (розрахункові питомі показники також наведені у розділі 8.1.7, у Таблиці 8.7).

Як і у випадку з електростатичними фільтрами, додаткові опосередковані викиди пов'язані з виробництвом лужних реагентів, що використовуються у процесі очищення газів (бікарбонат натрію, карбонат натрію, гідроксид кальцію). За оцінками, ці значення знаходяться в діапазоні 60 – 200 тонн CO_2 /рік для печей з виробництва тарного скла потужністю 200 – 600 тонн/добу ($<0,5\%$ загальних викидів CO_2 з печі) та до 300 – 600 тонн CO_2 /рік для великих печей з виробництва флоат-скла потужністю 500 – 900 тонн/добу (близько $0,5\%$ загальних викидів CO_2 з печі).

Якщо у складі цієї технології реалізований ступінь очищення газів, утворюється потік твердих відходів, який необхідно переробити в печі або захоронити. Як у випадку застосування електростатичних фільтрів, утворення твердих відходів може бути серйозним міжсередовищним наслідком, якщо пил неможливо переробити, і його необхідно утилізувати за межами об'єкта. У випадку застосування рукавного фільтра на переробку відфільтрованого пилу накладаються ті ж самі обмеження, що описані у розділі 4.4.1.2. Витрати та міжсередовищні наслідки для систем контролю забруднення повітря, що застосовуються у скловарних печах, підсумовані у Таблиці 8.7, розділ 8.1.7.

Експлуатаційні параметри

Як і у випадку з електростатичними фільтрами, ефективність зниження викидів пилу у рукавному фільтрі може змінюватися з часом та залежно від умов роботи (див. розділ 4.4.1.2, експлуатаційні параметри).

Для роботи системи рукавних фільтрів вкрай важливо підтримувати температуру відхідних газів у межах належного діапазону. Параметри газу необхідно підтримувати вище точки роси всіх присутніх сполук, здатних конденсуватися (наприклад, H_2SO_4 або води), але нижче верхньої граничної температури для фільтрувального матеріалу. Якщо температура надто низька, сполуки конденсуються, а це може призвести до забивання мішка та/або агресивного хімічного впливу на тканину фільтра. Якщо температура надто висока, фільтрувальний матеріал може пошкодитися і потребуватиме заміни, яка коштує дорого. Максимальна робоча температура традиційних тканин для фільтрів зазвичай знаходиться в межах від 130 до 220 $^{\circ}\text{C}$, і, як правило, чим вища робоча температура, тим більша вартість. У більшості процесів виробництва скла температура відхідних газів становить від 450 до 800 $^{\circ}\text{C}$. Тому газ перед фільтром потрібно охолодити шляхом розбавлення, охолодження водою або за допомогою теплообмінника.

Якщо димові гази з великою ймовірністю містять кислотні сполуки (зокрема, у мазутних печах), вважається за необхідне встановити перед фільтром ступінь очищення газів, щоб уникнути конденсації кислоти, яка б пошкодила певні матеріали мішка та корпус фільтра. У випадку, якщо димові гази містять бор, ступінь очищення газів сприяє осадженню легких сполук бору і полегшує збирання пилу без засмічення фільтра.

Хоча рукавні фільтри складаються з чутливих матеріалів, їх технологія вдосконалилася, і сучасні фільтри стали достатньо витривалими. Існують належні системи керування, які дають змогу ефективно регулювати температуру для запобігання пошкодженню тканини мішка, забезпечуючи загальну високу надійність. Щоб запобігти пошкодженню тканини фільтра, якого можна було б уникнути, необхідно застосовувати належним чином розроблену технічну процедуру у поєднанні з надійною системою безперервного електронного керування.

Сучасні системи рукавних фільтрів складаються з більш ніж 1 000 мішків. Пошкодження невеликої кількості мішків зазвичай не справляє суттєвого впливу на ефективність фільтрування. Системи безперервного моніторингу викидів пилу, встановлені на димовій трубі, результативно виявляють будь-які потенційні проблеми.

Основні переваги і недоліки використання рукавних фільтрів підсумовані у Таблиці 4.9.

Таблиця 4.9. Основні переваги і недоліки рукавних фільтрів

<u>Переваги</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Дуже висока ефективність уловлювання • Уловлювання утворених речовин у сухих умовах • Менші капітальні витрати на простіші випадки застосування • Ефективне захоплювання металів • У цілому, підвищена ефективність видалення кислотних газоподібних сполук – наприклад, фтороводню, сполук селену та бору
<u>Недоліки</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Утворюється потік твердих відходів, який не завжди можливо переробити • Підвищене споживання енергії через великий перепад тиску (CO_2 та інші опосередковані викиди у результаті виробництва електроенергії) • Часто необхідне охолодження газу • Іноді потрібна підготовка тканини до потрібного стану • Іноді потрібні дорогі тканини • Проблеми з точкою роси призводять до забиття рукавних фільтрів та корпусу фільтра • Очищене повітря (зворотний потік) іноді потрібно нагрівати • Деякі види пилу дуже важко скинути з фільтра, і це призводить до перепаду тиску, який перевищує проєктне значення • Температура димових газів на виході надто низька для застосування СКВ, тож відхідні гази необхідно повторно нагрівати, а це призводить до збільшення споживання енергії приблизно на 5 – 10 % у порівнянні зі споживанням енергії скловарною піччю

Застосовність

Рукавні фільтри набули широкого вжитку у ряді секторів скляної промисловості. В принципі, рукавні фільтри можна застосовувати до всіх типів печей у скляній промисловості – як до нових, так і до існуючих печей. Проте у багатьох секторах цій технології нечасто віддають перевагу через порівняно високу потребу в технічному обслуговуванні та здатність тканини забиватися, що призводить до витратної заміни фільтрувального матеріалу. Втім, додавання ступеня очищення газів та використання палива з низьким вмістом сірки зменшує схильність мішків до забивання.

Ще одна проблема рукавних фільтрів полягає в тому, що більшість печей, які працюють на викопному паливі, потребують чутливого регулювання тиску, і присутність рукавного фільтра з великим перепадом тиску на ньому може ускладнити це регулювання. Сучасні матеріали та системи керування пом'якшили цю проблему.

З огляду на згадані проблеми, вважається більш технічно доцільним під'єднувати кілька печей до електростатичного фільтра, ніж до рукавного фільтра.

У сучасних системах більшість згаданих вище проблем вдалося подолати, і є багато прикладів рукавних фільтрів, що експлуатуються на заводах для виробництва тарного скла, боросилікатного скла та в інших секторах скляної промисловості.

У секторі виробництва плоского скла вкрай важливо регулювати тиск у печі, аби забезпечити високу якість скла, необхідну у багатьох випадках застосування. Через високий перепад тиску, що створюється на фільтрі, рукавні фільтри виявилися дуже складними в експлуатації за умов підтримання необхідного режиму тиску в печі, а відтак і необхідної якості скла, що виготовляється. Саме тому, а також через труднощі з кондиціонуванням димових газів за низьких температур, рукавні фільтри є не найкращим варіантом для печей з виробництва флоат-скла. У 1996 році рукавним фільтром була обладнана одна піч для варіння флоат-скла, і на сьогодні вона залишається єдиною в Європі. З того часу жодна інша піч для варіння флоат-скла не була обладнана рукавним фільтром – у всіх випадках віддавали перевагу технології електростатичних фільтрів.

Непрхідність фільтрів внаслідок забиття проблеми стала особливо серйозною проблемою в печах для виробництва скловати (а також деяких інших видів боровмісного скла), що працюють на викопному паливі, внаслідок липкості дрібнодисперсних твердих часток, через яку забиття фільтра важко уникнути, окрім як застосовуючи ступінь сухого очищення газів.

Печі зазвичай працюють на газі з дуже низькими концентраціями кислотних сполук, тому, за умови належного технічного обслуговування рукавного фільтра, ступінь очищення газів може не вважатися необхідним. Це значно знижує капітальні та експлуатаційні витрати і суттєво полегшує переробку пилу. Проте використання ступеня очищення газів сприяє поглинанню та конденсації летких сполук – наприклад, сполук бору та селену.

Ще одна проблема рукавних фільтрів полягає в тому, що більшість печей, які працюють на викопному паливі, потребують чутливого регулювання тиску, і присутність рукавного фільтра з великим перепадом тиску на ньому може ускладнити це регулювання. Сучасні матеріали та системи керування пом'якшили цю проблему.

Ця технологія широко використовується у поєднанні з електричними печами, вагранками для виробництва кам'яної вати, печами для виробництва фрит та печами для виробництва високотемпературного ізоляційного волокна (ВТІВ) і, меншою мірою, у печах для виробництва тарного скла. У багатьох невеликих печах, що працюють на викопному паливі, рукавні фільтри були вибрані у якості технології, що працює у поєднанні з системами очищення газів, які встановлюються для зниження викидів кислотних газів. Крім того, дуже привабливими можуть бути менші капітальні витрати на рукавні фільтри у порівнянні з електростатичними фільтрами: вони компенсують витрати, пов'язані з більшою потребою в технічному обслуговуванні та ризиком забиття мішка.

Застосування системи рукавних фільтрів не є найкращим варіантом у випадках, коли передбачене використання СКВ, через загалом низькі робочі температури, які несумісні з умовами роботи каталізатора.

Економіка

У цілому, інвестиційні витрати для системи рукавних фільтрів можуть бути меншими, ніж для електростатичних фільтрів, проте поточні витрати можуть бути більшими. Проте у випадку великих об'ємів газів питомі витрати на рукавні фільтри у поєднанні зі ступенем сухого очищення газів можуть бути сумірними або навіть більшими, ніж для електростатичного фільтра з газоочисною системою. Це головним чином стосується печей для виробництва флоат-скла або ситуацій, коли кілька печей для виробництва тарного скла під'єднані до єдиної системи контролю забруднення повітря.

Витрати на рукавні фільтри залежать від таких основних чинників:

- об'єм відхідних газів;
- площа поверхні фільтра (залежно від потрібної ефективності);
- матеріал фільтра (скловолокно, поліамід, поліїмід, тощо);
- кондиціонування відхідних газів з метою їх нагрівання до робочої температури фільтра);
- якщо необхідно здійснювати очищення кислотних газів – ефективність скрубера та типу очисної речовини для скрубера (тобто гашеного вапна, бікарбонату натрію, карбонату натрію);
- характеристики заводу (наявність вільної виробничої площі, компонування, необхідна підготовка майданчика, тощо);
- вартість енергії, електроенергії, води та робочої сили;
- вартість утилізації відходів (якщо їх неможливо переробити).

Оцінка витрат для різних потужностей печі та ефективностей видалення SO_x була виконана за методикою, наведеною у розділі 8.1, з урахуванням двох варіантів утилізації відходів: повної переробки відфільтрованого пилу та захоронення всього пилу як відходів. Дані базуються на реальних вартостях (наприклад, розцінках постачальників) та розрахункових значеннях [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008].

При цьому враховувалася концентрація пилу в викидах у межах $<5 - 10 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$, а також типовий початковий рівень викидів у $800 - 1000 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ SO_x для газових печей та $1800 - 2000 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ SO_x для мазутних печей, з припущенням, що ефективність видалення SO_2 обмежена і становить близько 30 % за умов сухого очищення газів з використанням гашеного вапна, якщо не зазначено інше. Розрахункові показники витрат наведені нижче.

Виробництво флоат-скла

- Розрахункові загальні інвестиційні витрати на рукавний фільтр + ступінь сухого очищення газів еквівалентні 2,7 мільйона євро для газової печі потужністю 500 тонн/добу та 4,5 мільйона євро для мазутної печі, якщо у поєднанні з рукавним фільтром використовується система напівсухого очищення газів.
- Експлуатаційні витрати, за оцінками, складають від 700 000 до 930 000 євро на рік, залежно від типу палива та можливості переробки відфільтрованого пилу.
- Розрахункові питомі витрати на тонну звареного скла можуть різнитися від 7 до 9,5 євро на тонну звареного скла, залежно від палива та за умови захоронення всього відфільтрованого пилу.
- Питомі витрати можуть варіюватися від 12 до 21 євро на кг видаленого пилу та від 0,6 до 1 євро на кг видаленого SO_2 , залежно від потужності установки та умов експлуатації (типу палива та частки відфільтрованого пилу, що захоронюється).

Виробництво тарного скла

- Загальні інвестиційні витрати на систему контролю забруднення повітря (рукавний фільтр + ступінь сухого очищення газів) можуть варіюватися від 1,2 мільйона до 2 мільйонів євро, залежно від розміру печі (200 – 600 тонн/добу).
- Експлуатаційні витрати можуть варіюватися від 160 000 до 526 000 євро на рік: менше значення відповідає газовій печі з переробкою відфільтрованого пилу, а більше значення відповідає мазутній печі з захороненням усього відфільтрованого пилу.
- Питомі витрати на тонну звареного скла можуть варіюватися від 2,7 до 7,3 євро: менше значення відповідає великій печі (600 т/добу) та переробці відфільтрованого пилу, а більше значення відповідає мазутній печі потужністю 290 т/добу та захороненню відфільтрованого пилу.
- Питомі витрати можуть варіюватися від 13 до 23 євро на кг видаленого пилу та від 0,65 до 1,2 євро на кг видаленого SO_2 , залежно від потужності установки та умов експлуатації.
- Більші інвестиційні витрати, близько 2,3 мільйона євро, очікуються для систем контролю забруднення повітря, що складаються з рукавного фільтра + ступеня напівсухого очищення газів і застосовуються на печі потужністю 350 т/добу. У цьому випадку питомі витрати на тонну звареного скла становлять порядку 5 – 6,5 євро.

Виробництво сортового скла

- Загальні інвестиційні витрати на систему контролю забруднення повітря (рукавний фільтр + ступінь сухого очищення газів) можуть варіюватися від 0,77 до 1,15 мільйона євро, залежно від розміру печі (30 – 200 тонн/добу).
- Експлуатаційні витрати можуть варіюватися від 65 000 до 174 000 євро на рік: менше значення відповідає невеликій газовій печі (30 т/добу), а більше значення відповідає більшій газовій печі (180 т/добу); відфільтрований пил з обох печей переробляється.
- Питомі витрати на тонну звареного скла можуть варіюватися від 3,8 до 13,8 євро, залежно головним чином від розміру печі: менше значення відповідає більшим печам, а більше значення відповідає печі потужністю 30 т/добу.
- Питомі витрати на кг видаленої забруднюючої речовини можуть варіюватися від 23 до 35 євро на кг видаленого пилу та від 1,2 до 1,8 євро на кг видаленого SO_2 , залежно від потужності установки та умов експлуатації.

На Рисунку 4.5 наведені деякі розрахункові показники витрат для рукавних фільтрів з сухими скруберами, що застосовуються у печах для виробництва тарного скла.

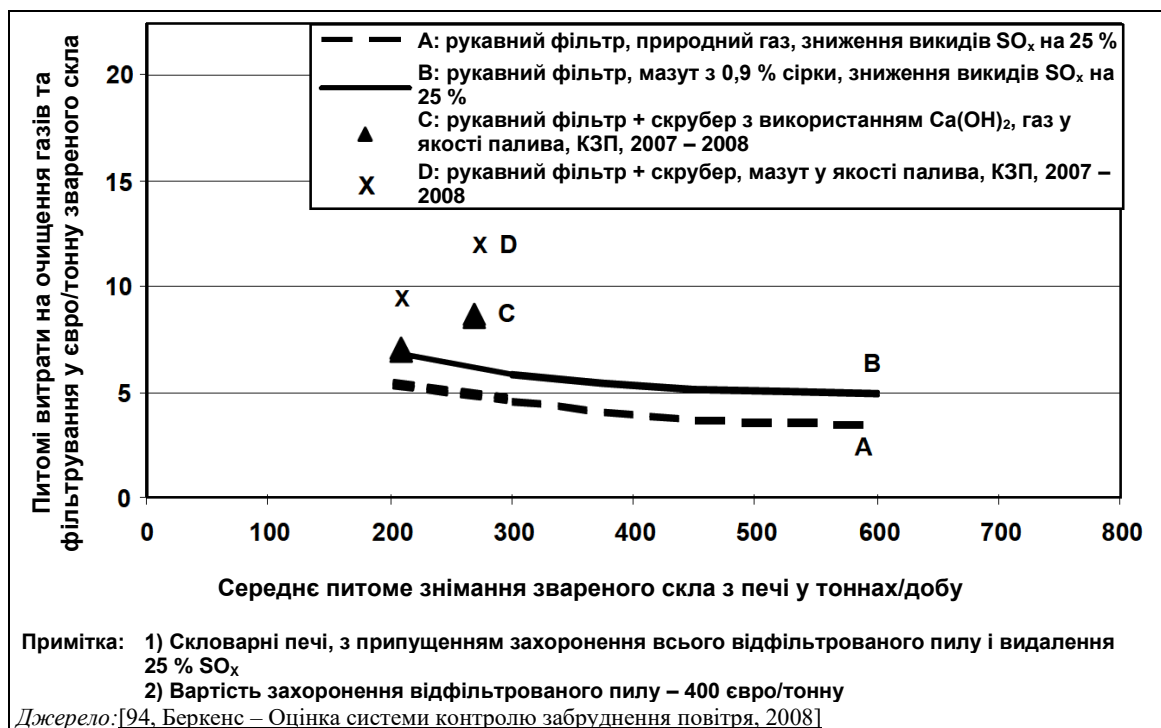


Рисунок 4.5. Розрахункові витрати для сухих скрубберів у поєднанні з рукавними фільтрами для печей з виробництва тарного скла, з припущенням захоронення всього відфільтрованого пилу і видалення 25 % SO_x

Як видно з Рисунок 4.5, питомі витрати для мазутних печей, з припущенням зниження викидів SO_2 на такий же відсоток, виявляються на 30 – 35 % більшими, ніж для газових печей – головним чином за рахунок більших витрат на захоронення сульфатного відфільтрованого пилу та більших витрат на гашене вапно (оскільки у димових газах мазутних печей вищі концентрації SO_2 , для них потрібно більше гашеного вапна). У 2007 році для установок C та D ці витрати виявилися більшими, як видно з Рисунок 4.5, через більші капітальні (інвестиційні) витрати на установку (фільтр, скруббер та трубопроводи). Типові витрати на установки для менших виробництв скла варіюються від 6 до 10 Євро на тонну звареного скла, проте іноді можна очікувати навіть більших витрат. Для установок з продуктивністю понад 400 – 500 тонн/добу витрати становлять від 3,5 до 5 Євро на тонну звареного скла. Ці витрати стосуються газових печей з захороненням усього пилу, зібраного з фільтрів, на полігоні. У випадку роботи печі на мазуті та захоронення відфільтрованого пилу питомі витрати збільшаться на 1 – 1,5 Євро на тонну звареного скла.

У розділі 8.1.7, в Таблиці 8.7 підсумовані розрахункові витрати для установок різного розміру у секторах виробництва тарного, плоского скла, скляного столового посуду та скловолокна з безперервних ниток при застосуванні рукавних фільтрів з різними варіантами систем очищення газів.

Приклади фактичних показників витрат для двох установок, що виготовляють спеціальне скло за різних умов експлуатації, наведені у Таблиці 4.10.

Таблиця 4.10. Приклади фактичних витрат для рукавних фільтрів, що застосовуються на двох установках у секторі виробництва спеціального скла

	Спеціальне скло Установка № 1 ⁽¹⁾		Спеціальне скло Установка № 2
Тип печі	Електрична скловарна піч		Киснево-паливна піч
Паливо			Природний газ
Потужність печі	86 т/добу		50 т/добу
Фактичне питоме знімання скломаси	80 т/добу		40 т/добу
Електричне форсування			Так
Тип скла	Боросилікатне, біле		Боросилікатне
Скляний бій	70 %		60 %
Питоме споживання енергії ⁽²⁾	4,18 ГДж/т скла (середнє значення для двох печей)		6,72 ГДж/тонну скла
Температура перед фільтром	80 °C		105 °C
Тип сорбенту	Ca(OH) ₂		Ca(OH) ₂
Кількість сорбенту	3 кг/год.		15 кг/год.
Повторне використання відфільтрованого пилю у рецептурі шихти	0%		0%
Споживання енергії фільтрувальною системою включно з вентилятором	20 кВт·год./год.		34 кВт·год./год.
Інвестиційні витрати ⁽³⁾	440 000 євро		1.5 мільйона євро
Період амортизації	10 років		15 років
Експлуатаційні витрати	50 000 євро/рік		83 109 євро/рік
Річні амортизаційні витрати	58 520 євро/рік		126 000 євро/рік
Загальні річні витрати	108 520 євро/рік		209 109 євро/рік
Розрахункові витрати на тонну скла	3,71 євро/т скла		14,32 євро/т скла
Відповідні рівні викидів (B_{PRV})	Середні значення за півгодини		Середні значення за півгодини
мг/м ³ н.у., сухий газ	Пил: 1,2 ⁽⁴⁾ SO _x : 0,7 HCl: 5,1 HF: 0,3	Пил: 0,8 ⁽⁴⁾ SO _x : 4,7 HCl: 22,0 HF: 0,3	Пил: 0,3 ⁽⁴⁾ SO _x : 5,6 HCl: 6,9 HF: 0,45
кг/т скла	Пил: 0,0017 SO _x : 0,037 HCl: 0,028 HF: 0,0018	Пил: 0,0008 SO _x : 0,013 HCl: 0,061 HF: 0,0009	Пил: 0,0027 SO _x : 0,054 HCl: 0,066 HF: 0,0043
⁽¹⁾ Дані вказані для установки з двома електричними печами; вказана продуктивність є сумою від двох печей. ⁽²⁾ Повідомлені дані стосуються енергії в місці використання без приведення до первинної енергії. ⁽³⁾ Показники витрат стосуються системи фільтрування та сухого очищення газів. Значення за рік встановлені системи контролю забруднення повітря не обов'язково характеризують поточні витрати. ⁽⁴⁾ Низькі значення концентрацій отримані в результаті точкових вимірювань і можуть бути пов'язані з особливо сприятливими умовами. Невизначеність методу вимірювання зазвичай того ж порядку величини, що й виміряне значення (див. розділ 8.3.2). Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]			

Рушій для впровадження

Найважливішим рушієм є дотримання граничних значень викидів, встановлених законодавством.

Додатковим чинником, який є рушієм для встановлення системи рукавних фільтрів у поєднанні зі ступенем сухого або напівсухого очищення газів, може бути необхідність зниження викидів металів (Pb, Se, тощо) та/або газоподібних викидів (SO₂, HF, HCl, тощо). Якщо викиди металів пов'язані з викидами пилю, рукавні фільтри можуть бути хорошим рішенням. У випадку летких металів, таких як селен та миш'як, низькі робочі температури рукавних фільтрів сприяють ефективному захоплюванню металів.

Приклади заводів

У секторі тарного скла в 2005 році понад 16 заводів були обладнані рукавними фільтрами, а в інших секторах скляної промисловості існувало багато інших таких заводів. У країнах ЄС-27 рукавний фільтр застосовується лише на одній установці з виробництва плоского скла.

Посилання на літературу

[33, Беркенс, 1999], [64, FEVE, 2007], [70, VDI 3469-1, 2007], [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

[86, Австрійські заводи з виробництва тарного скла, 2007], [110, Австрія, Заводи з виробництва сортового скла, 2007]

4.4.1.4 Механічні уловлювачі

Опис

Термін «механічні уловлювачі» означає технології, у яких для відділення пилу від газового потоку використовуються механічні сили (сила тяжіння, сила інерції, відцентрова сила), наприклад:

- циклони – газ приводиться в обертовий рух, і пил відділяється під дією відцентрової сили;
- гравітаційні осаджувачі – газ входить у велику камеру, яка зменшує швидкість руху газу, і завдяки цьому пил осаджується;
- камери з відбійними перегородками – відбійна перегородка змінює напрямок руху газу і змушує пил осісти;
- жалюзі – групи невеликих відбійних перегородок, які розділяють потік газу і змінюють напрямок його руху, змушуючи пил осісти.

Ці технології мають низьку ефективність уловлювання у випадку малих часток, особливо з діаметрами меншими, ніж 10 мкм, і, оскільки більшість видів пилу, що зустрічаються у скляній промисловості, складаються з часток малого розділу, ці технології рідко використовуються. Винятком з цього правила є циклони, які застосовуються в деяких випадках, особливо як ступінь попереднього очищення для інших технологій. Їх принципи роботи та основні переваги і недоліки підсумовані нижче. Проте, оскільки циклони не вважаються дієвою технологією для зниження викидів з печей, вони не описуються детально.

Циклон – це пристрої для інерційного очищення газів. Пил відділяється від газового потоку, коли напрямок течії газу змінюється, а пил продовжує рухатися у початковому напрямку за рахунок його інерції, і потім осідає на осаджувальній поверхні. Існує два типи циклонів: протитечієві та прямотечієві. Протитечієві циклони найбільш поширені; вони складаються з циліндричної оболонки, яка має конічне дно, бункера для збору пилу та патрубків для входу і виходу повітря. Існує два основні типи протитечієвих циклонів: тангенціальні та осеві. Ця класифікація базується на геометрії патрубка для входу повітря.

Вхідний газовий потік закручується у вихор, і відцентрові сили підтримують його круговий рух. Частки, розмір яких перевищує критичний, викидаються з вхідної спіралі у ширший канал круглого перерізу і осідають на стінці циклону. Потік повітря відносить пил у збиральний бункер, на дні конуса газовий потік змінює свій напрямок на протилежний, і очищений газ повертається назад уздовж осі циклону по вихідній спіралі.

Ефективність циклону загалом збільшується зі збільшенням таких параметрів: густина твердих часток, швидкість на вході, довжина циклону, кількість обертів, які робить газ, відношення діаметра корпусу до діаметра вихідного патрубка, діаметр часток, кількість пилу та гладкість стінки циклону. Ефективність зменшується зі збільшенням таких параметрів: в'язкість газу, густина газу, температура, діаметр циклону, діаметр патрубка для виходу газу, ширина каналу для входу газу та площа поверхні вхідного патрубка.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Циклони широко застосовуються в інших галузях промисловості і особливо добре підходять для збору часток діаметром понад 10 мкм. Залежно від конструкції,

ефективність уловлювання пилу в циклонах середньої/високої ефективності становить 45 – 90 % для часток розміром 10 мкм та 5 – 30 % для часток розміром 1 мкм. Циклони часто встановлюються перед дорожчими системами для видалення грубодисперсного матеріалу з газового потоку, а відтак для зменшення пилового навантаження у потоці, що входить в основне обладнання для зниження викидів.

Основні переваги і недоліки використання циклонів підсумовані у Таблиці 4.11.

Таблиця 4.11. Основні переваги і недоліки циклонів

<u>Переваги:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Низькі капітальні та експлуатаційні витрати (включно з технічним обслуговуванням) • Помірний перепад тиску • Потребує мало виробничої площі для встановлення у порівнянні з іншими технологіями • Здатний працювати з великим пиловим навантаженням • Може використовуватися для широкого спектру газів та видів пилу • Може експлуатуватися за високих температур та тисків • Може виготовлятися з дуже різноманітних матеріалів
<u>Недоліки:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Низька ефективність уловлювання невеликих часток • Важко видаляти легкі матеріали або матеріали голчастої форми • За роботи в умовах, що відповідають точкам роси, циклон може забиватися • Важко влаштувати вибухорозрядний пристрій для легкозаймистих матеріалів • Потенційно можливі проблеми з абразивним пилом

Застосовність

У скляній промисловості ця технологія рідко використовується сама по собі, окрім сектора виробництва мінеральної вати, у якому циклони часто використовуються у поєднанні з іншими очисними системами для очищення відхідних газів, що утворюються в результаті операцій подальшої обробки. У цілому, циклони використовуються для видалення грубодисперсних матеріалів з метою зменшення кількості пилу, що потрапляє в основну систему зниження викидів.

4.4.1.5 Високотемпературні фільтрувальні матеріали

Опис

Однією з проблем традиційних рукавних фільтрів є потреба в підтриманні температури відхідних газів у межах робочого діапазону фільтрувального матеріалу. Якщо температура піднімається вище максимальної граничної температури, газ потрібно пропустити в обхід фільтра або охолодити – наприклад, шляхом розбавлення. Для традиційних фільтрувальних матеріалів гранична температура становить 120 – 180 °С, а для деяких матеріалів – до 250 °С (скловолокно). У разі використання матеріалів, що здатні працювати за температур понад 180 °С, витрати на матеріали суттєво збільшуються. У деяких випадках було застосовано високотемпературні фільтрувальні матеріали, проте такі фільтри не є звичайними рукавними фільтрами, і за конструкцією зазвичай подібні до свічкових фільтрів.

Високотемпературні фільтри успішно використовувалися для зниження викидів у деяких вагранках для виробництва кам'яної вати, проте більше не використовуються через великі витрати або через те, що їх завод закрився. Найбільш поширеним високотемпературними фільтрами, що використовуються в інших галузях, є керамічні свічки або свічки з високотемпературного волокна для видалення пилу. Ці свічки виготовляються з алюмосилікатних матеріалів і можуть застосовуватися за температур до 1000 °С. На сьогодні доступний новий тип фільтра, у якому технологія керамічних свічок поєднується з закладеним каталізатором для видалення NO_x. Ця технологія все ще вважається лише перспективною технологією, тому вона розглядається у розділі 6.7.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Повідомлялося, що при застосуванні високотемпературних керамічних фільтрів концентрації пилу вдалося знизити до $<10 \text{ мг/м}^3$ н.у. Новіша інформація стосується застосування удосконалених керамічних та каталітичних керамічних фільтрів для видалення кількох забруднюючих речовин (див. розділ 6.7).

Основні переваги і недоліки використання високотемпературних фільтрів підсумовані у Таблиці 4.12.

Таблиця 4.12. Основні переваги і недоліки високотемпературних фільтрів

<u>Переваги:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Можуть експлуатуватися за високих температур – до 1000°C • Загалом мають високу стійкість до кислотних газів • Висока ефективність фільтрування – до 99,9 % • Не потрібно знижувати температуру димових газів шляхом їх розбавлення повітрям • Системи використання відхідного тепла можна розташувати після фільтра (на шляху очищених газів) в умовах високих температур
<u>Недоліки:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Жорсткі та дорогі матеріали • Великі витрати на технічне обслуговування та ремонт у разі пошкоджень • Низька хімічна стійкість до HF за високої вологості та низьких температур

4.4.1.6 Мокрі скрубери**Опис**

Системи мокрого очищення газів можна використовувати для контролю як газоподібних викидів, так і викидів твердих часток, хоча їх загалом ефективніше застосовувати для видалення газоподібних забруднюючих речовин. Хоча базова технологія для обох цих видів викидів однакова, проєктні критерії для видалення твердих часток і газу дуже відрізняються. Проте, щоб уникнути збільшення капітальних витрат, системи мокрого очищення газів часто використовують для контролю змішаних викидів твердих часток і газів. Така конструкція неминуче є компромісною, проте може становити НДТМ у випадках, коли окремі системи керування надмірно дорогі. Системи мокрого очищення газів можуть бути схильними до забивання нерозчинними частками, і в них утворюється відпрацьований шлам. Ця технологія детальніше описана у розділі 4.5.6.1.2 для видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, в рамках виробництва мінеральної вати, особливо для операцій у зоні формування, та у розділі 4.4.3.4 для випадків видалення кислотних газів (SO_x , HCl , HF , сполуки бору, тощо).

У деяких випадках може розглядатися можливість застосування скрубєрів з трубами Вентурі. Для цих систем характерний великий перепад тиску, тому вони споживають більше електроенергії і потребують більших експлуатаційних витрат. Хоча за допомогою скрубєрів з трубами Вентурі можна досягати хорошої ефективності видалення забруднювачів, ця технологія в багатьох випадках вважається недоцільною технічно та нерентабельною з огляду на масштаб процесів виробництва скла. Проте видалення викидів пилу шляхом мокрого очищення газів може застосовуватися для деяких спеціальних операцій, особливо якщо також потрібно видаляти газоподібні викиди.

Для більшості скловарних печей мокре очищення газів навряд чи є корисною технологією або оптимальною технологією для економічно ефективного зниження викидів твердих часток.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Для випадку застосування систем мокрого очищення газів у традиційних скловарних печах дані про робочі показники відсутні.

Робочі показники мокрих скрубєрів, що застосовуються в електричній печі для виробництва спеціального скла, наведені у розділі 4.4.3.4

Основні переваги і недоліки використання мокрих скрубєрів підсумовані у Таблиці 4.13.

Таблиця 4.13. Основні переваги і недоліки мокрих скрубєрів

<u>Переваги:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Одночасне видалення твердих часток і газоподібних забруднюючих речовин • Потребують менше виробничої площі для встановлення
<u>Недоліки:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Утворення потоку стічних вод, які потрібно очистити • Висока ефективність лише за великих перепадів тиску та великого споживання енергії • Труднощі та великі витрати при регенерації пилу/шламу для повторного використання у рецептурі шихти

Економіка

Оцінка інвестиційних та експлуатаційних витрат, пов'язаних із застосуванням мокрих систем очищення газів для скловарних печей, підсумована нижче [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008].

- Для киснево-паливної печі потужністю 100 – 150 тонн/добу, у якій виготовляється алюмоборосилікатне безлугове скло (скло Е), інвестиції, оцінені з урахуванням вартості захоронення пилу, що варіюється від 100 до 400 євро на тонну пилу, становлять 2,65 мільйонна євро, з річними експлуатаційними витратами у 286 400 євро та питомими витратами у діапазоні від 14,4 до 21,5 євро на тонну звареного скла.
- Для традиційної газокисневої печі потужністю 100 – 150 тонн/добу, у якій виготовляється алюмоборосилікатне безлугове скло (скло Е), інвестиції, оцінені з урахуванням вартості захоронення пилу та шламу, що варіюється від 100 до 400 євро на тонну пилу, становлять 2,96 мільйонна євро, з річними експлуатаційними витратами у 300 000 євро та питомими витратами у діапазоні від 15,7 до 20,5 євро на тонну звареного скла.

Приклади заводів

У скляній промисловості експлуатується дуже мало заводів з мокрими скрубєрами – головним чином у секторах виробництва сортового скла та скловолокна з безперервних ниток. Це такі заводи:

- Bormioli Luigi, Парма, Італія – сортове скло (електричні печі).
- PPG Industries Fibre Glass, Хогезанд (Hoogezand), Нідерланди – скловолокно з безперервних ниток.

Посилання на літературу

[94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

4.4.2 Оксиди азоту (NO_x)

[88, Пропозиція FEVE, частина 4 – NO_x , 2007]

Термін «оксиди азоту NO_x » охоплює оксид азоту (NO) та діоксид азоту (NO_2) у перерахунку на еквівалент NO_2 . Закис азоту (N_2O) не є типовою забруднюючою речовиною у скляній промисловості і не розглядається у рамках терміну « NO_x ». Трьома основними джерелами викидів NO_x у результаті діяльності, пов'язаної з варінням скла, є сировина, паливо та термічні оксиди азоту NO_x . Внесок четвертого джерела, миттєво утворених оксидів азоту NO_x (внаслідок реакції з азотом за складним ланцюжком з утворенням короткоживучих вуглеводневих радикалів), порівняно незначний.

Якщо у матеріалі шихти присутні нітрати, NO_x будуть викидатися по мірі плавлення матеріалів. Більшість азотних компонентів зазвичай викидається у вигляді NO_x і не включається до складу скла. Наприклад, при плавленні нітрату натрію (NaNO_3) натрієвий компонент включається до складу скла у вигляді Na_2O , а решта сполуки викидається у вигляді газів (NO_x , O_2 та N_2).

Паливні оксиди азоту NO_x утворюються внаслідок окиснення азоту та сполук азоту, присутніх у паливі, проте їх загальний внесок малий у порівнянні з термічними оксидами азоту NO_x . Якщо у якості палива використовується природний газ, кількість паливного NO практично нульова. Проте азот може додаватися до природного газу для регулювання числа Воббе та теплоти згорання. Цей випадок особливо суттєвий для термічних NO_x у киснево-паливних печах і розглядається у розділі 4.4.2.5.

Через високі температури у скловарних печах (до 1650°C та до 2500°C у полум'ї) основним джерелом NO_x є термічно утворені NO_x , що утворюються внаслідок окиснення азоту в атмосфері згорання за температур вище 1300°C . Основними джерелами азоту є повітря, що подається для згорання, повітря, що використовується для розпилення палива (у мазутних печах), вміст азоту у природному газі (у випадку киснево-паливного згорання) та повітря, що протікає у піч. Домінуючою сполукою є NO (90 – 95 %), що утворюється за сумарною реакцією $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$. Рівні NO_2 дуже низькі, і більша частина NO_2 , виявлена у викидах, утворена в результаті окиснення NO в атмосфері. Умови у печі такі, що закис азоту (N_2O) у викидах не зустрічається.

У печах з електричним нагріванням NO_x утворюються лише внаслідок розпаду матеріалів шихти. У вагранках для виробництва кам'яної вати підтримується загалом відновлювальна атмосфера, і викиди NO_x зазвичай дуже малі. Викиди можуть утворюватися, якщо встановлена система допалювання. Така система призначена для окиснення чадного газу та сірководню.

У печах, що працюють на викопному паливі, якщо всі інші чинники незмінні, викиди термічних NO_x зменшуються, якщо зменшується споживання палива. Тому технології, які покращують енергоефективність, зазвичай призводять до зниження загальних викидів NO_x , виражених у $\text{kg NO}_x/\text{тонну}$ звареного скла. Проте концентрація викидів не завжди знижується, особливо якщо об'єми відхідних газів також менші. Зменшення кількості термічних NO_x зумовлене сукупністю чинників, проте головним чином – нижчими температурами та меншими кількостями повітря, що подається для згорання. Технології, які знижують викиди NO_x , проте в першу чергу націлені на зменшення споживання енергії, описані у розділі 4.8 і не розглядаються тут.

4.4.2.1 Модифікації процесу згорання

Опис

Утворення термічних NO_x визначається рядом хімічних реакцій і якісно описується наведеною нижче формулою.

$$\frac{d[\text{NO}_x]}{dt} = \frac{A}{T^{0,5}} \exp\left(-\frac{B}{T}\right) \times [\text{N}_2] \times [\text{O}_2]^{0,5}$$

де A та B – константи швидкості реакції, T – температура полум'я (К), а t – час перебування за температури T (секунди). Усі гази (NO_x , N_2 , O_2) виражені через концентрації (грам-моль/ м^3).

Таким чином, основними факторами, що впливають на утворення NO_x , є температура полум'я, вміст кисню у зоні реакції та час перебування у високотемпературній зоні полум'я. Первинні заходи з контролю NO_x націлені на створення найменш сприятливих умов для утворення NO_x , тобто на те, щоб не допустити одночасної присутності азоту та кисню за високих температур. Основні технології для мінімізації кількості термічних NO_x підсумовані нижче.

а. Зменшене відношення «повітря-паливо»

Протікання повітря у піч, особливо навколо форсунок пальників та через живильник для подавання матеріалів шихти, може призвести до збільшення рівнів NO_x . Блок пальника порівняно легко герметизувати, і можна вжити заходів для запобігання проникненню повітря в зону завантаження шихти. Ці заходи порівняно дешеві і досить дієві. Зниження кількості NO_x , вочевидь, залежить від їх початкової кількості, проте може досягати 10 %. Печі зазвичай працюють з надлишком повітря у 5 – 10 % (тобто 1 – 2 % надлишкового кисню) для забезпечення повного згорання.

Шляхом зменшення відношення «повітря-паливо» до майже стехіометричних рівнів можна досягти значного зниження рівнів NO_x ; крім того, ця технологія також може суттєво заощадити енергію, хоча невеликий надлишок повітря зазвичай все ж потрібен для запобігання значним втратам освітлювача з шихти та для забезпечення потрібної якості скла. Для того, щоб результативно реалізувати цю технологію, необхідно здійснювати моніторинг рівнів NO , CO та O_2 у відхідних газах. Якщо згорання субстехіометричне, рівні чадного газу можуть збільшитися, зношування вогнетривких конструкцій може посилитися, а ступінь окиснення-відновлення скла може змінитися і відтак вплинути на якість скла.

Якщо у якості палива використовується мазут, рівні повітря в печі можна додатково зменшити шляхом використання природного газу, високого тиску або пари як альтернативного засобу для розпилення мазуту замість повітря. Це знижує рівні кисню, а відтак знижує пікові температури полум'я. Результати роботи з використанням цієї технології були неоднозначними, і у деяких випадках отримані вигоди виявилися дуже малими.

Зміни цього типу необхідно впроваджувати обережно і поступово для уникнення проблем та досягнення оптимальних результатів. У деяких випадках (наприклад, у рекуперативних печах), якщо розглядати стехіометрію печі у цілому, пальники в деяких місцях – на найгарячіших ділянках печі – можуть горіти з надлишком мазуту, а інші пальники, на холодніших ділянках, – з невеликим надлишком повітря. Загалом відношення «повітря-паливо» буде близьким до стехіометричного.

б. Знижена температура повітря, що подається для згорання

Температуру полум'я можна знизити шляхом зниження температури підігрівання повітря, що подається для згорання. Наприклад, температури повітря, поданого для згорання, у рекуперативних печах значно нижчі, ніж у регенеративних печах, а це означає нижчі температури полум'я та менші концентрації NO_x . Проте зниження температури підігрівання призводить до зниження ККД печі (меншого питомого знімання скломаси), зниження паливного ККД, а відтак до збільшення потреби в паливі та потенційного збільшення викидів (кг/тонну скла) NO_x , CO_2 , оксидів сірки, твердих часток, тощо. Таким чином, у цілому ця технологія навряд чи принесе вигоди для навколишнього середовища або економічні вигоди.

с. Ступінчасте спалювання

Якщо паливо та повітря/кисень уприскуються в одному й тому ж місці у пальнику, утворюється полум'я з гарячою окисною первинною зоною поблизу вльоту і холоднішою вторинною зоною далі від вльоту. Більшість NO_x утворюється в найгарячішій зоні. Тому зниження частки повітря або палива, що вприскується у пальник, забезпечує зниження максимальної температури та інтенсивності утворення NO_x . Решта палива, повітря або кисню додається пізніше у зону згорання. На застосуванні цього принципу і базується ступінчасте спалювання – як у випадку ступінчастого подавання повітря, так і у випадку ступінчастого подавання палива.

Ступінчасте подавання повітря полягає в тому, щоб організувати субстехіометричне горіння палива, а потім додати решту повітря або кисню в піч для забезпечення повного згорання. Ступінчасте подавання повітря або кисню можна влаштувати кількома способами. Перший досвід застосування ступінчастого подавання гарячого повітря був проблемним. У США були розроблені технології ступінчастого повітряного дуття (BAS) та ступінчастого подавання збагаченого киснем повітря (OEAS).

Станом на 2010 рік, інформація про застосування процесу ступінчастого подавання повітря відсутня.

Ступінчасте подавання палива базується на такому повітрі: у горловині вльоту запалюється низькоімпульсне полум'я (близько 10 % загальної енергії). Це вторинне полум'я покрис кореневу частину первинного полум'я, знижуючи вміст кисню у первинному полум'ї та температуру в його ядрі. Таким чином, інтенсивність утворення NO_x знижуються. Ця технологія широко застосовується у скляній промисловості і поширена у більшості традиційних печей. На час укладання цього документа (2010 рік) не передбачалося подальших вдосконалень за допомогою цього методу.

d. Рециркуляція димових газів

Відхідні гази з печі можна повторно вбризнути в полум'я для зниження вмісту кисню, а відтак і температури та ефективності утворення NO_x . При повномасштабному застосуванні цієї технології у скляній промисловості виникли труднощі. З 2007 року у рекуперативній печі, що виготовляє спеціальне скло (скло для освітлювальних приладів) на заводі компанії Osram у місті Аугсбург, Німеччина, працює інноваційна технологія, що базується на внутрішній рециркуляції димових газів (під назвою «безполуменеве горіння» або «безполуменеве окиснення»). Система, що застосовується на цьому заводі, базується на використанні спеціальних пальників на основі технології GlassFLOX® з автоматичною рециркуляцією відхідних газів. У цьому випадку рециркуляція димових газів відбувається безпосередньо у камері згорання; спалені гази використовуються для розбавлення полум'я FLOX®. Ефективність зниження викидів NO_x за допомогою цієї системи складає 46 – 59 % від початкового значення. Проте ця система все ще вважається лише перспективною технологією, тому вона розглядається у розділі 6.1.

e. Пальники з низьким виходом NO_x

Цей термін охоплює ряд систем пальників, які є запатентованими або належать окремим компаніям-виробникам скла, призначених для мінімізації утворення NO_x . Ці системи можуть різнитися за принципом роботи і мати ряд функцій, у тому числі деяких функцій, описаних вище, та інших функцій, перелічених нижче. Системи для спалювання газу тим чи іншим чином відрізняються від систем для спалювання мазуту. Основні особливості систем пальників з низьким виходом NO_x наведені нижче.

- Повільніше змішування палива та повітря для зниження пікових температур полум'я (регулювання форми факела).
- Мінімальні швидкості вприскування, за яких, однак, можливе повне згорання (сповільнене, проте повне згорання).
- Збільшена тепловіддача полум'я (за рахунок випромінювання) з оптимізацією теплопередачі до скляного розплаву. Таким чином, за нижчого рівня температур полум'я все рівно може надавати необхідну енергію для варіння скла завдяки високій світності полум'я (ефективному виділенню тепла).
- Різні форсунок та конструкції форсунок дають змогу створювати кілька струменів палива на окремому пальнику; деякі струмені екрановані від повітря іншими струменями палива, утворюючи сажу для покращення теплообміну та охолодження полум'я, у результаті чого знижується інтенсивність утворення NO_x . Утворення сажі потенційно може становити проблему для якості скла.
- Повне згорання з мінімальним відношенням «повітря-паливо».

f. Вибір палива

Загальний досвід скляної промисловості демонструє, що у газових печах утворюються більші викиди NO_x , ніж у мазутних печах. Ця різниця широко варіюється для різних типів печей та випадків застосування, проте різниця для умов роботи зі спалюванням газу та мазуту нерідко становить 25 – 40 %. Загалом при використанні мазуту замість природного газу спостерігається зменшення споживання енергії приблизно на 5 %. Це головним чином зумовлено тим, що газове полум'я має менший коефіцієнт тепловіддачі, ніж мазутне полум'я, і тому повинно мати вищу температуру, щоб забезпечувати таку ж теплопередачу до скляного розплаву, а отже, у ньому створюються більш сприятливі умови для утворення NO_x . Однак по мірі того, як у галузі накопичилося більше досвіду у спалюванні газу як палива, а конструкції печей змінилися, різниця у викидах NO_x та потребі в паливі для цих двох видів палива зменшилася. У деяких випадках застосування (наприклад, у виробництві тарного скла) паливний ККД та викиди NO_x з газових печей невинно наближаються до рівнів, характерних для роботи на мазуті, завдяки належному регулюванню полум'я. Проте результати порівняння показників енергоефективності, що досягаються при використанні мазуту та природного газу, дуже залежать від конструкції печі та пальника.

Робота на змішаному газо-мазутному паливі певною мірою зберігає переваги високого випромінювання, характерного для мазутного полум'я, водночас із використанням деякої частки природного газу, і все частіше використовується в деяких секторах.

Як уже було зазначено, вміст азоту у природному газі загалом незначний, проте азот може додаватися у різних відсоткових кількостях, які можуть різнитися для різних регіонів. Додавання азоту до природного газу може бути необхідним для регулювання його теплоти згорання та числа Воббе, яке потрібно підтримувати сталим – наприклад, з міркувань безпеки у випадку його побутового (домашнього) використання. Це практикується у Нідерландах, де природний газ у мережі постачання містить 11 – 14 % азоту. У Великій Британії концентрація азоту в газі, що постачається, може варіюватися від 0,1 до 5,7 % по країні відповідно до загальнодержавної мережі постачання, і це також стосується інших країн-членів ЄС – наприклад, Португалії та Італії. Це джерело азоту особливо суттєво впливає на викиди NO_x з киснево-паливних печей.

Вибір між газом та мазутом дуже залежить від поточної економічної ситуації та енергетичних політик, що діють у країнах-членах ЄС. Він також залежить від доступного палива, яке може різнитися для різних географічних регіонів, а також пори року, з огляду на питання надійності постачання. Наприклад, у Португалії в секторі виробництва тарного скла домінуючим видом палива є природний газ, а електроенергія використовується у дуже малих кількостях.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Орієнтовні рівні зниження викидів, яких можна досягти за допомогою цих технологій модифікації процесу згорання, наведені в описах кожної технології.

Вплив цих технологій не сумується, оскільки вони загалом є різними способами досягнення одних і тих же широких цілей. Тому зниження викидів на 10 % за рахунок однієї технології не можна просто додати до 10 %, досягнутих за допомогою іншої технології.

Сумарні рівні зниження викидів за рахунок оптимізованих систем спалювання палива широко різняться – від менш ніж 10 % до більш ніж 70 %. Для печі, на якій роботи з модифікації не виконувалися або виконувалися в малих об'ємах, у більшості випадків можна очікувати зниження викидів NO_x за допомогою цих технологій на 40 – 60 %.

Фактичні рівні викидів, яких можна досягти за допомогою цих технологій, суттєво різняться залежно від вихідної точки, віку та конструкції печі, і особливо від того, наскільки ретельно застосовуються ці технології і здійснюється їх моніторинг. Більшої частини покращень можна досягти за допомогою порівняно простих заходів, якщо вони належним чином застосовується. За останнє десятиріччя скляна промисловість досягла значного прогресу у мінімізації утворення викидів NO_x за допомогою модифікацій процесу згорання, і на цю роботу біла виділена значна частка ресурсів.

Узагальнені дані за 2005 рік стосовно застосування первинних технологій у печах для виробництва тарного скла наведені у Таблиці 3.15, де середня концентрація викидів NO_x у 1000 мг/м^3 н.у. була повідомлена для газових печей, а середнє значення у 750 мг/м^3 н.у. було повідомлене для мазутних печей.

Також див. дані щодо прикладів установок, представлені у Таблиці 4.15.

Міжсередовищні наслідки

Основними міжсередовищними наслідками, пов'язаними з застосуванням більшості описаних технологій, є викиди чадного газу (CO) через субстехіометричні умови горіння в печі, які потенційно можуть призвести до проблем у рекуператорах та регенераторах, де CO зазвичай окиснюється до CO_2 .

Іноді згорання може завершуватися у верхній частині регенераторів, призводячи до підвищення температури, у результаті чого утворюється більша кількість викидів SO_x внаслідок явищ переходу в леткий стан / розкладання сульфатів, що відклалися на поверхні регенераторів.

Місцеві відновлювальні умови також можуть бути причиною посиленого випаровування зі скляного розплаву і, відповідно, вищих рівнів викидів твердих часток. Крім того, раннє розкладання сульфатів, що використовуються в шихті, наслідком якого є зниження ефективності процесу освітлення, може підвищити рівні викидів SO_x .

Перехід з природного газу на мазутне паливо для покращення тепловіддачі від полум'я та для зниження викидів NO_x призведе до значного підвищення викидів SO_x , зумовленого вмістом сірки у мазуті. Крім того, використання мазуту вплине на викиди CO_2 , оскільки для мазуту властива більша інтенсивність викидів вуглецю.

Експлуатаційні параметри

У цілому, регенеративні печі з підковоподібним полум'ям зазвичай створюють менше викидів NO_x , ніж регенеративні печі з поперечним полум'ям (див. розділ 4.2), і технології, описані у цьому розділі, загалом більш успішно працюють у печах з підковоподібним полум'ям. У секторі виробництва тарного скла для печей з поперечним полум'ям було досягнуто рівнів викидів у $700 - 1100 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ та $0,9 - 2 \text{ кг/тонну скла.}$ Для печей з підковоподібним полум'ям було досягнуто значень концентрацій у $550 - 800 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ та менш ніж $1,5 \text{ кг/тонну скла.}$ У певних випадках застосування зрідка реєструвалися показники нижче цих рівнів.

Результати для рекуперативних печей різняться сильніше, проте це може бути зумовлено більш різноманітним використанням цих печей. Для рекуперативних печей у секторах виробництва тарного скла та скловолокна з безперервних ниток було досягнуто результатів, сумірних з результатами для регенеративних печей (або навіть нижчих).

У цілому очікується, що викиди чадного газу (виміряні у димовій трубі), пов'язані з застосуванням технологій модифікації процесу згорання у повітряно-паливних скловарних печах, будуть нижчими, ніж $100 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$

Для печі потужністю 650 тонн/добу, яка виготовляє флоат-скло і працює на мазуті з низьким вмістом сірки, було повідомлене середньорічне значення викидів CO у $38 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ ($0,107 \text{ кг/тонну звареного скла.}$) Відповідне середнє значення для викидів NO_x становить $733 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ ($2,07 \text{ кг/тонну звареного скла.}$) Значення викидів як CO , так і NO_x отримані в результаті безперервних вимірювань.

Для рекуперативної печі з продуктивністю варіння скла 400 тонн/добу, що працює на природному газі або змішаному газо-мазутному паливі і виготовляє тарне скло), був повідомлений рівень викидів CO у $30 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ У печі застосовуються пальники з низьким виходом NO_x , і рівні викидів NO_x , яких вдалося досягти, складають близько $500 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ (1 кг/т.) Значення концентрацій викидів як CO , так і NO_x отримані в результаті точкових вимірювань. [165, Франція, 2010]

Застосування первинних технологій у секторі виробництва скляних фрит навряд чи дасть такі ж результати, як і для інших секторів скляної промисловості, з огляду на специфічні характеристики печей малого розміру, які зазвичай працюють в окисних умовах (надлишок повітря для згорання, збагачення киснем) і з рядом рецептур шихти, які містять значну кількість нітратів (див. розділ 3.10.2.2).

Основні переваги і недоліки застосування модифікацій процесу згорання підсумовані у Таблиці 4.14.

Таблиця 4.14. Основні переваги і недоліки модифікацій процесу згорання

<u>Переваги:</u>
<ul style="list-style-type: none"> Низькі відносні витрати Для більшості типів печей можна досягти значного зниження викидів NO_x Можуть застосовуватися як до нових, так і до існуючих печей (хоча іноді лише під час ремонту) Ці технології часто можуть суттєво заощадити енергію Нижчі температури в печі та менше споживання енергії також призводять до зниження загальних викидів
<u>Недоліки:</u>
<ul style="list-style-type: none"> Для досягнення оптимальних результатів потрібні значні технічні знання (як під час пуску, так і під час роботи в нормальному режимі) Для досягнення оптимальних результатів може бути необхідно модифікувати конструкцію печі Технології слід застосовувати обережно, щоб не створити проблем з якістю скла внаслідок зміни ступеня окиснення-відновлення Необхідно контролювати рівні CO, щоб не допустити пошкодження вогнетривких конструкцій. Крім того, рівні CO необхідно контролювати, щоб запобігти надмірному випаровуванню речовин зі скляного розплаву та ранньому розкладанню сульфатів у шарі шихти Помітніший відновлювальний характер атмосфери може призвести до збільшення викидів SO_2 внаслідок посиленого випаровування та розкладання

Кілька прикладів рівнів викидів NO_x , пов'язаних із застосуванням модифікацій процесу згорання у скловарній печі, наведені у Таблиці 4.15.

Таблиця 4.15. Приклади рівнів викидів NO_x , пов'язаних із застосуванням модифікацій процесу згорання

	Тарне скло ⁽¹⁾	Тарне скло ⁽²⁾	Плоске скло ⁽²⁾	Плоске скло ⁽²⁾	Сортове скло
Паливо	Природний газ	Природний газ + мазут	Мазут	Природний газ + мазут	Мазут
Тип печі	З поперечним полум'ям, регенеративна	З підковоподібним полум'ям, регенеративна	З поперечним полум'ям, регенеративна	З поперечним полум'ям, регенеративна	З підковоподібним полум'ям, регенеративна
Загальна продуктивність варіння скла	350 т/добу	300 т/добу	350 т/добу	800 т/добу	125 т/добу
Фактичне питоме знімання скломаси	275 т/добу	297 т/добу	259 т/добу	700 т/добу	110 т/добу
Електричне форсування	Ні	Так	Так	Так	Ні
Тип скла	Флінт	Бурштинове	Лите скло	Флоат-скло	Не вказано
Скляний бій	60 %	72 %	30 %	35 %	40 %
Тип первинних заходів	Зменшене відношення «повітря-паливо»; заходи з герметизації; конструкція печі; модифікація пальників	Зменшене відношення «повітря-паливо»; заходи з герметизації; регулювання залишкової концентрації кисню; конструкція печі; модифікація пальників	Зменшене відношення «повітря-паливо»; заходи з герметизації; регулювання залишкової концентрації кисню; конструкція печі; модифікація пальників	Зменшене відношення «повітря-паливо»; заходи з герметизації; регулювання залишкової концентрації кисню; конструкція печі; модифікація пальників	Заходи з герметизації; регулювання залишкової концентрації кисню
Питоме споживання енергії	3,78 ГДж/тонну скла	4,21 ГДж/тонну скла	5,71 ГДж/т скла	5,20 ГДж/т скла	4,97 ГДж/тонну скла
Відповідні рівні викидів (викиди NO_x)					
мг/м ³ н.у., сухий газ при 8 % O_2	909	507	780	750	827
кг/т звареного скла	1,42	0,82	1,89	1,54	1,71
⁽¹⁾ Піч обладнана підігрівачем шихти та скляного бою. ⁽²⁾ Печі обладнані системою використання відхідного тепла. Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]					

Застосовність

В принципі (і з урахуванням зазначених вище обмежень), ці технології можуть застосовуватися до всіх традиційних печей, що працюють на викопному паливі. Більшість технологій можуть застосовуватися як до існуючих, так і до нових печей. Проте вигоди від деяких технологій (наприклад, пальників з низьким виходом NO_x) можна повністю реалізувати лише у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі, а цього можна досягти лише з новою піччю.

Успіх, досягнутий за допомогою цих технологій, також може залежати від рівня технічних знань оператора та наукових ресурсів. Для оптимізації систем потрібен тривалий період поступового експериментування та моніторингу, а також високий рівень технічних знань та досвіду. Оператори, які не володіють цими ресурсами, можуть звернутися до спеціалізованих консультантів, які пропонують послуги з модифікації та оптимізації процесів згорання у печах. Ця дослідна-конструкторська робота, звісно, робить свій внесок у вартість технологій.

Те, якою мірою можна застосувати ці технології, також залежить від продукції та вимог технологічного процесу. Наприклад, у виробництві деяких видів сортового чи тарного скла (пляшки або флакони класу люкс) постають обмеження, пов'язані з якістю продукції: це має бути дуже прозоре скло з високим ступенем окиснення. Для цього потрібен довший час перебування в печі, вищі температури та окиснювачі: усе це сприяє збільшенню

викидів NO_x і обмежує використання деяких технологій, описаних вище. Цей приклад докладніше розглядається у розділі 4.4.2.2 нижче.

У всіх секторах скляної промисловості спостерігається тенденція до безперервного вдосконалення технологічного процесу шляхом розширення використання цих технологій, коли це можливо, та до намагання визначити рівні викидів, яких можна очікувати в майбутньому у разі використання первинних технологій.

Економіка

Витрати пов'язані з придбанням регульованих пальників, дорожчих вогнетривких матеріалів для регенераторів, датчиків кисню (для печей з поперечним полум'ям потрібно більше датчиків кисню і складніша система керування, ніж для регенеративних печей з підковоподібним полум'ям), блока керування для регулювання відношення «повітря-паливо», з технічним обслуговуванням та робочою силою для зміни та перевірки налаштувань пальників.

Заміна пальників та внесення змін у блоки пальників зазвичай коштує 50 000 – 100 000 євро для печей з підковоподібним полум'ям і до 300 000 – 400 000 для печей з поперечним полум'ям.

Витрати на систему датчиків кисню зазвичай знаходяться в межах від 20 000 до 25 000 євро для печей з підковоподібним полум'ям і від 60 000 до 125 000 євро для печей з поперечним полум'ям [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008].

У випадку внесення змін в конструкцію печі потрібно враховувати додаткові інвестиційні витрати на вогнетривкі матеріали та сталеві конструкції, які можуть становити 2 мільйони євро для печей з виробництва флоат-скла та 700 000 євро для печей з підковоподібним полум'ям, у яких виготовляється тарне скло.

Витрати на модифікації процесу згорання порівняно низькі і можуть іноді компенсуватися зниженням експлуатаційних витрат за рахунок заощадження енергії. Витрати на пальники є витратами на заміну (а не додатковими витратами), і для нової печі додані витрати будуть дуже низькими. Системи спалювання палива зі ступінчастим подаванням повітря можуть бути значно дорожчими.

Ці первинні технології у поєднанні з оптимізацією рецептури загалом набагато дешевші, ніж вторинні технології зниження викидів. Порівняння витрат наведено у розділі 8.1.7.

Рушій для впровадження

Вдосконалення та реалізація первинних заходів зі зниження викидів NO_x базується на тому принципі, що заходи, вжиті для запобігання утворенню NO_x , як правило, справляють кращий загальний вплив на навколишнє середовище, ніж технології у кінці виробничого циклу, у тому числі мають менші економічні наслідки і потенційно можуть заощаджувати енергію, завдяки чому зменшуються викиди інших забруднюючих речовин, наприклад, CO_2 . Хоча на одній і тій же печі технічно можливо впровадити як первинні, так і вторинні заходи, у цьому випадку необхідно виконати повну економічну та міжсередовищну оцінку на предмет того, чи це виправдано з екологічної або економічної точки зору. Зокрема, якщо за допомогою первинних заходів було досягнуто або прогнозується досягнення певного рівня викидів, потрібно прийняти рішення про те, чи обґрунтовані додаткові витрати на вторинні заходи: для цього спочатку потрібно розглянути, чого можна досягти за допомогою цих первинних заходів.

Приклади заводів

У 2005 році в секторі виробництва тарного скла первинні технології застосовувалися у більш ніж 76 печах. У інших секторах скляної промисловості також успішно застосовується одна чи кілька цих технологій. У багатьох печах в Європі та США використовуються регульовані пальники та датчики кисню для регулювання процесу згорання (відношення «повітря-паливо» Це стосується секторів виробництва тарного скла, сортового скла, флоат-скла та спеціального скла.

Довідкова література

[33, Беркенс, 1999], [64, FEVE, 2007], [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008], [88, Пропозиція FEVE, частина 4 – NO_x , 2007], [117, GWI, VDI – Звіт № 1988, 2007], [118, Дані CTCV для перегляду BREF, 2007]

4.4.2.2 Рецептатура шихти

Нітрати використовуються у виробництві скла в якості окиснювачів. Безумовно, найбільш поширеним нітратом, що використовується, є нітрат натрію, проте для деяких випадків застосування спеціального скла також використовується нітрат калію або барію. Нітрат натрію (NaNO_3) часто використовується у поєднанні з іншими освітлювачами, які потрібно (наприклад, As_2O_3 , Sb_2O_3 , CeO_2) окислити або забезпечити їх підтримання у максимально окисненому стані, перш ніж розпочнеться процес освітлення (виділення газоподібного кисню з розплаву). Таким чином, нітрат натрію опосередковано бере участь у процесі освітлення, хоча у більшості випадків, коли йдеться про вибір освітлювача, перевагу віддають сульфату натрію. У процесі плавлення нітрати дисоціюють з утворенням NO , NO_2 , N_2 , та O_2 . O_2 використовується для окиснення розплаву (особливо Fe^{2+} до Fe^{3+}) з метою отримання дуже прозорого скла та окиснення всіх органічних компонентів, присутніх у матеріалах шихти.

Використання нітратів дуже різниться у різних секторах скляної промисловості. Вони рідко використовуються у плоскому склі або тарному склі, за винятком виробництва продукції дуже високої якості (пляшок або флаконів класу люкс для парфумів та косметики), продукції з дуже високим ступенем безбарвності або сильно забарвленого скла – наприклад, сірого або бронзового скла. Нітрати використовуються у секторі сортового скла для виготовлення деякої високоякісної продукції, яка повинна мати високу оптичну прозорість, а отже, низький вміст Fe^{2+} . Нітрати широко використовуються у секторі спеціального скла для виготовлення елементів телевізорів (катодно-променевих трубок), боросилікатного скла, склокераміки та оптичного скла, а також у секторі виробництва фрит. [99, ITC-C080186, 2008]

У електричних печах, які виготовляють скло з дуже високим ступенем окиснення, або у яких плавиться сировина, що містить органічні сполуки (наприклад, відходи скловати), також може бути потрібно використовувати нітрати у якості окиснювача.

У виробництві скловати нітрати часто використовуються для компенсації споживання кисню під час спалювання органічних матеріалів, що містяться у складі шихти, особливо якщо до рецептури додається велика кількість утилізованого скла. У виробництві фрит нітрати додаються до шихти багатьох видів продукції для отримання необхідних характеристик. За оцінками, усього 7 – 9 % виробництв скла у ЄС передбачають використання значних кількостей нітратів.

Типова кількість внесених нітратів становить близько 0,5 – 1 %, тобто 5 – 10 кг NaNO_3 на тонну скла. Для деяких процесів – наприклад, у виробництві скла для телевізорів або фрит – це значення може досягати 4 % або бути навіть вищим. Основними газами, що викидаються при варінні скла, є NO та O_2 , а N_2 та NO_2 викидаються лише в невеликих кількостях. На 1 % нітратів, внесених у шихту, максимальні викиди NO_x становлять 5,4 кг/тонну скла. Це значення еквівалентне приблизно 2200 мг/м³ н.у. при 8 % O_2 , наприклад, для типової печі, у якій виготовляється сортове скло. Фактичні викиди NO_x з нітратів варіюються у межах 30 – 80 % від цього максимального значення, а типові значення за промислових умов становить 50 – 65 % (хоча часто зустрічається весь діапазон значень).

Кількість NO , що викидається з нітратів, залежить від швидкості нагрівання, ступеня окиснення-відновлення шихти та впливу відновлювальних газів (відновлювального полум'я), що контактують з шаром шихти, який містить нітрати.

Використання дієвих альтернатив нітратам обмежене екологічними та економічними міркуваннями. Наприклад, з цією метою можна використовувати сульфати, проте їх необхідна кількість набагато більша – більш ніж у три рази, – і при цьому викидається SO_2 . Також можна використовувати оксиди миш'яку, проте вони виводяться з ужитку всюди, це можливо, з екологічних міркувань. У деяких випадках можна використовувати оксид церію, проте він у багато разів дорожчий, ніж нітрат натрію. Деякі модифікації технологічного процесу також можуть знизити потребу в нітратах, проте вони зазвичай недопустимі з міркувань якості, з огляду на потреби в енергії, обмеження пропускної здатності або утворення термічних оксидів азоту NO_x .

Отже, наразі у галузі вважається, що рівні нітратів можна знизити шляхом

експериментування з пошуком їх мінімальної кількості, яка буде сумісна з вимогами до продукції та процесу варіння скла, проте з економічних та екологічних причин дієвої альтернативи для них поки що не існує (станом на 2010 рік).

У багатьох країнах-членах ЄС законодавство дозволяє подвоїти звичайне граничне значення викидів NO_x для видів скла, у які необхідно додавати нітрати. Цей підхід загалом не вважається адекватним цілям Директиви 2008/1/ЄС. Він не враховує широкого розкиду у рівнях додавання нітратів і мало заохочує до мінімізації використання нітратів. Крім того, для процесів, у яких додаються лише невеликі кількості нітратів, подвоєння граничного значення викидів може маскувати викиди термічних оксидів азоту NO_x і може послаблювати стимул до оптимізації умов спалювання палива.

Додавання нітратів не можна вважати єдиною особливістю процесу варіння скла. Для видів скла, які потребують використання нітратів, зазвичай існують інші специфічні обмеження, пов'язані з їх використанням. Наприклад, процес варіння вапняно-натрієвого скла, скла для столового посуду або тари класу люкс відрізняється від виробництва тарного скла не лише використанням нітратів, а й часом перебування в печі (як мінімум на 50 % довше), необхідністю створення набагато сильніших окисних умов у розплаві та в печі і вищою температурою скла (вищою на 50 – 100 °C). Усі ці чинники сприяють збільшенню викидів NO_x на одиницю скляної продукції, які можуть бути у два-три рази вищими, ніж у регенеративних печах з підковоподібним полум'ям для виробництва тарного скла.

Вартість методів скорочення додавання нітратів та рівні викидів, яких можна досягти, дуже важко кількісно оцінити; вони дуже залежать від вихідної точки і від конкретного випадку.

4.4.2.3 Спеціальні конструкції печей

Занепокоєння з приводу викидів NO_x спонукало деяких проєктувальників печей запропонувати рекуперативні печі, у яких поєднані різні функції, які дають змогу використовувати нижчі температури полум'я, і таким чином створювати менші викиди NO_x . Найвідомішою з печей цього типу є скловарний агрегат LoNO_x° . Ще однією доступною конструкцією є скловарний агрегат Flex° , який спочатку призначався для періодичної роботи, проте на сьогодні більшість збудованих печей працюють безперервно. Передбачається, що за викидами NO_x скловарний агрегат Flex° зіставний зі скловарним агрегатом LoNO_x° . Стислий опис скловарного агрегату Flex° наведено у розділі 2.3.7, а докладно тут розглядається лише скловарний агрегат LoNO_x° .

Для зниження викидів NO_x також можна змінити конструкцію печей регенеративного типу. Однак про випадки застосування таких печей немає детальної інформації. Загалом, важливими параметрами конструкції печі з точки зору утворення/обмеження викидів NO_x є:

- тип пальників;
- кількість пальників, що експлуатуються;
- кут нахилу пальників;
- кут нахилу вльоту пальника;
- розмір вльотів пальників (який визначає швидкість повітря, що входить у камеру згорання);
- відстань між пальником / вльотом пальника та розплавом;
- висота і розмір камери згорання (більші розміри зазвичай відповідають нижчим викидам NO_x і дещо підвищеному споживанню енергії скловарною піччю);
- геометрія полум'я відносно камери згорання.

Опис

Скловарний агрегат LoNO_x° поєднує в собі освітлення у мілкій ванні та підігрівання сировини для досягнення нижчих рівнів NO_x – потенційно за рахунок нижчих теплових характеристик.

Підігрівання повітря для згорання здійснюється рекуперативним способом, а для компенсації слабшого підігрівання повітря для згорання у порівнянні з регенеративною піччю використовується двоступеневе підігрівання сировини. Відхідні гази від основних пальників пропускаються над сировиною, що входить у піч, у просторій зоні попереднього плавлення і лише після цього надходять у рекуператори. Після виходу з рекуператорів відхідні гази пропускаються крізь підігрівач привізного скляного бою і після цього остаточно покидають систему.

У освітлювачі з мілкою ванною критичний струм, який має велике значення, змушений проходити по траєкторії, що пролягає поблизу поверхні скломаси: це зменшує перепад температур між поверхнею скломаси та верхньою будовою печі. Така піч може працювати за нижчих температур, ніж традиційна піч з такими ж характеристиками.

Скловарний агрегат $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$ у своїй основі є довгою і вузькою конструкцією, розділеною на три ділянки. Перша ділянка використовується для підігрівання, а потім для попереднього плавлення шихти і скляного бою. Далі йде зона первинного освітлення, у якій глибина ванни зі скломасою зменшена до 400 мм (або й менше). Ванна піч завершується глибоким освітлювачем.

Нагрівання здійснюється газовими або мазутними пальниками у варильній зоні та, головним чином, у зоні освітлення. Відхідні гази викидаються на поверхню шихти та скляного бою у першій ділянці печі, завдяки чому матеріал підігрівается. Піч розділена внутрішніми стінками, які гарантують, що сировина, яка входить у піч, не буде безпосередньо нагріватися випромінюванням з найгарячішої ділянки печі. Таким чином, між сировиною і газами підтримується велика різниця температур, і забезпечується ефективний теплообмін.

Невелика частка енергії може підводитися за рахунок електричного форсування, аби полегшити підтримання конвективних течій у зоні підігрівання та уникнути створення порівняно низьких температур під шаром шихти. Цей ефект посилюють барботери, встановлені біля кінця варильної зони.

Підігрівач привізного скляного бою розташований біля рекуператора і є важливою частиною скловарного агрегату $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$. Це система безпосереднього нагрівання, у якій гарячі відхідні гази та скляний бій, який потрібно нагріти, контактують одне з одним. Скляний бій та потік відхідних газів рухаються назустріч одне одному.

Скляний бій входить у баштову конструкцію зверху і повільно рухається вниз до виходу; відхідні гази входять знизу і викидаються зверху. У підігрівачі передбачені внутрішні лопаті жалюзного типу, які більш рівномірно розподіляють відхідні гази по стовпу скляного бою. Час перебування скляного бою у підігрівачі становить близько п'яти годин. Відхідні гази входять у підігрівач з типовою температурою 500 °C і виходять з типовою температурою 200 °C. Температура підігрівання скляного бою зазвичай становить близько 350 °C.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Завдяки нижчим температурам згорання вдалося досягти доволі низьких рівнів NO_x . Для скловарного агрегату $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$ повідомлялося про викиди нижче 500 мг/м³ н.у., що дорівнює <1 кг NO_x на тонну звареного скла. За наявності більшого досвіду експлуатації та при застосуванні технологій оптимізації згорання можливі й нижчі викиди.

За допомогою цієї технології можна досягти хорошої енергоефективності; для частки скляного бою у 90 – 95 % та частки електричного форсування у 3 % повідомлялися цифри приблизно у 3,3 ГДж/тонну звареного скла. Ця цифра, хоча й без поправки на первинну енергію, вигідно відрізняється від сучасних регенеративних печей, хоча частки скляного бою аж у 90 – 95 % може бути важко підтримувати через нестачу скляного бою виробів, використаних споживачем, і це вплине на значення показників енергоефективності.

За нормальних умов роботи питоме споживання енергії приблизно таке ж, як і для аналогічної регенеративної печі.

Повідомлені дані про робочі показники печі $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$, у якій виготовляється 358 тонн тарного скла на добу з 80 % скляного бою у складі шихти, демонструють, що споживання енергії становить 4,0 ГДж/тонну скла (включно з електричним форсуванням, проте без урахування загальної первинної енергії), а виміряні викиди NO_x становлять 336 мг/м³ н.у. при 8 % кисню. [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]

Міжсередовищні наслідки

Піч $\text{LoNO}_x^{\text{®}}$ розрахована на роботу з великими частками скляного бою, що може призвести до збільшення викидів металів та кислотних газоподібних компонентів (SO_x , HCl , HF), які містяться у сировині.

Через малу глибину скломаси ця конструкція має характерну особливість: це довга та вузька піч, і площа печі може бути значно більшою, ніж для традиційної конструкції

рекуперативної печі за заданого питомого знімання скломаси. Тому для такої печі потрібно більше виробничої площі, більше капітальних витрат і більше конструкційних матеріалів, які будуть використовуватися в печі, і які потрібно утилізувати після завершення життєвого циклу.

Як і у випадку з усіма системами підігрівання скляного бою, потенційно можливі викиди органічних сполук, у тому числі пахучих речовин і, можливо, діоксинів/фуранів. Вимірювання показали, що викиди діоксинів менші, ніж 0,1 нг I-TEQ (міжнародного токсичного еквіваленту)/м³ н.у. Ці питання докладніше розглядаються у розділі 4.8.

Експлуатаційні параметри

Надані дані наведені в описі.

Застосовність

Технологія, що передбачає використання спеціальних конструкцій печі, базується на значному підігріванні складу шихти, якого важко досягти без великих часток скляного бою. Ці печі дійсно доцільні лише в тому випадку, коли використовуються великі частки скляного бою, тобто понад 70 %. Отже, на час укладання цього документа (2010 рік) це означає, що ця технологія може застосовуватися лише у секторі тарного скла і лише в печах з >70 % скляного бою. Цю технологію можна реалізувати лише у ході повного капітального ремонту.

Розміри ванної печі (довга і вузька піч) також можуть унеможливити її застосування в тих випадках, коли доступна виробнича площа обмежена.

Економіка

Оцінка, проведена у 1998 році, показала, що для печі з виробництва тарного скла потужністю 350 тонн/добу додані експлуатаційні витрати на цю технологію були незначними, проте додані капітальні витрати можуть бути у районі 1,8 мільйона євро. Інша інформація наразі відсутня.

Рушій для впровадження

Даних не надано.

Приклади заводів

Wiegand & Söhne, Штайнбах-ам-Вальд, Німеччина – тарне скло.

Довідкова література

[60, SORG, 1999], [20, Erig (Ehrig) та інші, 1995], [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007] [7, Скляна промисловість (Франція), 1996].

4.4.2.4 Процес FENIX

Опис

Процес FENIX базується на поєднанні ряду первинних заходів, націлених на оптимізацію згорання у регенеративних печах з поперечним полум'ям для виробництва флоат-скла та на зменшення споживання енергії. Як і у випадку технологій модифікації процесу згорання, описаних у розділі 4.4.2.1, оптимізація згорання за допомогою процесу FENIX пов'язана з такими моментами:

- зменшення кількості надлишкового повітря;
- придушення появи гарячих точок завдяки забезпеченню рівномірності температур полум'я; та кероване змішування палива і повітря, що подається для згорання, без спричинення проблем з якістю скла або викидами чадного газу.

Процес FENIX також передбачає повну модифікацію системи спалювання палива і особливо використання нового типу інжекторів. Ці інжектори, патентні заявки на які наразі розглядаються, різняться залежно від типу енергії, що використовується (газ, важкий мазут або змішана енергія), і використовуються для створення нових конструкцій печей, зокрема, у таких моментах:

- габарити (довжина, ширина, глибина скломаси) – також залежно від питомого знімання скломаси;
- конструкція вльотів пальника;
- регенератори (окремі камери).

Цю технологію можна реалізувати в печах, що працюють на газу, мазуті або на суміші цих двох енергоносіїв. Регулювання згорання здійснюється такими способами:

- мінімізація надлишку повітря за допомогою шляхом зменшення кількості повітря, що використовується для розпилення мазуту, використання спеціальних конструкцій гніздових пластин для пальників, усунення щілин, через які в піч може потрапляти холодне повітря, та технічного обслуговування печей;
- зниження швидкості утворення паливо-повітряної суміші, зокрема, шляхом оптимізації кількості, типів та розташування (кутів нахилу) інжекторів у вльоті.

Технологія також передбачає коригування системи керування піччю та встановлення засобів моніторингу певних параметрів печі. Зокрема, у верхній частині регенераційних камер встановлюються кисневі зонди для забезпечення кращого регулювання кількості надлишкового повітря.

Основні характеристики технології FENIX описані у патентній заявці [38, FENIX, 1998], і для її модифікацій, розроблених з 1998 року, наразі розглядаються патентні заявки.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Процес FENIX дає змогу досягти постійної стабілізації викидів NO_x у межах від 700 до 800 мг/м^3 н.у. Наприклад, викиди NO_x з заводу у місті Штольберг, на якому експлуатується піч для виробництва флоат-скла з поперечним полум'ям (див. Рисунок 4.6 нижче) з лютого 2005 року було стабілізовано на рівні нижче 800 мг/м^3 н.у., що відповідає коефіцієнту питомих викидів менше 1,7 кг NO_x на тону звареного скла.

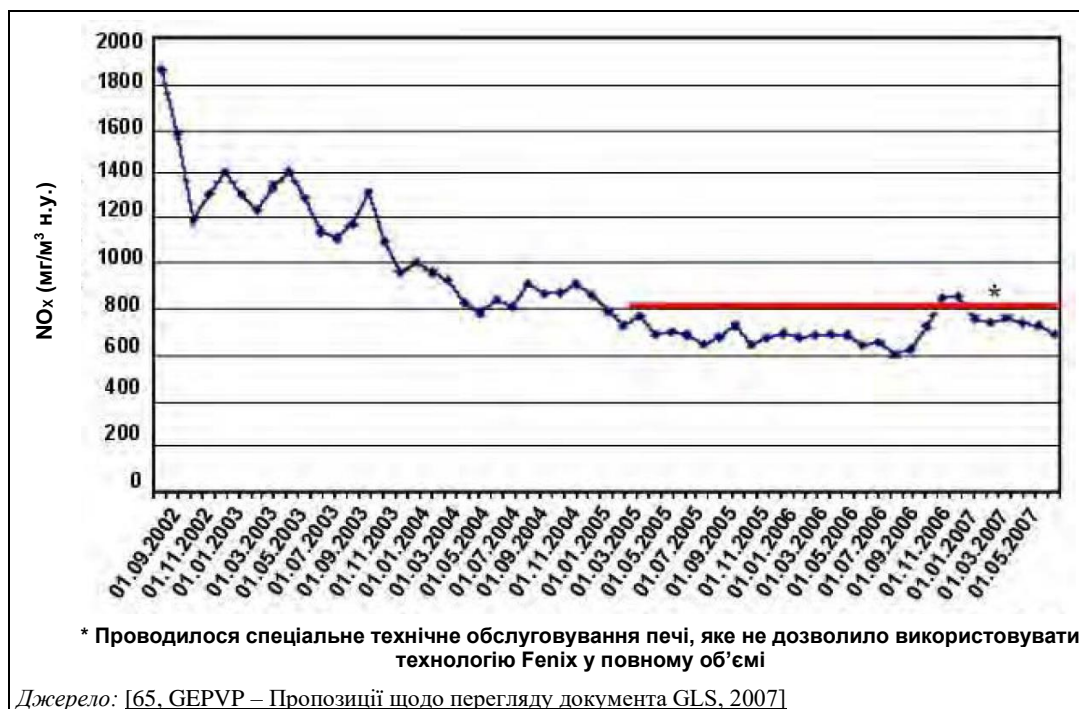


Рисунок 4.6. Викиди NO_x від процесу FENIX

Міжсередовищні наслідки

На час укладання цього документа (2010 рік) міжсередовищні наслідки не були оцінені.

Експлуатаційні параметри

Як повідомлялося в документі BREF для скла, прийнятому в 2001 році, на заводі у муніципалітеті Аніш (Франція), який на той час працював на мазуті, після модифікації процесу згорання згідно з описом у патентній заявці [38, FENIX, 1998] було проведено експлуатаційне випробування, у результаті якого після нетривалих випробувань було отримано робочі показники у 510 – 580 мг/м^3 н.у. (1,25 кг NO_x /тону розплавленої скломаси. На сьогодні (у 2010 році) ця піч працює на суміші з 60 % газу та 40 % мазуту, а викиди NO_x узгоджено стабілізувалися на рівні, що перевищує досягнутий під час випробувань і становить 700 – 800 мг/м^3 н.у.

Тим часом процес Fenix також був застосований в інших печах, у яких було досягнуто того ж діапазону викидів (від 700 до 800 мг/м^3 н.у.).

Застосовність

Процес FENIX повинен застосовуватися обережно, силами спеціалізованої команди. Він повністю реалізований принаймні у дев'яти печах компанії Saint-Gobain Glass у Європі. Ця технологія може використовуватися у флоат-процесах, якщо вона безпосередньо реалізована під час проєктування та будівництва печі.

У 2001 році компанія Saint-Gobain Glass зазначила про свою готовність надати невиключну ліцензію на технологію FENIX іншим виробникам скла, за умови, що вони зможуть досягти згоди щодо умов такої ліцензії. Проте для застосування цієї технології постачальник повинен виконати попереднє дослідження в печі; з огляду на цю необхідність, іншим виробникам може бути складно її застосувати з міркувань конфіденційності.

На час укладання цього документа (2010 рік) ця технологія була застосована лише у регенеративних печах з поперечним полум'ям, і, з огляду на її специфіку, її навряд чи можна буде поширити на інші пічні технології.

Тенденції перших результатів, отриманих на заводі в муніципалітеті Аніш, які були повідомлені у документі BREF для скла за 2001 рік, були відтворені на інших печах з використанням інших видів палива, тож можна зробити висновок, що викиди NO_x можна на постійній основі стабілізувати в діапазоні 700 – 800 mg/m^3 н.у.

Економіка

У разі застосування цієї технології в існуючій печі, у якій принаймні частина енергії постачається у вигляді мазуту, капітальні витрати, у тому числі витрати на модифікації печі (верхнє значення витрат на вогнетривкі матеріали), нові пальники та удосконалені системи керування, становить приблизно 1,5 мільйона євро. Для нового або реконструйованого заводу додані витрати будуть меншими – близько 1 мільйона євро. Також потрібно враховувати всі можливі ліцензійні збори та час і технічні знання, необхідні для реалізації цієї технології.

Рушій для впровадження

Даних не надано.

Приклади заводів

Saint-Gobain Glass, Штольберг, Німеччина – флоат-скло.

Saint-Gobain Glass, Герцогенрат, Німеччина – флоат-скло.

Saint-Gobain Glass, Шантерен, Франція – флоат-скло.

Saint-Gobain Glass, Аніш, Франція – флоат-скло.

Довідкова література

[25, FENIX, 1998], [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007], [38, FENIX, 1998]

4.4.2.5 Киснево-паливне варіння скла

Опис

Киснево-паливне варіння скла полягає в тому, щоб замінити повітря, яке подається для згорання, киснем (зі ступенем чистоти $>90\%$). Цю технологію можна використовувати з застосуванням природного газу або мазуту у якості палива, хоча використання газу більш поширене. Виключення більшої частки азоту з атмосфери згорання зменшує об'єм відхідних газів (які складаються головним чином з CO_2 та водяної пари) на 70 – 85 %, залежно від ступеня чистоти кисню.

Киснево-паливне варіння скла може бути дуже дієвою технологією для зниження викидів NO_x , і, за винятком описаних нижче випадків, ця технологія може вважатися технічно перевіреною.

Киснево-паливні печі загалом мають таку ж базову конструкцію, як і рекуперативні скловарні агрегати, і обладнані кількома боковими пальниками та одним вильотом для виходу відхідних газів. У більшості сучасних печей геометрія оптимізована для киснево-паливного варіння скла та мінімізації рівнів NO_x . У печах, розрахованих на спалювання кисню, наразі з міркувань безпеки не застосовуються системи використання відхідного тепла для підігрівання кисню, що подається на пальники.

Ця технологія потенційно може заощадити енергію, що використовується на об'єкті, оскільки зникає необхідність нагрівати атмосферний азот до температури полум'я. При цьому потрібно нагрівати менше повітря, що подається для згорання, тому менше енергії

втрачається з відхідними газами печі. Потенційне заощадження енергії суттєво залежить від того, з якою традиційною піччю воно порівнюється. Проте загальні заощадження енергії слід оцінювати з урахуванням опосередкованого споживання енергії, пов'язаного з застосуванням киснево-паливного згорання.

При оцінці робочих показників киснево-паливної печі у порівнянні з традиційною (повітряно-паливною піччю) необхідно враховувати ефективність системи регенерації тепла з відхідних газів (рекуператор, регенератор, тощо) та енергію, потрібну для виробництва кисню. Це складне питання розглядається далі у цьому розділі.

Утворення термічних оксидів азоту NO_x значно скорочується, оскільки основне джерело азоту у печі значно зменшується, хоча в атмосфері згорання все ж присутня деяка кількість азоту. Джерелами цього азоту є залишковий азот у складі кисню (з кисню, отриманого шляхом рахунок абсорбції за змінного тиску (PSA), вакуумної абсорбції (VSA) / вакуумної абсорбції за змінного тиску (VPSA) – у кількості 4-6 %, та з кисню, отриманого шляхом криогенного розділення – у кількості $<0,5$ %), азот у паливі (природний газ з 2 – 15 % азоту), азот, що утворюється в результаті розпаду нітратів, та азот з підсмоктаного повітря, якщо воно присутнє. Внаслідок високих температур полум'я весь N_2 , якщо він присутній, легше перетворюється у NO_x , і навіть низькі рівні N_2 можуть виявитися досить суттєвими. Тому важливо мінімізувати потрапляння повітря в піч.

Об'ємна витрата відхідних газів печі у 4 – 7 разів більша, ніж у повітряно-паливних печах; їх температура може бути дуже високою (1200 – 1450 °C), і їх зазвичай потрібно охолоджувати. Через високий вміст води та концентрацію корозійно-активних сполук (наприклад, хлоридів та сульфатів) охолодження зазвичай здійснюється шляхом розбавлення газів повітрям. Після розбавлення об'єми відхідних газів зазвичай становлять у районі 30 – 100 % від об'ємів відхідних газів у традиційній печі, залежно від необхідного ступеня розбавлення.

Для киснево-паливного варіння скла потрібні спеціальні конструкції пальників, відмінні від тих, що використовуються для традиційного спалювання газу в повітрі. З того часу, як ця технологія була винайдена, системи пальників зазнали суттєвого розвитку – від ранніх модифікацій існуючих конструкцій для інших застосувань киснево-паливного згорання до нинішніх високоспеціалізованих киснево-паливних пальників з низьким виходом NO_x , розроблених спеціально для виробництва скла. Для цих систем можуть бути властиві деякі з характеристик інших вискоелективних пальників з низьким виходом NO_x для традиційного спалювання палива. Деякі важливі особливості основних систем власної розробки підсумовані нижче:

- пальники з довгим і широким світним полум'ям, яке забезпечує рівномірний теплообмін;
- вдування кількох струменів кисню на один пальник для організації ступінчастого процесу згорання;
- плоске полум'я з широким покриттям;
- сповільнене змішування палива та кисню для зниження пікової температури полум'я в багатій на кисень зоні;
- відсутність водяного охолодження;
- можливість регулювання полум'я для задавання його енергії та форми;
- використання кількох видів палива.

Кисень, необхідний для згорання, може постачатися шляхом доставки на об'єкт або виробництва на самому об'єкті. За винятком дуже малих виробництв (наприклад, деяких одиничних печей для виробництва фрит), кисень зазвичай потрібен у такій кількості, що його більш економічно вигідно виробляти на об'єкті. Проте, якщо об'єкт розташований поблизу трубопроводу технічного кисню, зазвичай більш економічно вигідно брати кисень безпосередньо з трубопроводу. Існує дві основні технології виробництва кисню на об'єкті: криогенним способом або за допомогою абсорбційної системи. Киснева установка зазвичай належить і експлуатується постачальником, який стягує плату за постачений кисень, хоча деякі оператори воліють мати повне право власності на кисневу установку. На кисневих установках, влаштованих на об'єкті, завжди є резервний запас рідкого кисню.

Кисень виробляється криогенним способом шляхом стискання повітря та його пропускання крізь блок очищення для видалення пилу, води, вуглекислого газу та

забруднювачів, присутніх у слідових кількостях. Далі очищене повітря охолоджується і пропускається крізь низькотемпературну дистиляційну колону, у якій повітря розділяється. Розділені гази можуть підігріватися у теплообмінниках для отримання газоподібного кисню та азоту, а крім того, кисень за потреби може відбиратися з холодніших ділянок системи.

Абсорбційний процес зазвичай протікає в одній із двох форм: абсорбція за змінного тиску (PSA) або вакуумна абсорбція (VSA) / вакуумна абсорбція за змінного тиску (VPSA). Обидві ці системи є некріогенними, і повітря в них розділяється приблизно за температур навколишнього середовища. Стиснене повітря надходить у нижню частину однієї з двох абсорбційних камер, заповнених цеолітом, який поглинає більшу частину азоту. Кисень відбирається з верхньої частини абсорбційної камери, поки цеоліт не стане насиченим азотом. Після цього потік повітря спрямовується у другу камеру, у той час як азот з першої камери викидається в повітря. У вакуумній системі азот видаляється під дією вакууму, а у напірній системі він скидається під тиском. Вакуумна система зазвичай найбільш ефективна.

Ця технологія набагато дешевша, ніж постачання рідкого кисню у криогенних резервуарах вантажівками, проте має обмежену продуктивність у порівнянні з криогенною системою, тому її зазвичай вибирають за помірної потреби у кисні.

Більшість об'єктів, що постачають кисень лише для однієї або двох скловарних печей, віддають перевагу цим технологіям (абсорбція за змінного тиску – PSA або вакуумна абсорбція / вакуумна абсорбція за змінного тиску – VSA/VPSA). Для кількох печей або для печей з високою потребою в O_2 (наприклад, для виробництва флоат-скла) кращим варіантом може бути криогенна система. Вибір залежить головним чином від економічних факторів, на які можуть впливати місцеві умови. У випадку установок для виробництва флоат-скла криогенні системи одночасно виробляють кисень для спалювання палива та азот для камери флоат-ванни.

Технологія часткового киснево-паливного нагрівання вже багато років використовується у виробництві скла. Випробовано дві різні технології: продування киснем, яке полягає у додатковому вприскуванні O_2 в традиційну повітряно-паливну піч для покращення теплообміну, та встановлення додаткового чисто киснево-паливного пальника. Ця технологія використовувалася головним чином для вирішення проблем з якістю скла і питомим зніманням скла з печі шляхом дуже точного розташування гарячих факелів на поверхні розплаву для збільшення градієнтів температури і, відповідно, для інтенсифікації конвективних течій усередині розплаву. Це також зменшувало потік відхідних газів при підведенні до системи тієї ж кількості енергії. Ця технологія часто використовувалася для подовження експлуатаційного ресурсу печі, у якій спостерігалися ознаки зношування або проблеми з регенераторами. Нині ця технологія досі використовується таким чином, проте таке її використання менш поширене через проблеми, пов'язані з потенційним збільшенням викидів NO_x внаслідок високих температур. Також використовуються «кисневі пальники нульового вльоту» – наприклад, у печах для виробництва флоат-скла наприкінці кампанії печі для покращення плавлення шару шихти.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Слід зазначити, що у випадку киснево-паливних печей концентрації забруднюючих речовин можуть бути значно вищими, ніж для повітряно-паливних печей, внаслідок меншого об'єму димових газів. Для киснево-паливних печей приведення концентрацій викидів до 8 % кисню не має сенсу, оскільки вміст кисню у димових газах враховує як можливий надлишок кисню, що подається для спалювання палива, так і повітря, що надходить у піч та систему відхідних газів. У цих випадках більш доцільно використовувати коефіцієнти викидів (кг/тонну скла).

Цього принципу слід дотримуватися навіть тоді, коли сукупність димових газів з різних печей, у яких використовуються різноманітні технології спалювання палива (киснево-паливна, збагачення киснем, повітряно-паливна), відводиться у єдину димову трубу: такий підхід часто застосовують на установках для виробництва скляних фрит, щоб виключити можливість неправильної оцінки викидів.

Основною вигодою від киснево-паливного згорання для навколишнього середовища є значне потенційне зниження викидів NO_x (у коефіцієнтах викидів) порівняно з

еквівалентною повітряно-паливною піччю без інших первинних чи вторинних технологій зниження викидів, яке зазвичай становить понад 70 %. Звісно, ця цифра залежить від орієнтиру для порівняння і може перевищувати 95 % або бути меншою, ніж 60 %. Повідомлялися питомі значення викидів близько 0,5 кг NO_x/тонну скла, залежно від питомого споживання енергії, типу природного газу, типу/якості кисню та віку печі. У окремих випадках застосування киснево-паливного горіння викиди вдавалося знизити аж до 0,23 кг/тонну скла (див. Таблицю 4.17) [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007].

У секторі виробництва скляних фрит зареєстрована ефективність зниження рівнів NO_x, якої вдавалося досягти у киснево-паливних печах, знаходилася в межах 20 – 45 % через своєрідну конфігурацію та умови експлуатації скловарних печей (невеликий від'ємний тиск), які допускали підсмоктування повітря в піч (див. Таблицю 3.51).

Окрім вибору пальника, досяжні рівні суттєво залежать від типу природного газу, що постачається в систему згорання, оскільки у газі може бути присутній великий відсоток азоту, та від інших параметрів, наведених нижче у розділі, присвяченому експлуатаційним параметрам.

Киснево-паливне горіння також може посприяти зниженню загальних викидів летких матеріалів з печі (твердих часток, фторидів, хлоридів, тощо) завдяки меншому потоку газу над розплавом та, у деяких випадках, меншій турбулентності, незважаючи на високу концентрацію водяної пари в атмосфері печі, яка сприяє випаровуванню лугів або бору.

Викиди твердих часток у виробництві вапняно-натрієвого скла можна знизити на 10 – 30 % від початкових рівнів викидів (повітряно-паливне згорання), хоча це спостерігається не у всіх випадках застосування. Викиди твердих часток найбільш результативно знижуються для боровмісних видів скла (до 50 %), зокрема, для лужно-боратних видів скла. У США стимулом для переходу на киснево-паливне варіння скла у деяких випадках було саме зниження викидів твердих часток, а не зниження викидів NO_x. У випадках, коли впровадження киснево-паливного горіння зменшує споживання палива, це також призводить до зниження рівнів SO₂, виражених через коефіцієнти викидів, якщо печі працюють на мазуті. Проте викиди SO_x можуть і збільшитися, якщо зменшується ступінь утримання сірки у склі внаслідок зміни рівноважного стану між скляним розплавом та газоподібними продуктами згорання. Безпосередні викиди CO₂ також зменшуються пропорційно заощадженню енергії (за його наявності), хоча також потрібно враховувати опосередковані викиди CO₂, пов'язані з електричною енергією, потрібною для виробництва кисню, а також викиди інших забруднюючих речовин, що утворюються на електростанції.

Міжсередовищні наслідки

Основним міжсередовищним наслідком киснево-паливного згорання є викиди, що утворюються перед виробництвом на електростанції при виробництві електричної енергії, що використовується для виробництва кисню. Для виробництва кисню потрібно близько 0,4 – 1 кВт·год./м³ н.у., і, з огляду на первинні джерела енергії, відповідні викиди тією чи іншою мірою компенсують потенційне зниження рівнів NO_x, CO₂ та споживання енергії, досягнуте завдяки застосуванню киснево-паливного згорання для варіння скла.

Як і для всіх заходів зі зниження викидів, що потребують споживання енергії, отримані вигоди для навколишнього середовища, що спостерігаються на рівні об'єкта, частково слабшають при врахуванні опосередкованих викидів.

Зокрема, повідомлялося про такі міжсередовищні наслідки:

- повідомляється, що викиди NO_x, опосередковано пов'язані з виробництвом кисню, становлять до 10 – 15 % від величини, на яку знизилися безпосередні викиди NO_x;
- повідомлені приклади демонструють підвищення викидів CO₂ на величину від 35 до 230 % у порівнянні зі зниженням безпосередніх викидів, якого вдалося досягти завдяки заощадженню енергії;
- у середньому, для виробництва кисню за допомогою вакуумної абсорбції / вакуумної абсорбції за змінного тиску (VSA/VPSC) потрібно приблизно 1,44 МДж/м³ н.у. енергії, що складає близько 24 % енергії згорання палива у печі, з урахуванням ККД перетворення електроенергії у 33 % на електростанції (1 МДж енергії згорання палива, підведений до киснево-паливної печі, еквівалентний 1,24 МДж первинної енергії).

- Виробництво електроенергії призводить до викидів SO_x , пилу та інших викидів в атмосферу.

Загалом можна стверджувати, що, якщо заощадження енергії завдяки киснево-паливному варінню скла переважають витрати на виробництво кисню, то зниження викидів суттєво переважає викиди, пов'язані з виробництвом кисню.

У рекуперативних печах без додаткових заходів з регенерації енергії (котла-утилізатора або підігрівання скляного бою) середнє заощадження енергії складає близько 25 – 35 %, включно зі споживанням енергії для виробництва кисню. Для великих регенеративних печей це значення знаходиться в діапазоні 0 – 15 %. Для високоефективних регенеративних печей ця цифра може бути від'ємною.

Нижче наведені деякі приклади, у яких оцінюються міжсередовищні наслідки застосування киснево-паливного згорання у скловарних печах (повідомлені дані розраховані за методикою, наведеною у розділі 8.1).

- Для печі з виробництва тарного скла потужністю 225 тонн/добу безпосереднє зниження викидів NO_x становить 80 тонн/рік, а викиди NO_x , пов'язані з виробництвом кисню, становлять 11 тонн/рік: таким чином, чисте зниження викидів еквівалентне 69 тоннам/рік. Зменшення кількості CO_2 , що виділяється з печі, еквівалентне 1 942 тоннам/рік, проте виробництво кисню призводить до опосередкованих викидів CO_2 у розмірі 4444 тонни/рік. При цьому викиди SO_2 з середньостатистичної електростанції становлять 30 тонн/рік.
- Для скловарної печі, у якій виготовляється скловолокно з безперервних ниток, безпосереднє зниження викидів NO_x становить 80 тонн/рік, проте опосередковане збільшення викидів NO_x (на електростанції) становить майже 9 тонн/рік. Викиди CO_2 з печі зменшуються на 5 390 тонн/рік, у той час як опосередковані викиди CO_2 збільшуються на 3 530 тонн/рік.

Порівняння питомих опосередкованих витрат, оцінених для різних скловарних печей та для різних технологій контролю забруднень шляхом зниження викидів, наведене у розділі 8.1.7, Таблиця 8.8.

У випадку, коли стан вогнетривкої верхньої будови скловарної печі потенційно може різко погіршитися, утворення твердих відходів (вогнетривких матеріалів, які потрібно замінити) складе додатковий міжсередовищний наслідок киснево-паливного згорання.

Експлуатаційні параметри

Повідомляється, що в секторі тарного скла найновіші виконання киснево-паливних пальників у поєднанні з оптимізованою конструкцією та експлуатацією печі забезпечують викиди NO_x у діапазоні 0,3 – 0,8 кг NO_x /тонну звареного скла, що зазвичай дорівнює 200 – 500 мг NO_x /м³ н.у.

У секторі скляних фрит зниження викидів, якого вдалося досягти шляхом застосування киснево-паливного варіння скла, набагато менше. З повідомлених даних видно, що рівні викидів знаходяться в діапазоні 7 – 11 кг NO_x /тонну звареного скла – для порівняння, типові рівні у випадку використання традиційних повітряно-паливних печей чи печей, у яких паливо спалюється у збагаченому киснем повітрі, становлять близько 13 кг/тонну скла або вище. Ці значення стосуються виробництв, на яких рецептури шихти можуть містити значну кількість нітратів, а необхідні умови роботи печей допускають підсмоктування повітря в камеру згорання (див. розділ 3.10.2.2).

Викиди NO_x дуже сильно залежать від таких чинників:

- процес виробництва кисню; у кисні, виготовленому за допомогою систем абсорбції за змінного тиску (PSA) або вакуумної абсорбції / вакуумної абсорбції за змінного тиску (VSA/VP SA), залишається невеликий відсоток азоту;
- якість природного газу; у ЄС природний газ часто постачається з більш ніж 10 % азоту у своєму складі;
- тип пальників, що застосовуються; у разі використання пальників зі ступінчастим згоранням зазвичай утворюється менше NO_x (<0,5 кг/тонну розплавленої скломаси у секторі тарного скла);

- споживання енергії піччю; воно є чинником, що визначає об'ємну витрату димових газів на одиницю маси скляного розплаву, і залежить, зокрема, від необхідної якості скла, розміру печі та частки скляного бою в шихті;
- якість палива; деякі типи палива можуть містити невелику кількість органічно зв'язаного азоту.

Одним із найважливіших питань, пов'язаних з цією технологією, є потенційні заощадження енергії, яких можна досягти. Як зазначено вище, це часто може бути вирішальним чинником при визначенні рентабельності технології у конкретному випадку застосування. Аналізуючи економічну ефективність цієї технології, її слід порівнювати не лише з тією піччю, замість якої вона буде використовуватися, а й з усіма доступними варіантами та альтернативними заходами зі зниження викидів, враховуючи енергію, що використовується для виробництва кисню.

У випадках, коли невеликі печі з низьким термічним ККД переводяться на киснево-паливне горіння, заощадження енергії на об'єкті може перевищувати 50 %. У випадку рекуперативної печі середнього розміру без спеціалізованих заходів, націлених на заощадження енергії, зі стандартними ступенями ізоляції та з використанням лише зворотного скляного бою споживання енергії при киснево-паливному варінні скла буде приблизно на 20 – 50 % нижче. Проте для великих енергоефективних регенеративних печей з оптимізованими тепловими характеристиками ці заощадження можуть бути близькими до нуля або навіть від'ємними, якщо враховується первинна енергія, зі збільшенням споживання на величину до 5 %. У цих випадках заощадження енергії на об'єкті не компенсує витрати на кисень. Кожен випадок є унікальним і повинен розглядатися з урахуванням конкретних обставин.

Як правило, киснево-паливні печі потрібно дуже добре ізолювати і ущільнювати, щоб уникнути проблем з корозією та агресивним впливом парів, що виділяються зі скляного розплаву, на вогнетривку верхню будову. Киснево-паливне згорання може посилювати зношування конструкцій, проте це залежить від вибору вогнетривких матеріалів та експлуатаційних параметрів печі.

Основним моментом, який може покращити економічні показники киснево-паливного варіння скла, є регенерація тепла з відхідних газів. Висока температура відхідних газів означає кращий потенціал для регенерації тепла, проте з цим також пов'язаний ряд труднощів. Перш ніж відхідні гази надійдуть у будь-яку систему очищення відхідних газів, їх необхідно охолодити, щоб досягти робочої температури обладнання для зниження викидів та гарантувати конденсацію всіх твердих часток, які утворюються з летких матеріалів.

Характер відхідних газів, що виходять з багатьох печей, обмежує використання теплообмінників з безпосередньою теплопередачею через можливість забруднення сконденсованими твердими частками та проблему корозії. Високі концентрації відхідних газів, характерні для киснево-паливного горіння, посилюють ці проблеми.

Особлива проблема постає у випадку виробництва боровмісного скла, коли димові гази потрібно швидко охолоджувати, щоб уникнути утворення липких твердих речовин, які мають корозійні властивості і легко засмічують трубопроводи та обладнання для зниження викидів, таке як електростатичні фільтри. Тому у цих випадках охолодження зазвичай здійснюється шляхом розбавлення газів повітрям.

З наведених вище причин засоби заощадження енергії, доступні для традиційних печей (наприклад, котли-утилізатори, високоефективні пальники та підігрівання скляного бою) не набули такого широкого вжитку для киснево-паливних печей. Втім, існує певний досвід роботи з цими технологіями, і на час укладання цього документа (2010 рік) вважалося, що існує принаймні дві печі, обладнані котлами-утилізаторами, і дуже мало киснево-паливних печей працюють з підігріванням скляного бою або шихти. Очікується, що в найближчому майбутньому у США буде випробувана нова технологія для підігрівання шихти та скляного бою, розроблена спеціально для киснево-паливних печей, яка дасть змогу працювати за набагато вищих температур димових газів. У Франції (станом на 2008 рік) провадилися деякі дослідно-конструкторські роботи з підігрівання газу та кисню, що постачаються для киснево-паливної печі з виробництва флоат-скла. Детальніше – у частині 6 «Перспективні технології», розділ 6.2.

Проте з накопиченням досвіду все більше цих заходів можна використовувати у поєднанні зі киснево-паливним згоранням. Не існує принципових причин, чому більшість цих технологій не можна було б використовувати разом з киснево-паливним згоранням, проте існують важливі технічні проблеми, які потрібно вирішити, і усунення яких займе багато часу (наприклад, можливе зношування вогнетривких матеріалів, зміна кольору скляного розплаву, утворення піни, тощо).

Для киснево-паливного варіння скла характерні вищі температури полум'я, які у деяких випадках можуть збільшувати питоме знімання скломаси на квадратний метр розміру печі (збільшення на величину до 25 %). Це має особливо велике значення, якщо є прагнення збільшити потужність печі, проте традиційна піч потрібного розміру не поміщається на виробничій площі.

Цю ситуацію додатково спрощує відсутність системи підігрівання. У деяких випадках застосування ця технологія також може забезпечити краще керування технологічним процесом та вищу якість скла. Це особливо стосується деяких процесів виробництва спеціального скла, які потребують високих температур варіння скла. Проте у випадку деяких типів скла підвищений вміст кисню та водяної пари може вплинути на хімічний склад скла, внаслідок чого потрібно буде внести зміни до рецептури шихти.

Досі залишається проблемою посилене зношування вогнетривких конструкцій, а відтак коротший термін служби печі. У деяких випадках це також може призвести до збільшення кількості дефектів скла (наприклад, внаслідок капання зі склепіння). У випадку вапняно-натрієвого скла високий тиск водяних парів може призводити до високого тиску парів NaOH, який може посилювати зношування вогнетривких конструкцій, особливо над рівнем скломаси.

Постачальники вогнетривких матеріалів розробляють нові матеріали, як-от удосконалені шпінелі на основі кремнезему та $MgO \cdot Al_2O_3$, у якості альтернативи дорогим плавлено-литим алюмо-цирконієво-силікатним або глиноземним матеріалам. Проте з киснево-паливною технологією досі пов'язаний певний фінансовий ризик. Використання вогнетривких матеріалів вищої якості може збільшити капітальні витрати на піч, і досі існує занепокоєність з приводу того, що вони можуть не бути достатньо стійкими у всіх випадках застосування.

Скорочена тривалість кампанії може мати дуже серйозні фінансові наслідки для заводу, особливо для великих печей, як-от у виробництві флоат-скла. Накопичений на сьогодні (2010 рік) досвід варіюється для різних випадків застосування від поганого до дуже хорошого. У цій сфері було виконано велику роботу, і цю проблему можна значно пом'якшити. Деякі виробники боросилікатного скла повідомляють про подовження терміну служби печей, і у деяких випадках застосування після переходу на цю технологію спостерігалися нижчі температури склепіння. Було доведено, що, аби запобігти утворенню силікату натрію та капанню при використанні динасового склепіння, слід постійно підтримувати достатньо високу температуру склепіння (понад 1460 – 1470 °C).

Нові системи пальників з високою тепловіддачею набагато ефективніше передають тепло до скломаси. У поєднанні з продуманою конструкцією печі, продуманим розташуванням пальників та використанням вогнетривких матеріалів вищою якості, з цими пальниками легше підтримувати робочі параметри в межах термічної стійкості вогнетривких матеріалів.

Станом на 2009 рік в цих умовах вже чотирнадцятий рік працювала піч для виробництва вапняно-натрієвого тарного скла з динасовим склепінням (O-I Europe, Лердам, Нідерланди, в експлуатації з 1994 року).

Технологія киснево-паливного варіння скла постійно розвивається, і печі, спроектовані з використанням найновіших технологій, з великою ймовірністю матимуть більшу тривалість кампанії, ніж раніше збудовані печі. У деяких випадках застосування повідомлялося про проблеми з утворенням піни. Це може призвести до проблем з якістю, зменшити ефективність та стабільність нагрівання.

Висока концентрація водяної пари в атмосфері печі, що утворюється при киснево-паливному згоранні, сприяє виділенню газів з розплаву, а відтак потенційно може покращити освітлення (буде утворюватися менше мошки), проте також значно посилює

утворення піни. Вплив атмосфери печі на стабільність піни досі не повністю зрозумілий і є темою для подальших досліджень.

У виробництві скловати високий вміст кисню в печі може полегшити переробку відходів, що містять органічні матеріали, без використання нітратів.

Хоча киснево-паливні печі і вважаються перевіреною технологією, все ще є деякі можливості для оптимізації геометрії печі, висоти склепіння, розташування пальників та їх висоти над розплавом і розташування вихлопних вильотів: це може підвищити енергоефективність і, відповідно, зменшити викиди CO_2 та витрати на електроенергію. Іншими можливостями для регенерації тепла димових газів – з малою об'ємною витратою, проте дуже гарячих – є підігрівання шихти або підігрівання природного газу, а також інші варіанти використання регенованої енергії, які можна розробити. Висока концентрація CO_2 у димових газах потенційно може полегшувати його захоплення.

Основні переваги і недоліки киснево-паливного варіння скла підсумовані у Таблиці 4.16.

Таблиця 4.16. Основні переваги і недоліки киснево-паливного варіння скла

<p><u>Переваги</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Можна досягти низьких значень викидів NO_x (зазвичай $<0,5 - 0,8$ кг/тонну звареного скла для вапняно-натрієвого тарного скла, з мінімальним повідомленим значенням у $0,23$ кг/тонну) • Капітальні витрати на печі зазвичай значно нижчі • У деяких випадках застосування технологія не потребує додаткових витрат або заощаджує кошти • У деяких випадках застосування можна суттєво знизити споживання енергії (особливо у разі заміни рекуперативної печі) • Потенційно нижчі викиди летких сполук та пилу, виражені через масові витрати, якщо об'єми відхідних газів зменшені. Це може зменшити капітальні витрати на обладнання для зниження викидів • Потенційно покращений об'єм виробництва/m^2 та вдосконалене керування технологічним процесом • У деяких випадках може покращитися якість скла • Може полегшувати захоплення CO_2 завдяки його високій концентрації у димових газах 	<p><u>Недоліки</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Якщо суттєвого заощадження енергії не вдалося досягти, технологія може бути дуже дорогою, особливо для великих печей, у яких виготовляється вапняно-натрієве скло. Це зумовлено різницею у вартості газу/мазуту в порівнянні з електроенергією • Економічна ефективність дуже різниться для різних випадків застосування, і її необхідно оцінювати окремо для кожного випадку • Виникали проблеми зі зношуванням вогнетривких матеріалів, що скорочувало термін служби печей, і ці проблеми не були повністю вирішені • Для виробництва кисню потрібна електрична енергія, на яку припадає близько 7% споживання енергії піччю, проте до 20% у перерахунку на первинну енергію • Опосередковані викиди за рахунок виробництва електроенергії (CO_2, NO_x, SO_x) можуть нівелювати потенційні вигоди для навколишнього середовища • Технологія, по суті, є первинним заходом у тому сенсі, що вона зменшує утворення NO_x, проте вона не робить нічого для зниження утворення NO_x з джерел, відмінних від термічних, – наприклад, з нітратів, присутніх у шихті • Для найбільш результативної реалізації технології її обладнання потрібно встановлювати у ході капітального ремонту печі • Зберігання, виробництво та використання кисню пов'язане з невід'ємними ризиками, і необхідно вживати належних запобіжних заходів • Під час виробництва кисню можливий шум, який необхідно контролювати • Можуть виникнути додаткові викиди SO_x через зменшення ступеню утримання сірки у склі, проте їх можна компенсувати шляхом коригування кількості сульфатів у рецептурі шихти • У скловарній печі може утворюватися піна • Якщо потрібно виготовляти скло високої якості, використання цієї технології може бути обмежене через потенційну можливість зношування вогнетривких матеріалів у печі
---	--

У Таблиці 4.17 наведені дані про рівні викидів, яких вдається досягти при киснево-паливному варінні скла для взятих у якості прикладу установок, що виготовляють тарне та спеціальне скло.

Таблиця 4.17. Рівні викидів NO_x при киснево-паливному варінні скла на взятих для прикладу установках

	Тарне скло ⁽¹⁾	Спеціальне скло	Спеціальне скло	Спеціальне скло ⁽²⁾
Паливо	Природний газ	Природний газ	Природний газ	Природний газ
Загальна продуктивність варіння скла	300 + 350 т/добу	50 т/добу	50 т/добу	40 т/добу
Фактичне питоме знімання скломаси	222 + 280 т/добу	40 т/добу	50 т/добу	40 т/добу
Електричне форсування	Ні	Так	Так	Так
Тип скла	Коричнєве, зелене	Боросилікатне	Боросилікатне, тарне	Склокераміка
Скляний бій	66 % (середнє значення)	60 %	40 %	50 %
Питоме споживання енергії ⁽³⁾	4,20 ГДж/т скла (середнє значення)	6,72 ГДж/тонну скла	10,37 ГДж/тонну скла	12,31 ГДж/тонну скла
Відповідні рівні викидів (BPB)	0,23 кг NO _x /т скла	1,42 кг NO _x /т скла	6,67 кг NO _x /т скла ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾	5,59 кг NO _x /т скла ⁽⁵⁾

(1). Установа складається з двох печей.

(2). Установа обладнана системою використання відхідного тепла, встановленою перед рукавним фільтром.

(3). Повідомлені дані стосуються енергії в місці використання без приведення до первинної енергії.

(4). Значення розраховане за наданою інформацією (масовою витратою, об'ємом димових газів, звареним склом, виміряною концентрацією викидів).

(5). Рецептура шихти містить нітрати.

Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]

Застосовність

Хоча принцип 100 %-во киснево-паливного варіння скла добре відпрацьований і може вважатися застосовним для скляної промисловості у цілому, проблеми його реалізації не слід недооцінювати.

Ця технологія застосовується головним чином у секторах виробництва скловолокна з безперервних ниток та спеціального скла; її використання у скляній промисловості в цілому обмежене рядом чинників. Досі вважається, що для печей великої потужності – >500 тонн/добу – ця технологія пов'язана з потенційно високим фінансовим ризиком. Кілька питань досі потребують додаткових досліджень, як-от вибір оптимальних вогнетривких матеріалів для верхньої будови печі, запобігання та стабілізація утворення піни і регенерація тепла з відхідних газів.

У кількох киснево-паливних печах досі є проблеми з утворенням піни, які не вдалося повністю вирішити. [109, Шеп (Schep), Десятиріччя киснево-паливної технології, 2003]

Загалом встановлення цього обладнання вигідно відкласти до наступного капітального ремонту печі, щоб максимально використати його потенційні вигоди і уникнути можливих експлуатаційних проблем. В принципі, киснево-газові пальники можна встановлювати для багатьох технологічних процесів, за винятком печей з підковоподібним полум'ям, не чекаючи ремонту в холодному стані. Встановлення пальників без зупинки печі може заощадити енергію і збільшити питоме знімання скломаси. Проте це навряд чи знизить викиди NO_x і може навіть призвести до збільшення рівнів NO_x; також є небезпека прискореного зношування вогнетривких конструкцій.

У 1998 році було оцінено, що 5 – 10 % світового виробництва скла припадає на киснево-паливне варіння скла. Оцінка, виконана французьким підприємством з виробництва кисню Air Liquide, показує, що з загального об'єму скла, виготовленого за киснево-паливною технологією, 25 % виготовляється у Європі, і 56 % – у Північній Америці. З того часу ці цифри змінилися з різною динамікою в різних секторах.

У всьому світі існує не менше 200 промислових киснево-паливних скловарних печей. Киснево-паливне згорання широко застосовується, особливо у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток та у секторі виробництва спеціального скла. У світі є п'ять киснево-паливних печей для виробництва флоат-скла (три у США, одна в Японії та одна в Європі) і від 40 до 50 киснево-паливних печей для виробництва тарного скла, більшість яких знаходяться у США.

Також є кілька прикладів киснево-паливних скловарних агрегатів, які успішно працюють у секторах виробництва мінеральної вати, спеціального скла та фрит.

Більше проблем виникло при застосуванні киснево-паливного згорання у секторі виробництва сортового скла, оскільки сильне утворення піни може бути несумісним з жорсткішими вимогами до якості цього типу скла. Проте на деяких установках успішно експлуатуються киснево-паливні печі. Що стосується секторів плоского і тарного скла, то головною перешкодою для застосування киснево-паливного згорання є висока вартість кисню та спеціальних вогнетривких матеріалів, потрібних для такої печі.

У Європі на час укладання цього документа (2010 рік) у секторі тарного скла працювала одна киснево-паливна піч (для виробництва литого скла), і ще одна така система була введена в експлуатацію в печі для виробництва флоат-скла у Франції. Вісім печей працюють на виробництвах тарного скла, становлячи 3,2 % від загального європейського об'єму виробництва в цьому секторі (у Німеччині, Нідерландах, Франції та Італії). У виробництві скловолокна з безперервних ниток понад 50 % скловарних печей, що експлуатуються в Європі, є киснево-паливними, деякі з електричним форсуванням. У виробництві скляних фрит киснево-паливне варіння скла застосовується у 15 % печей. Киснево-паливні печі становлять значну кількість європейських печей у виробництві мінеральної вати, сортового та спеціального скла (особливо боросилікатних скляних трубок).

Використання киснево-паливного згорання має потенційні міжсередовищні наслідки, які потрібно враховувати, як-от вплив на навколишнє середовище, пов'язаний з виробництвом кисню [99, ІТС-C080186, 2008].

Економіка

Фінансові аспекти киснево-паливного варіння скла можуть суттєво різнитися у різних секторах та в окремих випадках. Витрати дуже важко передбачити, проте деякі орієнтовні цифри наведені у розділі 8.1.7, у якому порівнюються витрати на технології зниження викидів NO_x. Витрати залежать від таких основних чинників:

- капітальні витрати у порівнянні з найбільш імовірною альтернативою (у тому числі додані витрати на більш витривалі вогнетривкі матеріали для склепіння печі та каналів димових газів);
- можливе заощадження енергії, якого можна досягти (дуже залежить від розміру та конструкції печі);
- поточна вартість кисню для установки;
- потенційний вплив на тривалість кампанії та супутній фінансовий ризик.

Переваги киснево-паливного варіння скла у порівнянні з іншими технологіями дуже різняться залежно від конкретного випадку, і рішення про реалізацію цієї технології може сильно залежати від інших чинників – наприклад, якщо потрібно збільшити питоме знімання скломаси без збільшення розміру печі, або якщо завод розташований поблизу дешевого джерела кисню. Економічні міркування можуть певною мірою залежати від чинників, характерних для конкретного об'єкта, і кожен випадок необхідно розглядати з урахуванням його конкретних обставин.

Важливим чинником з точки зору капітальних витрат є те, що у киснево-паливних печах немає традиційної системи підігрівання повітря для згорання, тож капітальні витрати загалом нижчі, ніж для регенеративної чи рекуперативної печі з сумірним питомим зніманням скла. Це найбільш помітно на нових заводах, де вдається заощадити повну вартість системи підігрівання. Найбільш високотехнологічні киснево-паливні пальники загалом дорожчі, ніж високотехнологічні пальники з низьким виходом NO_x, і вартість системи керування кисневим обладнанням досить суттєва. Проте для більшості печей додані витрати на киснево-паливні пальники та системи керування значно менші, ніж заощадження на системі підігрівання.

Занепокоєння щодо впливу цієї технології на термін служби вогнетривких конструкцій призводить до того, що склепіння печі виготовляється з дорожчих матеріалів. Якщо це необхідно, ці додані витрати можуть значно зменшити виграш на капітальних витратах. Власне кажучи, спочатку (у 1990 – 1995 роках) очікувалося, що термін служби киснево-паливних скловарних печей буде меншим, ніж термін служби традиційних повітряно-паливних печей. Проте у європейському секторі виробництва тарного скла є

принаймні кілька киснево-паливних печей з таким же терміном служби. Важливими чинниками, що визначають термін служби печі, є якість матеріалів (особливо склепіння) і дуже щільна герметизація верхньої будови.

Економічна конкурентоспроможність цієї технології залежить головним чином від потенційних заощаджень енергії та від відносних витрат на альтернативні технології для досягнення сумірних рівнів викидів NO_x .

У багатьох випадках застосування, для яких потрібні невеликі або середні печі, можна досягти значного заощадження енергії, і це робить технологію більш конкурентоспроможною. Дійсно, у деяких випадках (особливо для печей продуктивністю <50 тонн/добу) саме тільки заощадження енергії може бути достатнім стимулом для реалізації цієї технології. Великі традиційні печі зазвичай більш енергоефективні за своєю суттю, і потенційне зниження загального споживання енергії (включно з енергією, що витрачається на виробництво кисню) при переході або перебудові печі на киснево-паливне горіння буде набагато нижчим, а це збільшує загальну вартість технології (головним чином за рахунок вартості кисню). З іншого боку, для великих печей потрібна велика кількість кисню, яка зазвичай продається за кращою ціною на м^3 .

Було розраховано порівняльні витрати для киснево-паливних печей з динасовим склепінням, розрахованим на важкі умови експлуатації (300 000 – 400 000 євро доданих витрат), та зі склепінням, виготовленим з плавлено-литих матеріалів (алюмо-цирконієво-силікатних або глиноземних матеріалів). Використання таких плавлено-литих матеріалів може збільшити витрати на склепіння печі для виробництва флоат-скла на 4 – 5 мільйонів євро.

Відсутність підігрівачів повітря та відповідне заощадження на капітальних витратах характерні не лише для більшості поширених секторів скляної промисловості (тарне скло, скловолокно з безперервних ниток, спеціальне скло, тощо), а й для виробництва фрит, де підігрівання повітря в рекуперативних теплообмінниках добре відпрацьоване і застосовується в більшості печей.

У випадку регенеративних печей регенераційні системи можуть бути успадковані ще від першої печі, збудованої у цьому місці, і будуть за необхідності ремонтуватися, модернізуватися чи замінюватися при кожному капітальному ремонті печі. Тому, хоча значні заощадження і присутні, вони можуть бути не такими великими, як для нового заводу. У випадку рекуперативних печей рекуператор зазвичай замінюється при кожному капітальному ремонті печі, проте опорний каркас може використовуватися повторно, якщо конструкція та розташування печі особливо не змінилися. Заощадження капітальних витрат для нових заводів можуть суттєво різнитися для різних установок. Загалом повідомлялося про заощадження в районі 20 % для рекуперативних печей та 30 – 40 % для регенеративних печей.

Якщо киснева установка експлуатується постачальником, капітальні витрати на неї зазвичай входять у плату за кисень і не розглядаються окремо.

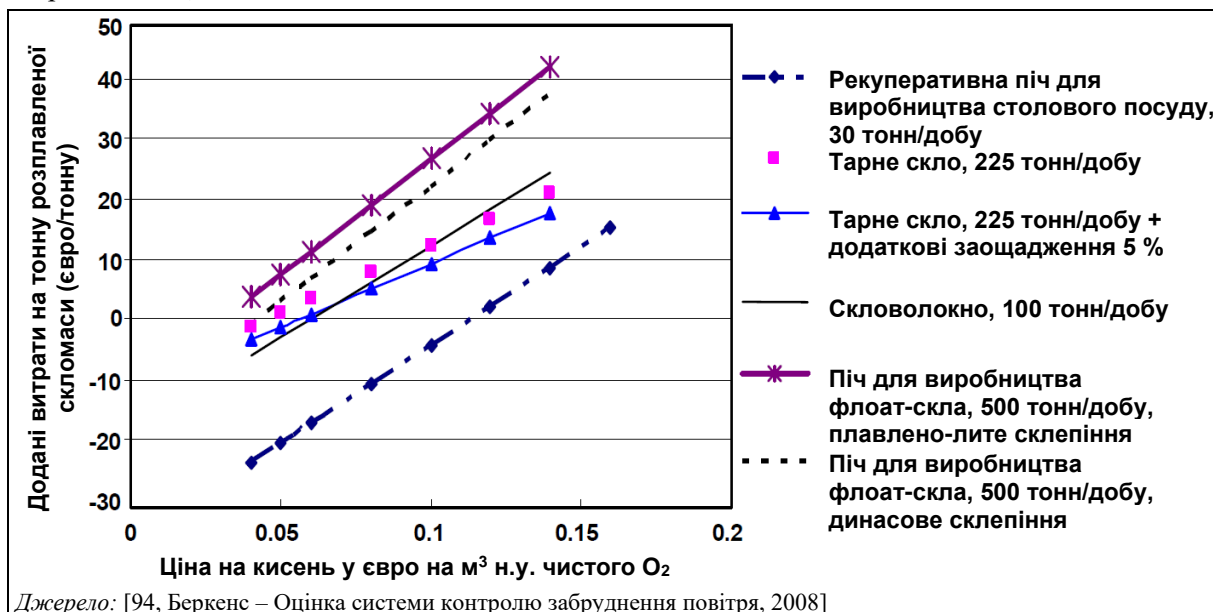
Корпус кисневої установки зазвичай надається компанією-виробником скла, проте він коштує досить небагато. Якщо компанія-виробник скла вирішила самостійно експлуатувати кисневу установку, капітальні витрати на неї можуть складати до 10 % від вартості печі. Якщо азот, який є побічним продуктом виробництва кисню, можна використати або збути, це може зробити свій внесок у зниження загальних витрат.

У кількох документах серед літератури про скляну промисловість вказані витрати на киснево-паливне горіння, які перевищують або дорівнюють витратам на СКВ. Проте це не завжди спостерігається на практиці: деякі оператори повідомляють, що їм вдалося перейти на цю технологію без додаткових витрат або, в деяких випадках, заощадити на експлуатаційних витратах. Більшість позитивних результатів отримані при переході на цю технологію невеликих печей, відмінних від регенеративних, з порівняно високим питомим споживанням енергії.

За винятком занепокоєння щодо терміну служби вогнетривких конструкцій, визначальним чинником з точки зору економічної ефективності киснево-паливного горіння у більшості випадків є різниця між заощадженнями енергії та витратами і міжсередовищними наслідками, зумовленими використанням кисню, у порівнянні з витратами і міжсередовищними наслідками для альтернативних технологій зниження викидів NO_x . Це

залежить від конкретного випадку, і, у той час як для багатьох невеликих печей цей баланс буде сприятливим, для великих печей заощадження загалом менші, фінансовий баланс набагато сильніше залежить від конкретних обставин, і набагато важливішими будуть інші чинники (особливо капітальні витрати, перераховані на рік). Також, звісно, велике значення має поточна вартість енергії та особливо кисню (і ті, й інші можуть коливатися).

На Рисунку 4.7 нижче показана повна різниця у питомій собівартості варіння скла при порівнянні газокисневих печей з традиційними скловарними печами. Тут представлені розрахункові дані для регенеративних печей, у яких виготовляється флоат-скло і тарне скло, та рекуперативних печей, у яких виготовляється столовий посуд (методика та припущення щодо витрат, які використовувалися у порівняльному дослідженні, описані у розділі 8.1).



Джерело: [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

Рисунок 4.7. Різниця у питомій собівартості варіння скла після переведення традиційних печей на киснево-паливне горіння для установок, на яких виготовляється різне скло (тарне скло, флоат-скло, скловолокно з безперервних ниток та столовий посуд)

У Німеччині станом на 2007 рік поточна середня собівартість виробництва кисню за розцінками була в межах від 0,04 Євро/м³ до 0,07 Євро/м³ залежно від типу системи, що використовувалася для виробництва тиску (кріогенна система, система абсорбції за змінного тиску – PSA, система вакуумної абсорбції / вакуумної абсорбції за змінного тиску – VSA/VP SA) та об'єму виробництва, а повідомлена кінцева ціна у пункті доставки становила від 0,046 до 0,11 Євро за м³. Кількість електроенергії, потрібна для виробництва кисню, становить від 0,4 до 1 кВт·год./м³, а її типова вартість знаходиться в межах 0,05 – 0,065 Євро за кВт·год. [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]. Ціна на кисень може суттєво різнитися у два і більше разів, залежно від того, яка кількість кисню використовується на установці

Для різних типів скла та потужностей печей було оцінено питомі витрати на застосування киснево-паливного варіння скла. Для розрахунку було прийнято такі досяжні рівні викидів:

- флоат-скло: 1,5 – 2 кг NO_x на тону звареного скла;
- тарне скло; 0,5 – 0,9 кг NO_x на тону звареного скла;
- спеціальне скло (без нітратів у шихті): 1 – 1,5 кг NO_x на тону звареного скла.

Отримані результати підсумовані нижче.

Тарне скло

Розрахункові витрати для печей різної потужності (200 тонн/добу та 450 тонн/добу) при порівнянні регенеративної печі з підковоподібним полум'ям та киснево-паливної печі демонструють, що інвестиційні витрати зменшуються на величину від 2 мільйонів Євро для меншої печі до 4,7 мільйона Євро для більшої печі, а річні експлуатаційні витрати

відповідно збільшуються на 450 000 євро на рік та 1,5 мільйона євро на рік (також залежно від ціни кисню: припускається, що вона становить 0,06 євро на м³ н.у.). Питоме збільшення витрат на тонну звареного скла еквівалентне 3 євро/тонну скла для меншої печі та 5 – 5,25 євро/тонну скла для печі більшої потужності. Вартість видалення NO_x за оцінками становить 3,4 – 4 євро на кг NO_x для меншої печі та 5,5 – 6 євро на кг NO_x для печі більшої потужності.

Плоске скло

Розрахункові витрати для застосування киснево-паливного згорання у печі для виробництва флоат-скла потужністю 500 тонн/добу демонструють зменшення інвестиційних витрат, еквівалентне 7,5 мільйона євро у випадку печі з динасовим склепінням, і менше – 3,5 мільйона євро – у випадку, якщо склепіння виготовлене з плавлено-литого матеріалу (алюмо-цирконієво-силікатного або глиноземного). Експлуатаційні витрати збільшаються на 2,7 мільйона євро на рік, з урахуванням вартості придбання квот на викиди CO₂ для дотримання Директиви 2003/87/ЄС, Схема торгівлі викидами (ETS) (хоча ці витрати важко розрахувати, оскільки вони залежать від конкретного об'єкта і коливаються в широких межах), та з припущенням, що вартість кисню становить 0,06 євро на м³. Питомі витрати збільшаються на величину від 6,8 євро на тонну скла до 11,4 євро на тонну скла, залежно від типу матеріалу, з якого виготовляється склепіння печі. Якщо ціна на кисень буде нижчою, збільшення витрат на тонну звареного скла суттєво зменшиться. За ціни 0,045 євро на м³ збільшення питомих витрат буде в межах від 1,1 євро до 5,6 євро на тонну скла. За оцінкою для печі, у якій виготовляється флоат-скло, вартість видалення NO_x становить від 3 до 5 євро на кг видалених оксидів азоту NO_x.

Сортове скло

Для столового посуду додані інвестиційні витрати, оцінені для печі потужністю 30 тонн/добу, еквівалентні 500 000 євро, оскільки для цього типу скла необхідні високоякісні вогнетривкі матеріали. Очікується, що експлуатаційні витрати зменшаться, якщо ціна на кисень буде меншою, ніж 0,12 євро/м³. Для існуючої печі потужністю 70 тонн/добу перехід з регенеративної конфігурації на киснево-паливну призведе до зменшення інвестиційних витрат, що еквівалентне 2,25 мільйона євро. Експлуатаційні витрати збільшаються на 600 000 євро на рік, що еквівалентно збільшенню на 12 – 13 євро/тонну скла, за припущення, що ціна на кисень становить 0,10 євро на м³.

Скловолокло з безперервних ниток

Для печі потужністю 100 – 120 тонн/добу переведення рекуперативної печі на киснево-паливне згорання, за оцінками, призведе до збільшення інвестиційних витрат на 1,5 мільйона євро і до зменшення експлуатаційних витрат, яке еквівалентне 250 000 євро на рік, з урахуванням ціни на кисень у 0,10 євро на м³. У цьому випадку питомі витрати на тонну звареного скла збільшаються на 6 євро/тонну, а витрати на видалення NO_x будуть еквівалентні 3 – 3,25 євро на кг NO_x.

Скловата

Що стосується скловати, то при застосуванні киснево-паливного згорання у скловарній печі потужністю 125 тонн/добу питома собівартість варіння скла складе приблизно 100 євро на тонну скла; це значення розраховане за капітальними/інвестиційними витратами (включно з амортизаційними витратами і витратами на виплату відсотків) та експлуатаційними витратами (включно з енергією, сировиною, квотами на викиди CO₂, утилізацією відходів, тощо). Оцінка виконана з припущенням, що ціна на кисень у пункті доставки еквівалентна 0,1 євро на м³, а вартість електроенергії становить 0,091 євро на кВт-год. з урахуванням податків. Якщо потужність печі вища, то при застосуванні повітряно-паливного згорання питомі витрати виявляються меншими [115, EURIMA-ENTEC, Оцінка витрат, 2008].

У Таблиці 4.18 наведені приклади фактичних та розрахункових показників витрат для установок, на яких виготовляються різні типи скла за різноманітних умов експлуатації.

Таблиця 4.18. Приклади фактичних та розрахункових витрат при киснево-паливному варінні скла у секторах виробництва тарного та спеціального скла.

	Тарне скло ⁽¹⁾	Спеціальне скло ⁽²⁾	Спеціальне скло ⁽³⁾
Паливо	Природний газ	Природний газ	Природний газ
Потужність печі	300 + 350 т/добу	50 т/добу	50 т/добу
Фактичне питоме знімання скломаси	222 + 280 т/добу	40 т/добу	50 т/добу
Електричне форсування	Ні	Так	Так
Тип скла	Коричнєве/зелене	Боросилікатне	Боросилікатне
Скляний бій	66 % (середнє значення)	60 %	40 %
Питоме споживання енергії ⁽⁴⁾	4,20 ГДж/т скла (середнє значення)	6,72 ГДж/тонну скла	10,37 ГДж/тонну скла
Відповідні рівні викидів (ВРВ)	0,23 кг NO _x /т скла	1,42 кг NO _x /т скла	6,67 кг NO _x /т скла
Супутні витрати ⁽⁵⁾			
Виробництво кисню	На об'єкті, кріогенний метод	Доставка, кріогенний метод	На об'єкті, кріогенний метод
Вартість електроенергії	0,05 євро/кВт·год.	0,065 євро/кВт·год.	0,065 євро/кВт·год.
Вартість постачання кисню	0,046 євро/м ³	0,11 євро/м ³	0,065 євро/м ³
Ціна на природний газ	0,0193 євро/кВт·год.	0,025 євро/кВт·год.	0,025 євро/кВт·год.
Питомі витрати на киснево-паливне варіння скла	9,97 євро/т скла (середнє значення)		~23 євро/т скла
Загальні інвестиційні витрати включно з амортизацією всього заводу	34,2 євро/т скла	93,46 євро/т скла	90,73 євро/т скла
Відсоткова ставка	6 %		
Термін служби	12 років		
Розрахункові інвестиційні витрати для зіставної традиційної регенеративної печі	40,2 євро/т скла ⁽⁶⁾	120,13 євро/т скла	142,36 євро/т скла
Розрахункова різниця	-15 %	-22 %	-36 %
⁽¹⁾ Установа обладнана двома печами. Перед рукавним фільтром встановлена система використання відхідного тепла. Значення використання скляного бою та споживання енергії є середнім арифметичним за двома печами. ⁽²⁾ Витрати оцінені на основі усного спілкування з керівництвом об'єкта. ⁽³⁾ Витрати оцінені на основі наявної інформації. У розрахунку не враховувалися витрати, пов'язані з використанням електричного форсування. ⁽⁴⁾ Значення споживання енергії не перераховані на первинну енергію. ⁽⁵⁾ Значення витрат вказані за рік встановлення системи контролю забруднення повітря і не обов'язково характеризують поточні витрати. ⁽⁶⁾ Витрати вказані з урахуванням амортизації всього заводу. Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]			

Додаткова інформація про порівняння розрахункових витрат на міжсередовищних наслідків киснево-паливного горіння з іншими технологіями наведена у розділі 8.1.7, у Таблиці 8.5, Таблиці 8.7 та Таблиці 8.9.

Рушій для впровадження

Киснево-паливне варіння скла – це первинна технологія, що застосовується для зниження викидів NO_x та, в деяких випадках, інших викидів у атмосферу (твердих часток). Застосування киснево-паливного варіння скла у деяких секторах скляної промисловості (спеціальне скло, скловолокно з безперервних ниток, мінеральна вата) вважається хорошим технічним та економічним варіантом процесу варіння скла. Рушієм для впровадження киснево-паливного варіння скла у печах, що використовуються в цих секторах, може бути зниження споживання енергії.

У секторі виробництва скляних фрит ефективність видалення NO_x завдяки використанню киснево-паливного згорання становить близько 20 – 45 %. Тому у цьому секторі ця технологія переважно вважається хорошою альтернативою для процесу варіння скла. [99, ITC-C080186, 2008].

Приклади заводів

Pilkington-LOF, Толедо, Огайо, США – флоат-скло.
 Ardagh Glass, Мурдейк, Нідерланди – тарне скло.
 Ardagh Glass, Обернкірхен, Німеччина – тарне скло.
 O-I Europe, Лердам, Нідерланди – тарне скло.
 O-I Europe, Східам, Нідерланди – тарне скло.
 Vetrobalsamo, Сесто-Сан-Джованні, Італія – тарне скло.
 PPG Industries, Хогезанд, Нідерланди – скловолокно з безперервних ниток.
 PPG Fiber Glass, Уїган, Велика Британія – скловолокно з безперервних ниток.
 OCV Reinforcements, Вадо-Лігуре, Італія – скловолокно з безперервних ниток.
 Gerresheimer Pisa, Піза, Італія – боросилікатні скляні трубки.
 Schott Glas, Майнц, Німеччина – спеціальне скло.
 Philips Lighting, Франція, Польща, Нідерланди – скло для освітлювальних приладів.
 Owens Corning Building Products (UK) Ltd, Кумбран, Велика Британія – скловата.
 James Kent Ltd, Сток-он-Трент, Велика Британія – фрити.
 SGD, Мер, Франція – тарне скло, флаконна продукція.
 Orrefors Kosta Boda, поселення Оррефорс, Швеція – кришталеве скло, продуктивність <5 тонн/добу.
 Verrerie de La Rochere, Франція – вапняно-натрієве скло, продуктивність 17 тонн/добу.
 Nachtmann, Німеччина – свинцевий криштал, продуктивність 9 тонн/добу.

Довідкова література

[4, Управління з охорони довкілля (EPA), 1994], [7, Скляна промисловість (Франція), 1996], [30, Центр знань Infomil 1998], [9, Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03, 1996], [33, Беркенс, 1999], [18, Ercole, 1998], [46, Іллі (Illy) та ін., 1998], [19, CPIV, 1998], [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007], [78, ГОЛЛАНДСЬКІ киснево-паливні печі, 2007], [79, Нідерландська організація прикладних наукових досліджень (TNO) – Звіт Асоціації італійських технічних фахівців зі скла (ATIV) за 2005 рік, остаточна версія, 2005], [88, Пропозиція FEVE, частина 4 – NO_x , 2007], [91, ITC – C071304, 2007], [92, ITC – C071603, 2007], [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008], [79, Нідерландська організація прикладних наукових досліджень (TNO) – Киснево-паливна технологія за 2005 рік, Звіт Асоціації італійських технічних фахівців зі скла (ATIV), остаточна версія, 2005], [98, ANFFECC, Становище сектора виробництва фрит, 2005], [99, ITC-C080186, 2008], [115, EURIMA-ENTEC, Оцінка витрат, 2008].

4.4.2.6 Хімічне відновлення паливом (ХВП)

Хімічне відновлення паливом (ХВП) означає ті технології, у яких до потоку відхідних газів додається паливо з метою хімічного відновлення NO_x до N_2 за допомогою ряду реакцій. Паливо при цьому не згорає, а розкладається шляхом піролізу, утворюючи радикали, які реагують з компонентами димових газів, утворюючи H_2O та N_2 . Для використання у скляній промисловості розроблено дві основні технології: процес 3R та процес допалювання. Обидві ці технології наразі обмежуються регенеративними печами. Процес 3R повністю розроблений для застосування у галузі, проте для процесу допалювання на час укладання цього документа (2010 рік) ще не була доведена його застосовність у скляній промисловості.

Процес базується на ряді хімічних реакцій між вбризнутим викопним паливом та оксидами азоту, присутніми у димових газах.

На першому етапі процесу утворюються вуглеводневі радикали (CH_x) – головним чином за рахунок термічного розкладання у зоні, де вприскується паливо (зазвичай природний газ).

Радикали реагують з NO_x , утвореними в печі, утворюючи інші сполуки азоту, такі як HCN та NH_3 . Як тільки ці сполуки утворюються, вони швидко реагують з іншими первинними

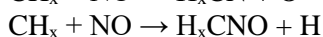
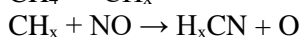
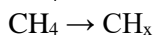
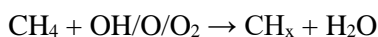
молекулами NO, утворюючи молекулярний азот (N₂). Після того, як допалювальне паливо змішалось і прореагувало з газоподібними продуктами згорання, вприскується повітря для вигорання, яке забезпечує повне згорання допалювального палива. У зоні вигорання всі відновлені сполуки азоту, які залишилися, повністю перетворюються у молекулярний азот (N₂) або назад у NO.

4.4.2.6.1 Процес 3R

Опис

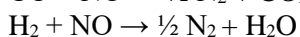
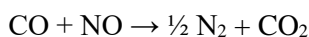
Процес 3R базується на керованому додаванні вуглеводневого палива у потік відхідних газів та вході в регенератор. Це паливо не згорає, а дисоціює і діє таким чином, що утворені в печі оксиди азоту NO_x хімічно відновлюються. Ця технологія розрахована на використання у регенеративних печах, де регенератор створює необхідні умови: температуру, турбулентне перемішування та час перебування в системі для протікання реакцій. Назва процесу «3R» означає «реагування та відновлення (reduction) у регенераторах».

Процес 3R складається з двох основних етапів: денітрифікації (deNO_x) та вигорання. На етапі денітрифікації (deNO_x) задіяні два принципові механізми. Перший із них передбачає протікання реакції між радикалами палива, що використовується у процесі 3R, та NO. Радикали (CH_x) дуже швидко утворюються після надходження палива в регенератор. На цьому етапі протікають такі основні реакції:

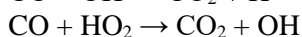
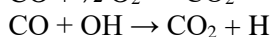
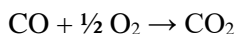


Ці реакції протікають дуже швидко, головним чином у верхній регенераційній камері. На них припадає близько 25 % відновлення NO_x.

Другий механізм працює, коли відхідні гази проходять вниз по насадках регенератора, час перебування в яких порівняно тривалий. CO та H₂ (утворені з первинного палива та палива, що використовується у процесі 3R) достатньо довго зазнають дії достатньо високих температур, щоб більша частина NO, який залишився, відновилася до N₂. Ця реакція протікає по всій регенераційній системі, проте головним чином у насадках регенераторів, і на неї припадає більша частина NO_x, відновлених за допомогою процесу 3R. Основні реакції такі:



Другий етап процесу полягає у вигоранні відновлених сполук – головним чином CO та H₂, які не прореагували. Ці сполуки окиснюються шляхом керованого подавання повітря у димові гази під регенератором. Основні реакції наведені нижче.



Технологію 3R слід розглядати як вторинну технологію, як-от СКВ та ШКВ, оскільки вона не запобігає утворенню і відновлює не лише термічні оксиди азоту NO_x, а й NO_x з інших джерел – наприклад, із сировини.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Залежно від конкретної установки, рівні викидів, які досягаються шляхом застосування процесу 3R у регенеративних печах для виробництва флоат-скла і тарного скла, знаходяться в межах 1,0 – 1,5 кг/тону звареного скла. За даними постачальника технології 3R, за її допомогою можна досягати загального зниження викидів NO_x у межах 70 – 85 % та рівнів концентрації NO_x у викидах аж до 500 мг/м³ н.у. або навіть нижче [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007].

Міжсередовищні наслідки

Основними недоліками технології 3R є те, що використання вуглеводневого палива для забезпечення необхідного відновлення NO_x неминуче пов'язане з витратами і призводить

до збільшення викидів CO_2 . Це означає, що технологію 3R вигідно поєднувати з більш традиційними первинними заходами з відновлення NO_x , щоб процес 3R потребував менше палива. Проте у цьому випадку потрібно враховувати загальні витрати та міжсередовищні наслідки, зокрема, на тону NO_x , викидам яких вдалося запобігти.

Якщо встановлений котел-утилізатор, і є можливість використовувати регенеровану енергію на об'єкті або на місцевому рівні, можна регенерувати більшість енергії, що міститься у паливі для процесу 3R. У таких випадках загальне збільшення кількості CO_2 буде мінімальним; втім, з використання процесу 3R не обов'язково впливає, що котел-утилізатор у цілому буде економічно ефективним, однак якщо він вже встановлений (або планується його встановити), використання процесу 3R вигідно збільшить діапазон навантажень печі, у якому котел можна використовувати. У цілому це може призвести до значних заощаджень за рахунок зменшення потреби в енергії на об'єкті і зменшити використання інших джерел енергії (наприклад, котлів на викопному паливі). Важливим чинником, що обмежує кількість енергії, яку можна регенерувати, часто є недостатня потреба в парі у межах установки. Наприклад, у секторі виробництва тарного скла котли зазвичай зустрічаються лише на тих об'єктах, де використовується мазут (який потрібно підігрівати), хоча в останні роки спостерігалася тенденція до переходу з котлів, розташованих в одній точці, до супутникового обігрівання на багатьох об'єктах, де використовується мазут.

Якщо відхідне тепло на заводі не регенерується, на необхідне додаткове паливо зазвичай припадає близько 7 % енергії варіння скла. Це призведе до збільшення викидів CO_2 до 25 – 35 кг на тону звареного скла або 4 – 6 тонн на тону NO_x , викидам яких вдалося запобігти. У розрахунковому збільшенні викидів не враховуються додаткові опосередковані викиди CO_2 (100 – 150 тонн/рік) та NO_x , пов'язані з використанням додаткової електричної енергії за рахунок збільшеної потужності вентиляторів (для транспортування додаткового об'єму відхідних газів).

На практиці точна потреба в паливі для досягнення бажаного рівня відновлення NO_x може різнитися залежно від конкретних умов роботи печі.

Неналежне застосування та експлуатація процесу 3R може призвести до пошкодження регенераторів. Відновлення димових газів може призвести до посилення корозії внаслідок конденсації та відкладення речовин, залежно від типу вогнетривкого матеріалу, з якого виготовлений регенератор.

Експлуатаційні параметри

Ступінь відновлення NO_x , який досягається за допомогою процесу 3R, залежить головним чином від кількості внесеного додаткового палива, і його можна адаптувати до різних норм викидів. У випадку застосування цього процесу в повітряно-паливних печах для виробництва флоат-скла концентрації NO_x можуть бути нижчими, ніж $500 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ при 8 % O_2 за об'ємом сухого газу. Проте застосування процесу слід ретельно контролювати, особливо у випадку використання того чи іншого вогнетривкого матеріалу.

Основні характеристики технології 3R наведені нижче.

- Температурне вікно для вприскування палива зазвичай становить $>1300 - 1400^\circ\text{C}$ у гарячих вихлопних газах на вході в регенератор.
- Усі вбризнуті вуглеводні зрештою перетворюються у CO_2 та пару H_2O , залежно від доступної кількості кисню.
- Типове зниження викидів NO_x зазвичай знаходиться в межах 70 – 85 % від початкових значень, проте для менших кількостей вбризнутих вуглеводнів реєструються і менші ступені зниження викидів.
- Кількість додаткового палива, потрібна для процесу 3R, становить близько 7 – 10 % від загальної кількості, що використовується для забезпечення скловарної печі енергією, проте типовим значенням є 8 %. Для печі з продуктивністю 500 тонн/добу, у якій виготовляється флоат-скло, додаткове споживання палива зазвичай становить від 350 та $375 \text{ м}^3 \text{ н.у.}$ природного газу/годину. Для печі з продуктивністю 300 тонн/добу, у якій виготовляється тарне скло, паливо додається у кількості 125 – 150 $\text{м}^3 \text{ н.у.}$ природного газу/годину.

- Що стосується питомого споживання енергії, то його розрахункове збільшення за рахунок застосування процесу 3R склало близько 0,5 ГДж/тонну для флоат-скла і 0,36 ГДж/тонну для тарного скла.
- Додаткові аспекти, пов'язані з застосуванням процесу 3R, стосуються вогнетривких матеріалів у регенераторі, які можуть не бути стійкими до відновлювальних газів (СО, вуглеводнів і сажі), відкладень солей з відновлювальними властивостями або високих концентрацій лужних металів. При застосуванні технології 3R необхідно уникати використання певних типів вогнетривких матеріалів, щоб не допустити потенційних пошкоджень регенератора та скорочення терміну служби.

Основні переваги і недоліки використання технології 3R підсумовані у Таблиці 4.19.

Таблиця 4.19. Основні переваги і недоліки технології 3R

Переваги	
•	Можна досягти значного зниження рівнів NO _x
•	Може застосовуватися до більшості типів регенеративних печей (прикладів застосування в печах з підковоподібним полум'ям не існує)
•	Не потребує значних змін у конструкції чи експлуатації заводу
•	Низькі капітальні витрати
•	Може застосовуватися без зупинки печі
•	Не потрібно жодних хімічних реагентів
•	Підвищене споживання палива у деяких випадках може компенсуватися регенерацією відхідного тепла
•	Відновлює NO _x , що походять з усіх джерел
Недоліки	
•	Підвищене споживання палива (зазвичай на 7 %, проте це збільшення у деяких випадках можна зменшити шляхом регенерації відхідного тепла)
•	Підвищені викиди CO ₂ (20 – 30 кг/т звареного скла, проте це збільшення у деяких випадках можна зменшити шляхом регенерації відхідного тепла)
•	Потенційно можливі викиди СО
•	У деяких випадках застосування є занепокоєння щодо впливу на вогнетривкий матеріал регенератора
•	Непридатна для застосування у печах, відмінних від регенеративних

Застосовність

Станом на 2009 рік ця технологія вважалася застосовною лише до регенеративних печей, проте її можна було реалізувати як на нових, так і на існуючих заводах, та в печах, що працюють як на мазуті, так і на природному газі.

Процес 3R застосовується головним чином у галузі виробництва флоат-скла; прикладів її застосування в інших секторах дуже мало.

Існує занепокоєння, що відновлювальна атмосфера, яка створюється в регенераторах, може пошкоджувати деякі типи вогнетривких матеріалів, особливо якщо вони водночас зазнають дії високих температур. Більшість досвіду роботи з цією технологією було накопичено для печей з виробництва флоат-скла, у яких регенератори в більшості випадків виготовлені з високоякісних вогнетривких матеріалів. Імовірність пошкодження вогнетривкої конструкції більша, якщо конструкція виготовлена з менш якісних вогнетривких матеріалів (наприклад, тих, які містять Са, Fe та Cr), що трапляються у деяких печах для виробництва тарного скла. Це дуже залежить від конкретного випадку, проте заміна існуючих вогнетривких конструкцій матеріалами з вищою термічною та хімічною стійкістю могла б потребувати значних витрат.

Розробники технології очікують, що в переважній більшості випадків регенератори не потрібно буде модифікувати.

Економіка

Типові інвестиційні витрати варіюються від 200 000 до 350 000 євро, залежно від кількості вальотів пальників та розміру печі.

Експлуатаційні витрати складаються головним чином з доданих витрат на паливо (часто природний газ), що вприскується у верхню частину регенераційних камер; тому вони дуже залежать від ціни на паливо. Додаткову статтю витрат становлять ліцензійні збори, які

потрібно сплачувати за використання технології. Ліцензійні збори розраховуються за досить складною формулою, проте за весь термін дії ліцензії ці витрати зазвичай складають близько 0,5 євро на тонну звареного скла.

Флоат-скло

Нижче наведені розрахункові показники витрат при застосуванні процесу 3R у виробництві флоат-скла, з припущенням, що досяжний рівень викидів NO_x еквівалентний <500 мг/м³ н.у.

- Інвестиційні витрати, які різняться залежно від розміру печі, можуть варіюватися від приблизно 310 000 євро (500 тонн/добу) до 360 000 євро (900 тонн/добу).
- Експлуатаційні витрати, що складаються з вартості додаткового природного газу та плати за ліцензію на процес 3R, можуть варіюватися від 1,06 мільйона євро до 1,3 мільйона євро на рік.
- Якщо прийняти за основу ціни на природний газ у 2007 році, то у результаті застосування процесу 3R питомі витрати будуть становити від 6 до 6,25 євро на тонну звареного скла для печі з виробництва флоат-скла продуктивністю 500 тонн/добу та близько 5,5 євро на тонну звареного скла для печі продуктивністю 650 тонн/добу. Витрати на кг відновлених викидів NO_x становлять 1,4 – 1,8 на кг видалених NO_x. Для печей, у яких виготовляється флоат-скло, річне зниження викидів NO_x становить, як правило, 700 – 1 000 тонн NO_x/рік, залежно від розміру печі та початкових викидів NO_x.
- У показниках витрат не враховується регенерація тепла за допомогою котлів-утилізаторів.

Тарне скло

Розрахункові витрати при застосуванні процесу 3R у печах для виробництва тарного скла наведені нижче.

- Інвестиційні витрати варіюються від 185 000 євро (200 тонн/добу) до 280 000 євро (600 тонн/добу).
- Типові експлуатаційні витрати складають від 300 000 євро на рік для печі потужністю 200 тонн/добу і аж до 780 000 євро на рік для печі потужністю 600 тонн/добу. У результаті отримуємо 4 – 4,5 євро/тонну звареного скла для печей малого та середнього розміру, у яких виготовляється тарне скло, та 3,75 євро/тонну звареного скла для дуже великих печей.
- Розраховані витрати на кілограм відновлених викидів NO_x становлять близько 2,5 євро на кг видалених NO_x. Для невеликих печей з виробництва тарного скла (200 – 300 тонн/добу) можна досягти зниження викидів на приблизно 125 – 150 тонн викидів NO_x/рік, а для печі потужністю 600 тонн/добу можна відновити понад 300 тонн викидів NO_x/рік.
- У показниках витрат не враховується регенерація тепла за допомогою котлів-утилізаторів.

У майбутньому на використання процесу 3R з великою ймовірністю вплине зростання вартості палива та штрафи за підвищені викиди CO₂.

У розділі 8.1.7, в Таблиці 8.8 наведені показники витрат та відповідні рівні видалення викидів NO_x, яких вдалося досягти, для кількох прикладів застосування процесу 3R.

Рушій для впровадження

Основними рушійми для використання цієї технології є необхідність дотримання граничних значень, встановлених законодавством, та вигода від малих необхідних інвестиційних витрат.

Приклади заводів

У 2007 році обладнання для процесу 3R було встановлене принаймні у 14 печах.

Цей процес застосовувався головним чином у секторі виробництва флоат-скла; прикладів його застосування в інших секторах було дуже мало.

Сектор тарного скла:

На заводі United Glass у місті Сент-Хеленс були успішно проведені короткотермінові експлуатаційні випробування (цей завод закритися у 1998 році). Довготерміновий вплив цього процесу не досліджувався.

Сектор флоат-скла:

- Pilkington, Ваєрґаммер, Німеччина.
- Pilkington, Гладбек, Німеччина.
- Pilkington, Сент-Хеленс, Велика Британія, флоат-скло – три печі.
- Pilkington, Фінляндія.
- Pilkington, Швеція.
- Pilkington, Марґера, комуна Венеція, Італія.
- Pilkington, США, дві печі для виробництва флоат-скла.
- Guardian Industries, Люксембург.

Сектор спеціального скла:

Samsung Corning, Корея (скло для телевізорів).

Довідкова література

[40, Шульвер (Shulver) та інші, 1997], [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007], [85, Іспанська настанова з НДТМ для скла, 2007], [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008].

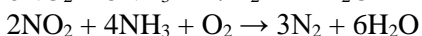
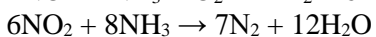
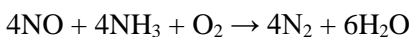
4.4.2.7 Селективне каталітичне відновлення (СКВ)**Опис**

СКВ полягає у реагуванні NO_x з аміаком у каталітичному шарі за належних температур. Доступно кілька каталізаторів, кожен з яких працює у дещо іншому температурному вікні. Найбільш поширеними каталізаторами є оксиди ванадію і титану (зазвичай TiO_2 та V_2O_5), якими просочується поверхня металевого або керамічного субстрату. Також можуть використовуватися цеолітові молекулярні сита: у цьому випадку реакція протікає у їх мікроскопічній пористій структурі. Робочі показники цеолітів можна оптимізувати шляхом додавання у їх структуру металів, таких як платина або паладій. Незалежно від того, котрий каталізатор використовується, важливо підтримувати належну робочу температуру: вона зазвичай становить 200 – 500 °С з оптимальним діапазоном 300 – 450 °С.

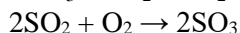
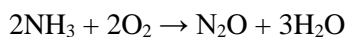
Каталітичні блоки, що використовуються у скляній промисловості, мають вигляд модульних стільникових конструкцій, хоча в інших галузях вони використовуються у зернистій або пластинчастій формі. Розмір блока залежить від об'єму відхідних газів, що очищується, та бажаного ступеня відновлення NO_x . Модульна конструкція дає змогу з легкістю замінити секції або додавати більше каталізатора. Термін служби каталізатора залежить від багатьох чинників, проте головним чином від складу відхідних газів та конструкції заводу. Більшість постачальників гарантують термін служби у три роки або більше, і у більшості випадків промислового застосування можна очікувати, що каталізатор працюватиме від 5 до 6 років без помітного погіршення роботи.

Системи зазвичай розраховані на відновлення 75 – 95 % NO_x , хоча типова довготермінова ефективність видалення підтримується в межах від 70 до 80 %. Теоретично, ефективність відновлення NO_x зростає зі збільшенням молярного відношення $\text{NH}_3:\text{NO}_x$, проте це відношення зазвичай підтримують якомога ближчим до 1:1, щоб мінімізувати проскок аміаку. NO_x реагують з NH_3 за сумарними реакціями, наведеними нижче. Ці реакції зазвичай протікають за температури близько 950 °С (див. розділ 4.4.2.8 «СНКВ»), проте каталізатор знижує цю температуру шляхом поглинання NH_3 , який реагує з NO , присутнім у газоподібній фазі. Аміак вприскується перед каталізатором у вигляді рідкого NH_3 або водного розчину. У деяких областях застосування з цією метою використовується сечовина, проте у скляній промисловості вона вважається не найкращим варіантом.

Основні реакції окиснення-відновлення такі:



Також може протікати кілька небажаних реакцій:



У процесі СКВ N_2O утворюється в дуже малих кількостях і зазвичай не становить проблеми. Утворення SO_3 та його наступне реагування з утворенням бісульфату амонію (NH_4HSO_4) може становити проблему, особливо у разі використання палива з високим вмістом сірки. Бісульфат амонію може отруїти каталізатор і призвести до засмічення та корозії обладнання. Деякі види пилу, що містять лужні метали (наприклад, MgO , CaO , Na_2O , K_2O) або важкі метали, також можуть діяти як каталітична отрута.

Хоча й існують системи, розраховані на великі кількості пилу, у процесах виробництва скла перед установкою СКВ необхідно встановити знепилювальну установку. Ця установка повинна знижувати концентрації пилу до 10 – 15 мг/м^3 н.у. і майже завжди виконана як електростатичний фільтр. Оскільки для рукавних фільтрів властиві низькі робочі температури, відхідні гази після них потрібно повторно нагрівати до температури реакції за присутності каталізатора, тому такий підхід значно збільшує експлуатаційні витрати і зазвичай вважається надмірно дорогим. Крім того, крізь шар каталізатора необхідно продувати повітря (приблизно кожні дві години), щоб уникнути його засмічення та забиття залишками дрібнодисперсного пилу. Використання електростатичного фільтра означає, що в багатьох випадках перед електростатичним фільтром також потрібно встановити систему очищення кислотних газів.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Рівні викидів NO_x , яких вдасться досягти, залежать головним чином від концентрації на вході і від кількості каталізатора та аміаку, що використовується. Вміст аміаку зазвичай підтримують нижчим, ніж передбачено відношенням 1,1:1, щоб обмежити потенційну можливість проскоку аміаку. Для деяких випадків застосування у скляній промисловості – наприклад, у секторах тарного та плоского скла з застосуванням двошарового каталізатора – повідомлялися концентрації викидів нижче 500 мг/м^3 н.у. Більші значення, близько 700 мг/м^3 н.у., повідомляються для установок, на яких використовується одношаровий каталізатор.

Теоретично, за умови достатньої кількості каталізатора, можна досягти дуже низьких рівнів викидів, проте на практиці існує багато стримуючих факторів, які обмежують ефективність роботи.

Якщо викиди NO_x не знижуються значною мірою за допомогою первинних заходів, більш типові викиди зі скловарних печей будуть знаходитися в діапазоні 1200 – 2000 мг/м^3 н.у., а при ступені відновлення у 80 – 90 % буде досягнуто значень, що варіюються від менш ніж 200 до 500 мг/м^3 н.у. та від 0,5 до 1,0 кг/тонну звареного скла для сектора тарного скла і від 1 до 1,5 кг/тонну для плоского скла. Якщо ця технологія використовується у поєднанні з первинними заходами, описаними у розділі 4.4.2.1, можна очікувати дуже низьких значень, проте у цьому випадку потрібно враховувати сукупні витрати та міжсередовищні наслідки – зокрема, на тонну NO_x , викидам яких вдалося запобігти.

На практиці, як вже зазначалося вище, фактичні значення при застосуванні технології у виробництві тарного та плоского скла, знаходяться в діапазоні 400 – 800 мг/м^3 н.у., а ефективність видалення знаходиться в діапазоні 70 – 80 %, залежно від початкової концентрації NO_x . Для виробництв спеціального скла з використанням нітратів у рецептурі шихти, де початкова концентрація NO_x сягає аж 5000 мг/м^3 н.у., при застосуванні технології СКВ реєструвалися значення близько 900 мг/м^3 н.у. Ці цифри зазвичай супроводжуються проскоком аміаку в межах 8 – 20 мг/м^3 н.у.; втім, значення <30 мг/м^3 н.у. повідомляються у випадках, коли досягаються концентрації NO_x на нижній межі діапазону, або застосовується система лише з одним шаром каталізатора.

Міжсередовищні наслідки

Основними міжсередовищними наслідками, пов'язаними з застосуванням технології СКВ, є потенційні викиди аміаку, споживання електричної енергії та утворення твердих відходів після завершення життєвого циклу каталізатора.

При використанні аміаку слід враховувати не лише проскок розчину, який не прореагував, а й правила техніки безпеки при транспортуванні, зберіганні та використанні аміаку з точки зору охорони навколишнього середовища та законодавства (стосовно запобігання та контролю небезпек виникнення важких аварій з участю небезпечних речовин – див. Директиви 96/82/ЕС та 2003/105/ЕС). Також слід враховувати опосередковані викиди, пов'язані з виробництвом аміаку.

Проскок аміаку з системи СКВ у відхідні гази зазвичай менший, ніж $30 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ У випадку застосування СКВ з одношаровим каталізатором на заводі з виробництва флоат-скла, з початковим рівнем NO_x $2400 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ та ефективністю видалення 71 %, було зареєстровано концентрацію близько $30 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ У випадку застосування двошарового каталізатора для печі з виробництва флоат-скла, низькою короткочасною концентрацією NO_x близько $340 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$, було зареєстровано концентрацію у $33 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$

Для печі з виробництва спеціального скла, з початковою концентрацією $5278 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ та ефективністю відновлення 80 %, було зареєстровано викиди аміаку у розмірі $20 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ Як правило, додатковий шар каталізатора може зменшити проскок аміаку і збільшити імовірність зниження викидів NO_x (загальний ступінь видалення $\text{NO}_x > 80 \%$). Проте покращення ефективності роботи супроводжується додатковими витратами, які слід враховувати.

Споживання електроенергії (на забезпечення додаткової потужності вентилятора та виробництво стисненого повітря для очищення модулів каталізатора і розпилення розчину аміаку у димові гази) та споживання аміаку супроводжуються опосередкованими викидами, пов'язаними з їх виробництвом. Виконана оцінка для технології СКВ, що застосовується у печах для виробництва флоат-скла, демонструє, що опосередковані викиди NO_x становлять 1,8 – 2,5 тонн на рік, а опосередковані викиди CO_2 становлять 800 – 1 500 тонн на рік, залежно від розміру печі для виробництва флоат-скла. Опосередковані викиди NO_x складають лише від 0,3 до 0,5 % від кількості NO_x , відновленої за допомогою СКВ (600 – 1 300 тонн/рік у випадку скловарних печей для виробництва флоат-скла потужністю 500 – 600 тонн/добу), а опосередковані викиди CO_2 становлять майже 1 % викидів CO_2 зі скловарної печі.

Відходи утворюються, коли каталізатор необхідно оновити після завершення його терміну служби. Типові терміни служби каталізаторів становлять 4 – 5 років (для тарного скла повідомлялося значення > 10 років), а об'єм утворених відходів може складати 20 м^3 у випадку печі для виробництва флоат-скла потужністю 700 тонн на добу.

Експлуатаційні параметри

У більшості випадків застосування в скляній промисловості СКВ використовується для підтримання викидів на рівні, який задовольняє вимогам застосовного місцевого законодавства, – зазвичай не нижче $500 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ Завдяки СКВ зазвичай досягаються рівні викидів $\text{NO}_x < 500 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ ($< 800 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ для високих концентрацій на вході). Поточні експлуатаційні параметри залежать від існуючого законодавства, яке регламентує як викиди NO_x , так і викиди залишкового аміаку.

У деяких галузях промисловості вдалося досягти цифр у $< 200 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$, і є підстави очікувати, що в деяких випадках у скляній промисловості можна досягти цифр, близьких до цих рівнів. Проте слід наголосити, що на час укладання цього документа (2010 рік) ці менші цифри не були досягнуті на практиці у скляній промисловості, і слід враховувати як технічні, так і економічні ускладнення.

На більшості існуючих установок у скляній промисловості, де використовується технологія СКВ, викиди вдалося знизити на 70 – 80 %, проте потенційно можна досягти зниження у 80 – 95 %, особливо у випадку нової установки СКВ, за рахунок більших об'ємів каталізатора (наприклад, другого шару модулів каталізатора).

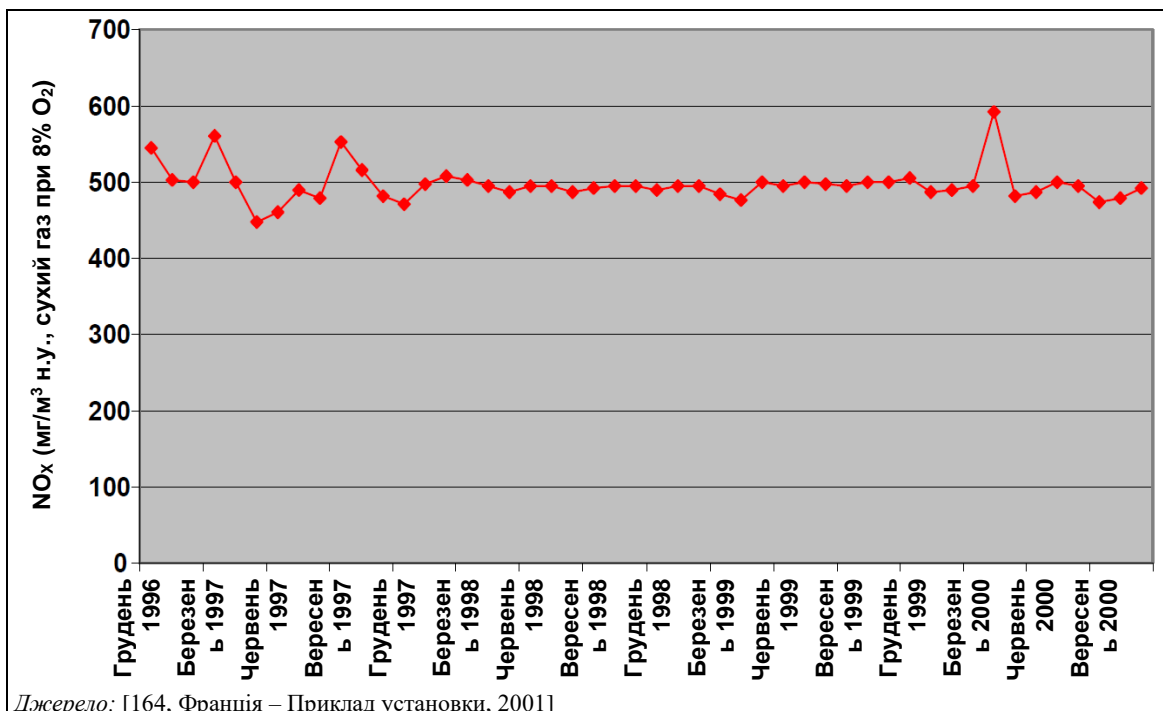
На час укладання цього документа (2010 рік) печі для виробництва тарного скла та плоского скла досягали своїх найкращих значень у $460 - 500 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$, можливих з використанням цієї технології, а концентрації NH_3 після установки СКВ при цьому не перевищували $30 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$

У Таблиці 4.20 наведені дані для прикладів установок, на яких виготовляється тарне, плоске та спеціальне скло, а технологія СКВ використовується у поєднанні з електростатичним фільтром та ступенем сухого очищення газів.

Таблиця 4.20. Рівні викидів NO_x при використанні технології СКВ на взятих для прикладу установках

	Тарне скло ⁽¹⁾	Плоске скло ⁽²⁾	Спеціальне скло ⁽³⁾
Паливо	Природний газ	Природний газ	Природний газ / легкий мазут
Тип печі	3 підковоподібним полум'ям (чотири печі)	Флоат-ванна	3 поперечним полум'ям, регенеративна
Загальне питоме знімання скламаси	640 т/добу	600 т/добу	170 т/добу
Установка СКВ	Двошаровий стільниковий каталізатор	Одношаровий стільниковий каталізатор	Стільниковий каталізатор об'ємом 10 м ³
Відновлювач	25 %-ий розчин аміаку	25 %-ий розчин аміаку	25 %-ий розчин аміаку
Споживання відновлювача	145 л/год.	200 л/год.	Немає
Відповідні рівні викидів (ВРВ)	Середні значення за півгодини	Середні значення за півгодини	Середні значення за півгодини
Викиди NO _x			
мг/м ³ н.у., сухий газ при 8 % O ₂	456	700	950
кг/т скла	0,97 ⁽⁴⁾	1,12	6,05
Ефективність видалення NO _x	75 %	71 %	82 %
Викиди аміаку			
мг/м ³ н.у., сухий газ при 8 % O ₂	19,5	<30 ⁽⁵⁾	20
⁽¹⁾ . Установка складається з чотирьох печей. ⁽²⁾ . Установка обладнана засобами безперервного моніторингу рівнів NO _x , NH ₃ та інших параметрів. ⁽³⁾ . Установка обладнана системою використання відхідного тепла. Рецепт шихти містить нітрати. ⁽⁴⁾ . Значення розраховане за наданою інформацією (масовою витратою, об'ємом димових газів, звареним склом, концентрацією викидів). ⁽⁵⁾ . Значення отримане шляхом точкових вимірювань. Середні концентрації близько 10 мг/м ³ н.у. вимірювалися безперервно.			
Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007], [84, Звіт від Італії, 2007]			

Приклад того, як з часом змінюються концентрації викидів NO_x від заводу з виробництва флоат-скла, обладнаного системою СКВ, зображено на Рисунку 4.8. Дані, наведені на рисунку, означають середньомісячні значення, розраховані за концентраціями викидів NO_x, що вимірювалися безперервно.



Джерело: [164, Франція – Приклад установки, 2001]

Рисунок 4.8. Коливання концентрації NO_x у часі для печі з виробництва флоат-скла, обладнаного системою СКВ

На тій же печі для виробництва флоат-скла атестованою лабораторією були виконані періодичні вимірювання за зіставний період часу. Результати вимірювань представлені в Таблиці 4.21 у вигляді як концентрацій (мг/м³ н.у., при 8% O₂), так і масових викидів (кг/тонну звареного скла).

Таблиця 4.21. Результати періодичних вимірювань викидів NO_x з печі для виробництва флоат-скла, обладнаної системою СКВ

Дата	Викиди NO _x ⁽¹⁾	
	мг/м ³ н.у., при 8 % O ₂	кг/тонну звареного скла
Лютий 1997	485	1,15
Квітень 1998	419	1,01
Листопад 1998	372	0,91
Квітень 1999	433	1,04
Жовтень 1999	375	0,92
Квітень 2000	343	0,84
Листопад 2000	411	1,00
⁽¹⁾ Значення отримані у результаті періодичних вимірювань, виконаних атестованою лабораторією. Джерело: [164, Франція – Приклад установки, 2001]		

Реагент NH₃, що використовується у процесі СКВ, часто попередньо випаровується і вприскується в вигляді пари під тиском у димові гази перед шаром каталізатора. З цією метою можна використовувати рідкий аміак або його водний розчин (зазвичай 25-ий). Рідкий NH₃ – це шкідлива речовина, і при його зберіганні та використанні постають важливі питання витрат та безпеки, у тому числі поінформованості сусідніх районів. У більшості процесів виробництва скла ці типи хімічних речовин не використовуються – натомість оператори віддають перевагу водному розчину, який теж потрібно обережно зберігати та транспортувати. Також потрібно враховувати питання, притаманні конкретному об'єкту, – зокрема, розташування поблизу житлового фонду та екологічно чутливих середовищ.

Робоча температура системи СКВ повинна бути вищою, ніж 330 °C, аби не допустити утворення бісульфату амонію (NH₄•HSO₄). Цей продукт конденсації/відкладення може засмітити поверхні каталізатора та установки СКВ, внаслідок чого вони будуть погано працювати.

Якщо ці явища не виникають, термін служби каталізатора повинен складати принаймні 4 – 5 років для більшості скловарних печей та характеристик димових газів, проте були заявлені і набагато довші періоди (до 10 – 12 років).

Типовий об'єм каталізатора, потрібний для печі з виробництва флоат-скла продуктивністю 700 тонн звареного скла/добу (об'єм димових газів – 90 000 м³ н.у./год.) становить 20 м³ (один шар). За звичайних умов оцінки показують, що для зниження викидів NO_x на кожну тону використовується 0,008 м³ каталізатора, а об'єм у 20 м³, що використовується за 4 – 5 років, зменшить загальні викиди NO_x за цей період приблизно на 2 500 – 3 000 тонн.

Використання двошарового каталізатора підвищить ефективність видалення NO_x і зменшить просок аміаку. З одним шаром каталізатора зниження рівнів NO_x становить близько 75 – 80 % для конкретного рівня дозування аміаку. Збільшення дозування аміаку при використанні одношарового каталізатора (1 – 1,3 метри висотою) збільшить просок аміаку до значень, які можуть бути неприйнятними.

Основні переваги і недоліки застосування технології СКВ підсумовані у Таблиці 4.22.

Таблиця 4.22. Основні переваги і недоліки технології СКВ

<p><u>Переваги:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Дуже висока ефективність відновлення NO_x • Відновлює NO_x з усіх джерел у печі, а не лише термічні NO_x • Може входити до складу комплексної системи контролю забруднення повітря • Кілька прикладів у скляній промисловості для різних секторів виробництва скла • Постачальники часто надають гарантії на робочі показники <p><u>Недоліки:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • У деяких випадках застосування (наприклад, для деяких видів борівмісного скла) все ще належить вирішити технічні проблеми • У процесі споживається аміак, частина якого викидається в повітря. Присутні міжсередовищні наслідки, пов'язані з виробництвом аміаку, та проблеми охорони навколишнього середовища і техніки безпеки, пов'язані з його зберіганням і транспортуванням. • Система споживає енергію • Повинна встановлюватися разом з системами зниження викидів пилу та очищення кислотних газів, для роботи необхідні низькі рівні пилу та SO_2 • Порівняно високі капітальні витрати, особливо для невеликих заводів • Потребує багато виробничої площі • Відносна економічна вигода затьмарюється розробками інших дешевших технологій • Досі існує занепокоєність з приводу термінів служби каталізаторів • Можлива взаємодія між каталізатором для СКВ та іншими викидами (наприклад, SO_2) • Граничні значення робочої температури обмежують можливості використання відхідного тепла • У випадку рекуперативних печей може бути необхідно охолоджувати гази • З огляду на мінімальну необхідну робочу температуру, технологія СКВ несумісна з використанням рукавних фільтрів, якщо тільки відхідні гази не нагріваються повторно.

Застосовність

В принципі, СКВ може застосовуватися до більшості нових та існуючих процесів у скляній промисловості. Проте існує ряд проблем, які серйозно обмежують застосовність цієї технології в певних випадках.

Високі рівні SO_2 в димових газах можуть призвести до утворення бісульфату амонію, який отруює каталізатор і викликає корозію. Це також потенційно може справджуватися для газових печей з високими рівнями сульфатів. Для уникнення цієї проблеми температуру димових газів слід підтримувати вище 330°C . Одним із ключових аспектів, що визначають витрати на СКВ, є термін служби каталізатора, який може суттєво скоротитися у разі отруєння.

Технологія СКВ використовувалася в енергетиці для очищення газів з високими концентраціями SO_2 , і ця проблема була вирішена за допомогою ефективних технологій знесірчення димових газів перед обладнанням. Ефективність видалення SO_2 у системах очищення газів, які зазвичай використовуються у скляній промисловості, навряд чи буде достатньою для СКВ. Більш ефективне видалення SO_2 суттєво збільшить витрати і ускладнить переробку зібраного матеріалу в печі, створюючи таким чином додатковий потік відходів. Детальніша інформація наведена у розділі 4.4.3.

Втім, повідомлялося про успішний досвід використання СКВ у мазутних печах. З огляду на це можна припустити, що використання мазуту більше не є фактором, який обмежує реалізацію СКВ; проте це питання потрібно ретельно дослідити.

Для системи СКВ потрібно багато виробничої площі, особливо якщо агрегат очищення газів та фільтрувальний агрегат ще не встановлені. На деяких існуючих заводах з обмеженою виробничою площею це може суттєво збільшити витрати на технологію або, у деяких випадках, зробити її неприйнятно дорогою.

Ще одним важливим чинником, який впливає на застосовність СКВ, є температура димових газів. СКВ загалом не прийнято використовувати у поєднанні з системою рукавних фільтрів, оскільки через їх низьку робочу температуру, в межах $180 - 200^\circ\text{C}$, відхідні гази зазвичай необхідно повторно нагрівати. Вартість повторного нагрівання газів до приблизно 400°C зазвичай неприйнятно велика: споживання енергії при цьому збільшується на $5 - 10\%$ у порівнянні з енергією, що підводиться до скловарної печі.

Навіть у випадку фільтрування за допомогою електростатичного фільтра температурне вікно може опуститися надто низько через велику мінливість умов виробництва (наприклад, при виробництві дуже тонкого флоат-скла), несприятливо впливаючи на ефективність системи СКВ.

СКВ також вимагає дуже низьких рівнів пилу (бажано $<10 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$), і якщо існуючий електростатичний фільтр не задовольняє цим вимогам, його необхідно модернізувати або замінити.

Окрім описаних вище меж застосовності, вирішальним міркуванням щодо застосування СКВ у скляній промисловості є його вартість у порівнянні з іншими технологіями.

У розділі 8.1.7 наведені і порівняні витрати на різні технології зниження викидів NO_x . У порівнянні з первинними заходами, СКВ – це порівняно дорога технологія. За останні роки всі ці технології суттєво розвинулися, і в багатьох випадках, коли викиди без застосування засобів їх зниження були меншими, ніж $2500 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ (тобто коли нітрати не додаються, або потрібні дуже високі температури), у скляній промисловості СКВ загалом не вважали найбільш економічно ефективною технологією для зниження викидів NO_x , проте зміна вартості енергії з часом може зробити цю технологію привабливою у порівнянні з іншими варіантами (наприклад, хімічним відновленням паливом або деякими випадками застосування киснево-паливного горіння з дуже високими концентраціями на вході).

На час укладання цього документа (2010 рік) проводилися деякі випробування у скловарній печі, в якій використовувався спеціальний тип керамічного фільтра з вбудованим каталізатором (система очищення димових газів CerCat), який може витримувати температури близько 400°C . Проте ця технологія досі вважається лише перспективною, оскільки у скляній промисловості з нею були проведені лише експлуатаційні випробування, і дані про застосування цієї технології на повномасштабних промислових установках поки що відсутні (див. розділ 6.7).

Технологія СКВ перевірена для певних видів скла з високим вмістом бору (фармацевтичні боросилікатні трубки), проте ніколи не випробовувалася для скловати або скловолокна з безперервних ниток. Потенційною проблемою для цих процесів є присутність легких сполук бору, особливо борної кислоти, у відхідних газах. За низьких температур – аж до 60°C – ці матеріали можуть конденсуватися, утворюючи солі або кислотні речовини), і за температур СКВ вони з великою ймовірністю будуть присутні у великих кількостях. Ці матеріали можуть серйозно погіршити роботу каталізатора, і їх важко видалити шляхом обдування сажі.

Застосування СКВ на установках, що виготовляють сортове скло з великим вмістом калію у рецептурі шихти, може бути проблематичним, оскільки лужні сполуки потенційно можуть отруювати каталізатор.

Економіка

Вартість СКВ залежить головним чином від розміру заводу (об'єму відхідних газів, який потрібно очищати) та бажаної ефективності відновлення NO_x . Загалом вважається, що для цієї технології властиві високі інвестиційні витрати і помірно високі експлуатаційні витрати. Крім того, оскільки технологія СКВ реалізована як комплексна триступенева система зниження викидів, вартість реалізації технології дуже залежить від того, чи враховується в ній вартість електростатичного фільтра та скрубера для очищення відхідних газів. У деяких випадках можна стверджувати, що без встановлення СКВ піч могла б не потребувати знепилювального обладнання, хоча в більшості випадків таке обладнання обов'язкове.

Існуюча інформація про витрати не завжди легко тлумачиться і досить специфічна для конкретних випадків. Інформація, доступна на час укладання цього документа (2010 рік), підсумована нижче.

За методикою, описаною у розділі 8.1, були оцінені показники витрат для різних типів виробництва та потужностей печей. Дані базуються на реальних вартостях (наприклад, розцінках постачальників) та розрахункових значеннях [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008].

Відповідні рівні викидів, що використовуються для оцінки витрат на застосування СКВ у скловарних печах, знаходяться в діапазоні 400 – 500 мг/м³ н.у. NO_x.

У представлених нижче показниках витрат не враховуються інвестиційні та експлуатаційні витрати, пов'язані з обладнанням для знесірчення та знепилення, яке довелося встановити раніше.

Виробництво флоат-скла

- Типові інвестиційні витрати складаються з витрат на каталізатор, корпус каталізатора, вентилятор або збільшення потужності вентилятора для подолання перепаду тиску на каталізаторі (близько 10 мбар), додаткові трубопроводи, резервуар для зберігання розчину аміаку, засоби моніторингу рівнів NO_x та заходи безпеки для підготовки об'єкта.
- Загальні інвестиційні витрати можуть варіюватися від 1,9 мільйона до 3,1 мільйона євро, залежно від розміру печі (500 – 900 тонн/добу); більша цифра відповідає виробництву флоат-скла з продуктивністю 900 тонн/добу. Інвестиційні витрати можуть різнитися для різних об'єктів залежно від загальної довжини трубопроводів, об'єму димових газів та заходів безпеки, яких потрібно вжити.
- Експлуатаційні витрати складаються головним чином з витрат на розчин аміаку (або сечовину), електроенергію, технічне обслуговування і каталізатор). Наведені витрати стосуються СКВ з одним шаром каталізатора та каталітичними модулями висотою близько 1,2 – 1,4 метра.
- Взявши за основу початкову концентрацію NO_x близько 1800 – 2000 мг/м³ н.у. у випадку газових печей та 1400 мг/м³ н.у. у випадку мазутних скловарних печей для виробництва флоат-скла, бачимо, що річні експлуатаційні витрати для печей з виробництва флоат-скла варіюються від приблизно 331 000 євро (піч потужністю 500 тонн/добу) до 450 000 євро (печі потужністю 900 тонн/добу). Споживання аміаку та пов'язані з ним витрати збільшаються зі збільшенням концентрацій NO_x у неочищених димових газах. Типові додаткові витрати на виробництво флоат-скла становлять приблизно 2,5 євро/тонну звареного скла. Для менших потужностей виробництва флоат-скла (<600 тонн/добу) та використання газу в якості палива ці значення можуть сягати 3 євро/тонну скла.
- Питомі витрати на кілограм викидів NO_x, відновлених завдяки застосування СКВ у печах для виробництва флоат-скла, становлять приблизно 0,7 – 0,9 на кг видалених NO_x.

Виробництво тарного скла

- Типові інвестиційні витрати можуть варіюватися від приблизно 840 000 до 1,27 мільйона євро, залежно від розміру печі; більше значення відповідає печі потужністю 450 тонн/добу, а менше значення відповідає печі потужністю близько 200 тонн/добу. Може виникнути потреба в додаткових інвестиціях для модернізації системи зниження викидів з димовими газами (наприклад, для досягнення низьких концентрацій твердих часток та SO_x).
- Експлуатаційні витрати складають приблизно 75 000 – 80 000 євро для печі потужністю 200 тонн/добу та приблизно до 136 000 євро на рік для більшої печі потужністю 450 тонн/добу.
- Питомі витрати на тонну звареного скла складуть близько 1,75 – 2,6 євро.
- Питомі витрати на тонну звареного скла нижчі у порівнянні з печами для виробництва флоат-скла: це зумовлено меншим питомим споживанням енергії і меншим об'ємом димових газів. Залежно від розміру печі, додаткові витрати на виробництво знаходяться в межах від 1,8 до 2,6 євро на тонну звареного скла; більші значення відповідають більшим печам.
- Питомі витрати на кілограм відновлених викидів NO_x вищі у порівнянні з печами для виробництва флоат-скла і знаходяться в межах 1,3 – 1,7 на кг видалених NO_x, залежно від розміру печі для виробництва тарного скла. Питомі витрати збільшуються зі зменшенням потужності печі.

Виробництво сортового скла

Що стосується застосування СКВ на установках у секторі сортового скла, то дані про відповідні питомі витрати відсутні, оскільки ця технологія наразі не застосовується в цьому секторі. Шляхом екстраполяції показників витрат, пов'язаних із застосуванням СКВ у секторі тарного скла, були оцінені наведені нижче витрати.

- Для рекуперативної печі потужністю близько 35 тонн/добу, у якій виготовляється столовий посуд, застосування СКВ буде супроводжуватися інвестиційними витратами у розмірі близько 0,5 мільйона євро (включно з підготовкою об'єкта, збільшенням потужності вентилятора, резервуаром для зберігання розчину аміаку) та експлуатаційними витратами до 40 000 євро на рік. Згідно з оцінкою, питомі витрати на тонну звареного скла становлять 8 євро. Викиди NO_x будуть знижені приблизно на 20 – 25 тонн NO_x в рік, а відповідні питомі витрати будуть становити близько 4 – 4,5 євро на кг видалених NO_x .
- Для більшої регенеративної печі, у якій виготовляється столовий посуд, інвестиційні витрати складуть від приблизно 750 000 до 800 000 євро, а експлуатаційні витрати – 80 000 євро на рік; питомі витрати при цьому складуть майже 5 євро на тонну звареного скла та 1,4 євро на кг відновлених викидів NO_x .

У цілому, додавання кожного наступного шару до модулів каталізатора зазвичай буде збільшувати вартість реалізації СКВ приблизно на 0,6 – 0,8 євро/тонну звареного скла і додатково зменшувати викиди приблизно на 100 мг $\text{NO}_x/\text{м}^3$ н.у. Відповідні додаткові витрати складуть приблизно 2,2 євро на кожен додатковий кілограм відновлених викидів NO_x , включно з витратами на додатковий каталізатор та витратами на додаткову електроенергію для збільшення потужності вентилятора.

У розділі 8.1.7, в Таблиці 8.8 підсумовані типові рівні витрат (інвестиційні, експлуатаційні та питомі витрати на тонну звареного скла та на кілограм відновлених викидів NO_x) для ряду печей з виробництва флоат-скла і тарного скла, а також розрахункові витрати для гіпотетичних випадків застосування СКВ у печах для виробництва сортового скла.

У Таблиці 4.23 наведено кілька прикладів фактичних показників витрат, пов'язаних з використанням технології СКВ (у поєднанні з електростатичним фільтром та ступенем сухого очищення газів) на установках, що виготовляють тарне, плоске та спеціальне скло.

Таблиця 4.23. Показники витрат, пов'язані з використанням технології СКВ на взятих для прикладу установках, що виготовляють тарне, плоске та спеціальне скло

	Тарне скло ⁽¹⁾	Плоске скло	Спеціальне скло ⁽¹⁾
Паливо	Природний газ	Природний газ	Природний газ / легкий мазут
Загальна продуктивність	640 т/добу	600 т/добу	220 т/добу
Відповідні рівні викидів (ВРВ)	456 мг/м ³ н.у. 0,97 кг/т скла	700 мг/м ³ н.у. 1,12 кг/т скла	950 мг/м ³ н.у. 6,05 кг/т скла
Система контролю викидів	СКВ + електростатичний фільтр + сухе очищення газів з використанням $\text{Ca}(\text{OH})_2$	СКВ + електростатичний фільтр + сухе очищення газів з використанням $\text{Ca}(\text{OH})_2$	СКВ + електростатичний фільтр + сухе очищення газів з використанням $\text{Ca}(\text{OH})_2$
Супутні витрати ⁽²⁾			
Інвестиційні витрати на СКВ, включно з резервуаром для зберігання аміаку	2,35 мільйона євро	Немає даних	1,5 мільйона євро
Інвестиційні витрати на електростатичний фільтр + сухе очищення газів	3,95 мільйона євро	Немає даних	2,8 мільйона євро
Загальні інвестиційні витрати	6,3 мільйона євро	5,0 мільйона євро	4,3 мільйона євро
Період амортизації	13 років	Немає даних	10 років
Річні амортизаційні витрати на СКВ + електростатичний фільтр та сухий скруббер	312 550 євро/рік + 525 350 євро/рік	Немає даних	199 500 євро/рік + 372 400 євро/рік
Питомі інвестиційні витрати на каталізатор	2,00 євро/т скла	Немає даних	9,34 євро/т скла
Витрати на постачання аміаку	106 000 євро/рік	Немає даних	Немає даних
Питомі інвестиційні витрати на систему контролю викидів	5,61 євро/т скла	4,5 євро/т скла	19,77 євро/т скла
⁽¹⁾ . Витрати вказані з урахуванням допоміжного обладнання, повітродува, трубопроводу, резервуара для зберігання аміаку, тощо. ⁽²⁾ . Значення витрат вказані за рік встановлення системи контролю забруднення повітря і не обов'язково характеризують поточні витрати. Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007], [84, Звіт від Італії, 2007]			

Рушій для впровадження

Основним рушієм є необхідність дотримання граничних значень викидів, встановлених законодавством.

Приклади заводів

У Таблиці 4.24 наведено перелік заводів, які працюють з використанням технології СКВ, з підсумком їх експлуатаційних параметрів.

Таблиця 4.24. Заводи, які працюють з використанням технології СКВ, та їх експлуатаційні параметри

Назва та місцезнаходження заводу	Об'єм газів м ³ н.у./годину	Вхідний потік мг/м ³ н.у.	Вихідний потік мг/м ³ н.у.	Відновлення (%)	NH ₃ мг/м ³ н.у.
Schott-Rohrglas, Міттертайх, Німеччина (спеціальне скло)	60000	5000	1500	70	<20
Euroglas SA, Омбур, Франція (флоат-скло)	55000	2000	500	75	<5
AGC Flat Glass Europe, Кунео, Італія (флоат-скло)	70000	2400	700	71	<30
Ardagh, Бад-Мюндер, Німеччина (тарне скло)	60000	1300	<460	>65 %	19,5
Quinn Glass, Інсе, Велика Британія (тарне скло)	50000	1100	<500	55	<30

У 2007 році було повідомлено усього про сім систем СКВ, що експлуатувалися у секторі плоского скла – зокрема, на таких заводах:

- Euroglas SA, Омбур, Франція (флоат-скло).
- Euroglas SA, Остерведдінген (Osterweddingen), Німеччина (флоат-скло).
- AGC Flat Glass Europe, Кунео, Італія (флоат-скло).
- AGC Flat Glass Europe, Ру (Roux), Бельгія (флоат-скло).
- Interpane Vitrage France S.à.r.l., Сенбуз (флоат-скло), запущено в експлуатацію у 2007 році з системою СКВ.
- AGC Flat Glass, Буссуа, Франція.

Ще кілька таких систем заплановано до запуску у 2008 – 2009 роках.

Довідкова література

[33, Беркенс, 1999], [47, ANFFEC, 1999], [7, Складна промисловість (Франція), 1996], [65, GERVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007], [64, FEVE, 2007], [88, Пропозиція FEVE, частина 4 – NO_x, 2007], [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007], [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008], [84, Італія – Звіт Італійського національного агентства з інноваційних технологій, енергії та сталого економічного розвитку (ENEA), 2007], [Шмальхорст Е., Ернас Т., Єшке Р. (Schmalhorst, E.; Ernas, T.; Jeschke, R.): «Досвід застосування установки денітрифікації на основі СКВ у печах для виробництва тарного скла» (Experience with an SCR DeNO_x plant for container glass furnaces), журнал Glastechnische Berichte («Наука та технологія виробництва скла»), 70 (1997), № 11, с. 354-358].

4.4.2.8 Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)**Опис**

У процесі селективного некаталітичного відновлення (СНКВ), також відомому як термічна денітрифікація (DeNO_x), оксиди азоту в димових газах відновлюються до азоту внаслідок реакції з аміаком або сечовиною за високих температур. У скляній промисловості переважно використовується аміак та водний розчин аміаку (зазвичай водний розчин з 25 % концентрацією за масою), хоча в деяких випадках застосовується сечовина. При цьому протікають такі ж хімічні реакції, як і у процесі СКВ, описаному у розділі 4.4.2.7 вище. Проте ці реакції протікають за вищих температур, не потребуючи каталізатора. Робоча температура знаходиться в межах 900 – 1050 °С, проте оптимальна температура становить близько 950 °С для аміаку та 1000 °С для сечовини.

У деяких областях застосування висувалося припущення, що додавання водню до відхідних газів може сприяти протіканню реакції за низьких температур, однак у скляній промисловості не повідомлялося про такий спосіб застосування. У процесі СНКВ аміак вприскується ближче до печі, ніж у процесі СКВ, і зазвичай переноситься газом-носієм. Ефективність цієї технології залежить від ряду чинників, серед яких головними є такі:

- температура;
- початкова концентрація NO_x ;
- однорідне змішування реагенту та димових газів;
- відношення кількості аміаку до кількості NO_x ; та
- тривалість реакції (потрібно 1 – 2 секунди) у температурному вікні 900 – 1050 °С.

Зокрема, важливо забезпечити належний діапазон температур, оскільки вприскування NH_3 за температури нижче 900 °С призводить до проскоку аміаку та зниження ефективності, а за температури вище 1050 °С може утворитися більше NO_x . Також необхідно забезпечити однорідний розподіл реагенту в димових газах. Для досягнення належної температури критично важливим є розташування інжекторів для аміаку, проте зона з належною температурою може бути недосяжною або може змінюватися зі зміною умов експлуатації (наприклад, у разі змін навантаження). Для пристосування до такої зміни місцезнаходження зони з належною температурою можна передбачити додаткові інжектори для аміаку, проте цей метод збільшить капітальні витрати, а його дієвість буде залежати від досяжності такої зони. Рівномірного розподілу можна досягти за допомогою належної конструкції трубопроводів та використання за необхідності відбійних перегородок або інших пристроїв регулювання потоку.

Ця технологія потерпає від тих же потенційних експлуатаційних проблем, що й СКВ, тобто від проскоку аміаку, утворення N_2O (більш інтенсивне у разі використання сечовини) та утворення бісульфату амонію. Бісульфат амонію може утворюватися в більших кількостях, ніж при СКВ, оскільки з огляду на робочу температуру аміак потрібно вприскувати перед фільтром та системою очищення газів, якщо вони є. У системі немає каталізатора, проте бісульфат амонію може спричинити проблеми з утворенням осаду.

З огляду на труднощі у досягненні однорідного перемішування реагенту з димовими газами у необхідному температурному вікні, застосування СНКВ у печах регенеративного типу обмежене.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Для СНКВ, як правило, вказують ступінь відновлення NO_x у діапазоні 40 – 70 %, хоча у деяких випадках застосування за межами скляної промисловості повідомлялося про цифри понад 80 %.

Основним чинником впливу є те, якою мірою можна оптимізувати чинники, що залежать від робочих параметрів. У процесі, який належним чином регулюється, і у якому відтак можна досягти оптимальних умов, можна досягти відновлення на 50 – 75 %.

Міжсередовищні наслідки

Викиди аміаку є однією з головних проблем і можуть бути чинником, який обмежує ефективність технології. Окрім вимог законодавства щодо транспортування та зберігання аміаку, потрібно вживати заходів безпеки для запобігання витокам аміаку та контакту з леткими викидами NH_3 під час складських операцій та перед вприскуванням у потік димових газів. Ці проблеми безпеки також мають фінансові наслідки.

Також потрібно враховувати опосередковані викиди, пов'язані зі споживанням енергії у формі електроенергії (подавання стисненого повітря, виробництво аміаку). Споживання енергії при застосуванні СНКВ становить близько 1700 кВт·год./тонну відновлених NO_x , у той час як енергія, потрібна для виробництва аміаку, за оцінками складає 10 кВт·год./кг NH_3 . Внесок опосередкованих викидів (головним чином CO_2) від виробництва електроенергії дуже малий у порівнянні з викидами зі скловарної печі – менше 0,35 % загальних викидів.

Експлуатаційні параметри

Остаточна концентрація викидів залежить від початкового рівня NO_x , тому найкращих результатів буде досягнуто у тих випадках, коли ця технологія використовується у

поєднанні з первинними заходами з відновлення. Проте у цьому випадку потрібно враховувати загальні витрати та міжсередовищні наслідки, зокрема, на тону NO_x , викидам яких вдалося запобігти. Наприклад, початкову концентрацію у $1100 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ можна знизити шляхом відновлення до $275 - 770 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$, залежно від умов технологічного процесу. Високу початкову концентрацію у $4000 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ можна знизити до $1000 - 2800 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$

Типові експлуатаційні параметри при застосуванні СНКВ у скловарних печах наведені нижче.

Для СНКВ з використанням розчину аміаку:

- проскок аміаку: $<10 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$
- споживання аміаку: зазвичай на кг видалених NO_x (у перерахунку на NO_2) потрібно близько $0,75 \text{ кг NH}_3$ (якщо ефективність видалення прийнята рівною 50 %), а результуючі викиди складають від 0,5 до 1 кг NO_x /тону звареного скла для виробництв вапняно-натрієвого тарного скла.

Для СНКВ з використанням сечовини:

- проскок аміаку: $3 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$
- споживання сечовини: зазвичай на кг видалених NO_x (у перерахунку на NO_2) потрібно близько 1,4 кг сечовини (якщо прийняти ефективність видалення до 40 %), а результуючі викиди складають 2,6 кг/тону скла (спеціальне скло, екрани телевізорів з нітратами у складі шихти).

Основні переваги і недоліки застосування технології СНКВ підсумовані у Таблиці 4.25.

Таблиця 4.25. Основні переваги і недоліки технології СНКВ

<u>Переваги:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • За правильних умов можна досягти хорошої ефективності відновлення NO_x • Низькі капітальні витрати у порівнянні з деякими альтернативи • Каталізатор не потрібен • Низька потреба в енергії
<u>Недоліки:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Аміак обов'язково потрібно вприскувати у правильному температурному вікні, проте цього іноді важко або неможливо досягти (особливо у випадку регенеративних печей) • За межами робочого діапазону температур можливі викиди NH_3 або збільшення викидів NO_x • Важливо забезпечити однорідне перемішування, а його може бути важко досягти • Споживається і викидається аміак, а його зберігання та транспортування становить проблему з точки зору охорони навколишнього середовища та безпеки • Є занепокоєння щодо можливого пошкодження вогнетривких матеріалів регенератора

Застосовність

В принципі, ця технологія може застосовуватися у всіх процесах виробництва скла, у тому числі на нових і на існуючих заводах. Технологія СНКВ потребує менших інвестиційних витрат і менше виробничої площі, ніж СКВ, тому вона краще підходить для процесів з обмеженою виробничою площею. Крім того, цю технологію можна використовувати без обладнання для очищення газів та видалення пилу. Якщо на заводі існують належні умови технологічного процесу, існуючі заводи легше дообладнати технологією СНКВ, ніж СКВ. Проте у цієї технології також є певні чинники, які обмежують її застосовність у скляній промисловості. Найважливішим із них є те, чи можна вводити реагент у точці системи відхідних газів, в якій можна підтримувати правильну температуру протягом належного часу тривалості реакції. Це особливо актуально для існуючих заводів та для регенеративних печей.

На існуючих заводах зона з правильною температурою може бути важкодоступною або знаходитися у місці з таким потоком газу, за якого важко забезпечити його хороше перемішування з реагентом. У багатьох випадках ці проблеми можна подолати або пом'якшити, проте вони можуть значно збільшити витрати і несприятливо вплинути на ефективність відновлення NO_x . У регенеративних печах правильний діапазон температур зазвичай зустрічається в регенераторах, у які дуже важко результативно вбризнути аміак. Цю проблему можна вирішити шляхом використання секційних регенераторів і

вприскування аміаку у з'єднувальний канал між ними. Секційні регенератори можуть бути передбачені у проєкті нового заводу, проте для існуючих технологічних процесів розділення регенераторів на секції може потребувати значних витрат і може бути здійснене лише у ході капітального ремонту. Навіть у тому разі, коли використовуються секційні регенератори, температурне вікно для СНКВ може бути важко підтримувати, оскільки між камерами полум'я міняє свій напрямок, а це призводить до циклічної зміни температури та змін питомого знімання скламаси з печі.

З огляду на згадані вище труднощі, технологію СНКВ загалом простіше реалізувати для рекуперативних печей, ніж для регенеративних печей. На практиці СНКВ навряд чи буде використовуватися в існуючих регенеративних печах; зважаючи на ці труднощі та пов'язані з ними витрати, оператор зазвичай віддає перевагу альтернативним засобам зниження викидів NO_x . У невеликих рекуперативних печах відносні витрати на реалізацію СНКВ досить високі, і у багатьох випадках підприємства галузі з більшою ймовірністю віддадуть перевагу іншим, більш економічно ефективним засобам контролю викидів, хоча це залежить від необхідного рівня ефективності роботи.

У Європі на час укладання цього документа (2010 рік) технологія СНКВ застосовується у секторі спеціального скла. Установки з її застосуванням, які раніше працювали у секторі тарного скла (Німеччина) та у секторі плоского скла (США), більше не експлуатуються.

Економіка

Розрахункові витрати на застосування СНКВ в печах різного розміру наведені нижче; розрахунок виконано з припущенням, що досяжні рівні викидів становлять від 450 до 500 $\text{mg NO}_x/\text{m}^3$ н.у.

Виробництво тарного скла

Типові інвестиційні витрати для рекуперативних печей потужністю 200 – 350 тонн/добу знаходяться в межах 680 000 – 900 000 євро. Розраховані експлуатаційні витрати склали 74 000 євро на рік для рекуперативної печі потужністю 200 тонн/добу та до 97 000 євро на рік для більшої печі потужністю 350 тонн/добу. Питомі витрати знаходяться в межах 1,9 – 2,3 євро на тонну скла; при цьому більша цифра відповідає меншим печам (200 тонн/добу). Витрати на кг видалених NO_x складають 2,1 – 2,5 євро на кг видалених NO_x : це більше, ніж у випадках застосування СКВ, оскільки у процесі СНКВ аміак перетворюється з меншою ефективністю.

Виробництво спеціального скла

У випадку застосування СНКВ в киснево-паливних печах, у яких в рецептурі шихти використовуються нітрати, розрахункові питомі витрати становлять 3 – 4 євро на тонну скла і 1 євро на кг відновлених NO_x . Порівняно малі витрати на тонну відновлених NO_x зумовлені високими початковими концентраціями у димових газах киснево-паливних печей.

Скловолокло з безперервних ниток

Випадки застосування СНКВ у цьому секторі невідомі. У результаті оцінки потенційної вартості встановлення такої системи на печі потужністю 100 тонн/добу було отримано капіталовкладення у розмірі 600 000 – 625 000 євро та експлуатаційні витрати у розмірі 65 000 – 70 000 євро на рік. Використання СНКВ збільшить питому собівартість виробництва на 4 – 4,25 євро/тонну скла.

Порівняння показників витрат для СНКВ з іншими доступними технологіями для видалення NO_x наведене у розділі 8.1.7.

Рушій для впровадження

Рушійми для впровадження цієї технології є менші витрати і менша потреба у виробничій площі, ніж у випадку застосування СКВ.

Приклади заводів

- Schott Glas AG, Майнц, Німеччина – застосовується на п'яти киснево-паливних печах (спеціальне скло).
- Osram, Аугсбург, Німеччина (спеціальне скло, скло для освітлювальних приладів).

Посилання на літературу

[33, Беркенс, 1999], [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008], [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007], [Любіц Г. (Lubitz G): «Багаторічний досвід використання процесу денітрифікації на основі СНКВ у рекуперативній скловарній ванній печі» (Langzeiterfahrungen mit dem SNCR-DeNO_x-Prozess an einer rekuperativ beheizten Behälterglaswanne) – доповідь на засіданні Технічного комітету VI d. Німецького товариства скляних технологій (DGG) (Охорона навколишнього середовища) 10 березня 2004 року у місті Вюрцбург].

4.4.3 Оксиди сірки (SO_x)

[89, Пропозиції EURIMA, 2007]

Термін «оксиди сірки» (SO_x) охоплює діоксид сірки (SO₂) та триоксид сірки (SO₃) у перерахунку на еквівалент SO₂. Діоксид сірки – це, безумовно, домінуючий оксид сірки у скляній промисловості, і більша частина міркувань, викладених далі, стосується його сполук. За температур нижче приблизно 200 °C SO₃ зазвичай перебуває у формі кислотного туману або пари; тому загалом вважається, що сірчана кислота (H₂SO₄) входить до обсягу терміну SO_x, оскільки вона є продуктом конденсації SO₃. Двома основними джерелами викидів оксидів сірки є окиснення сірки в паливі та розкладання/окиснення сполук сірки у матеріалах шихти.

Ступінь утримання сполук сірки у склі зазвичай низький (<0,35 % у формі SO₃ в більшості видів промислового скла), і, як правило, більша частина сірки, що потрапляє в піч, викидається в атмосферу у вигляді SO_x. Деяка частка SO_x у потоці відхідних газів прореагує з іншими сполуками, утворюючи сульфати, які конденсуються з утворенням пилу.

Кількість сульфатів у пилі різниться залежно від типу скла, проте для більшості видів вапняно-натрієвого скла вона становить близько 80 – 95 % і представлена головним чином сульфатом натрію. Це питання докладніше розглядається у розділі 4.4.1.

У печах з електричним нагріванням викиди SO₂ в більшості випадків дуже малі і утворюються лише внаслідок розкладання сировини. У вагранках для виробництва кам'яної вати присутня у цілому відновлювальна атмосфера, і сірка з сировини та палива викидається головним чином у вигляді SO_x та сірководню (H₂S). На установках у ЄС відхідні гази зазвичай очищаються у системі допалювання, яка окиснює H₂S до SO₂.

У деяких секторах (наприклад, виробництво ВТІВ, фрит) поява оксидів сірки (SO_x) зумовлена виключно наявністю домішок у сировині та, опосередковано, переробкою відфільтрованого пилу з систем зниження викидів пилу [98, ANFFECC, Становище сектора виробництва фрит, 2005].

4.4.3.1 Вибір палива**Опис**

У процесах, що протікають за рахунок спалювання мазуту, головним джерелом SO_x є окиснення сірки, присутньої в паливі. Кількість SO_x, утворених з матеріалів шихти, різниться залежно від типу скла, проте загалом завжди, коли спалюється мазут, викиди SO_x з палива переважають викиди SO_x з матеріалів шихти. Найбільш очевидний спосіб зменшення викидів SO_x – зменшити вміст сірки у паливі.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Вміст сірки у паливі регламентується Директивою Ради 1999/32/EC, яка встановлює граничне значення в 1 % з можливими пом'якшеннями вимог за особливих обставин.

Існують два типи мазуту різних сортів за вмістом сірки: <1 % сірки та <0,3 % сірки. Природний газ практично не містить сірки.

У Таблиці 4.26 нижче наведені типові діапазони викидів SO_x з печей для виробництва вапняно-натрієвого скла, що працюють на мазуті та на природному газі, без застосування вторинних заходів зі зниження рівнів SO_x. Ці цифри лише орієнтовні, а реальні цифри можуть суттєво відрізнятися (наприклад, див. Таблицю 3.15 у розділі 3.3.2.2).

Таблиця 4.26. Орієнтовні діапазони викидів SO_x з вапняно-натрієвих печей для різних видів палива

Паливо	SO _x (у перерахунку на SO ₂), мг/м ³ н.у.
Природний газ	300 – 1000
Мазут з 1 % сірки	1200 – 1800

Міжсередовищні наслідки

Загальний досвід галузі показує, що перехід на природний газ збільшує викиди NO_x на 25 – 40 %, хоча з накопиченням досвіду цей діапазон звужується. Це питання докладніше розглядається у розділі 4.4.2.1 («Вибір палива»). Використання природного газу супроводжується меншими питомими викидами CO₂ у порівнянні з мазутом; проте питоме споживання енергії на тонну звареного скла може збільшитися через меншу тепловіддачу/світність полум'я, різницю в об'ємі димових газів та теплоємність.

Перш ніж подавати мазут у пальники, його потрібно нагріти 110 – 120 °С, а для цього потрібно спожити додаткову енергію або використовувати регенероване тепло.

Перехід на паливо з нижчим вмістом сірки зазвичай супроводжується збільшенням витрат, оскільки ціна на таке паливо вища. Проте якщо відфільтрований пил, отриманий у результаті знесірчення димових газів, неможливо переробити в печі, очікується зниження витрат, оскільки на полігонах доведеться захоронювати менше пилу.

Експлуатаційні параметри

Додаткових даних не повідомлялося.

Застосовність

Природний газ широко використовується у галузі. Наприклад, на природному газі працюють майже всі печі для виробництва скловати на вихлопному паливі, більшість печей для виробництва скловолокна з безперервних ниток, усі печі для виробництва скляних фрит і понад 50 % печей для виробництва тарного скла.

Для переходу на спалювання газу потрібні інші пальники, система подавання газу в пальники та модифікації вльотів пальників та паливних отворів. Існуючі печі не завжди можливо повністю перевести на спалювання газу через потенційні проблеми з якістю скла і терміном служби печі; у цьому випадку може застосовуватися робота на змішаному паливі. Все більше скловарних печей обладнують таким чином, щоб вони могли працювати на обох видах палива.

Проте основним чинником, який впливає на вибір палива, є різниця цін на газ та на мазут.

Крім того, на вибір палива можуть впливати різні стратегії та енергетичні політики країн-членів ЄС і доступність природного газу та мазуту з географічної точки зору [157, Європейська комісія – Зелена книга, 2000].

Економіка

Як уже зазначалося вище, економічні аспекти вибору палива залежать від конкретної країни, і, оскільки деякі види палива потенційно можуть бути недоступними в певних географічних регіонах, загальна оцінка витрат не має сенсу.

Вагранки з гарячим дуттям, що використовуються у виробництві кам'яної вати, обігрівуються коксом. Вміст сірки у коксі, що використовується в цьому секторі, варіюється в досить вузьких межах (0,6 – 0,9 %) і залежить від джерела. SO₂, утворені з коксу, зазвичай складають 30 – 70 % від загальних викидів, залежно від використання шлаку доменних печей та відходів матеріалів, зв'язаних цементом. Кокс з низьким вмістом сірки може бути дорогого транспортувати, якщо тільки завод не розташований поблизу такого джерела, і зниження викидів у більшості випадків непропорційне витратам. У цьому секторі не використовуються альтернативні види палива з високим вмістом сірки, такі як нафтовий кокс, і в багатьох випадках вміст сірки у коксі буде зменшений настільки, наскільки це економічно виправдано.

Рушій для впровадження

Рушієм для переходу на паливо з низьким вмістом сірки або безсірчане паливо можуть

бути особливі місцеві умови навколишнього середовища і, відповідно, жорсткіші граничні значення викидів SO_x .

Приклади заводів

Не вказано жодного заводу.

Довідкова література

[88, Пропозиція FEVE, частина 4 – NO_x , 2007]

4.4.3.2 Рецептатура шихти

Опис

У традиційному виробництві скла основним джерелом викидів SO_x з матеріалів шихти є сульфати. Сульфати – це найбільш поширені освітлювачі, а також важливі окиснювачі. Найбільш поширеним сульфатом, безперечно, є сульфат натрію, який під час варіння скла та освітлення дисоціює з утворенням газоподібних сполук SO_2 , O_2 та Na_2O , котрі включаються до складу скла. Також широко застосовуються сульфати калію та кальцію. У більшості скловарних печей рівні сульфатів у шихті було знижено до мінімальних практично досяжних рівнів, які різняться залежно від типу скла.

Як уже зазначалося у розділі 4.4.3, ступінь утримання сполук сірки у склі зазвичай низький і може суттєво різнитися для різних типів скла, що виготовляються. Перетворення печі з повітряно-паливної на киснево-паливну може призвести до зниження ступеня утримання сірки у скляному розплаві. У таких випадках може бути необхідно модифікувати шихту, щоб забезпечити належну кількість освітлювача для процесу варіння скла. Проблеми, якими супроводжується зниження вмісту сульфатів у шихті, розглядаються у розділі 4.4.1.1, а проблеми, пов'язані з переробкою пилу, накопиченого у фільтрах / електростатичних пиловловлювачах, розглядаються у розділі 4.4.3.3. Типові викиди, пов'язані з використанням освітлювачів та окиснювачів, становлять 200 – 800 мг/м³ н.у. та 0,2 – 1,8 кг/тонну звареного скла.

У виробництві кам'яної вати важливими джерелами викидів SO_2 (окрім коксу) є використання у шихті шлаку доменних печей і зв'язаних цементом брикетів. Шлак зазвичай містить 0,6 – 1,5 % сірки за вагою, і переважна більшість сірки виділяється у вигляді H_2S та SO_2 . Якщо використовується допалювач, викиди будуть великою мірою окиснюватися до SO_2 . Існує мало варіантів придбання шлаку доменних печей з низьким вмістом сірки, і заводи зазвичай обмежені тим, що поблизу них, у межах економічно вигідних відстаней перевезення, є дуже мало постачальників.

Відсоток шлаку у шихті сильно варіюється – від майже 100 % для шлаковати до нуля на багатьох заводах з виробництва звичайної кам'яної вати. У більшості випадків, коли шлак використовується, він складає менш ніж 30 % від загального складу шихти (без урахування коксу). Єдиний випадок, коли його необхідно використовувати у продукції, – це виробництво білого волокна для таких видів застосування, як розпилення волокна з пістолета або виготовлення стельових панелей. Ці види застосування складають лише невеликий відсоток загального виходу продукції у секторі, проте на деяких заводах може виготовлятися лише ця продукція.

Для заводу, на якому у шихті використовується близько 30 % шлаку, викиди SO_2 приблизно в 2 – 3 рази вищі, ніж для безшлакової шихти. За оцінками, на час укладання цього документа (2010 рік) приблизно 10 % європейських заводів з виробництва кам'яної вати використовували шлак доменних печей.

Зрозуміло, що відмова від використання шлаку сприятливо впливає на викиди SO_2 . Проте використання шлаку, особливо у секторі виробництва мінеральної вати, все ж має ряд переваг, які підсумовані нижче.

- Менше споживання енергії і знижені викиди CO_2 завдяки частковій заміні вапняку шлаком. У разі використання шлаку поживання енергії та викиди CO_2 зазвичай на 5 – 15 % нижчі, ніж при завантаженні в піч базальтово-вапнякової сировини.
- Залежно від матеріалу, замість якого використовується шлак, завантажена в піч сировина може містити менше заліза, а це зменшує необхідну частоту його випускання і може покращити вихід продукту. Перебоїв у виробництві стає менше, і

дещо зменшується кількість твердих відходів.

- У деяких випадках стверджується, що використання шлаку покращує волокнуутворювальні властивості розплаву, а це може посприяти підвищенню ефективності технологічного процесу та зниженню рівнів утворення відходів внаслідок зменшення кількості королька.
- Шлак доменних печей – це вид відходів, котрий, якщо його не використати, з більшою ймовірністю буде захоронений на полігоні. Крім того, він замінює природний камінь і знижує потребу у кар’єрних матеріалах.
- Шлак також набагато дешевший, ніж матеріали, які він замінює.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

У цілому, мінімізація/оптимізація кількості сировини, яка містить сірку, в рецептурі шихти впливає не лише на викиди SO_x , а й на утворення пилу. Переробка пилу з фільтрів може певною мірою замінити сульфати, що додаються в шихту у якості освітлювача/окиснювача, і таким чином зменшити споживання цієї первинної сировини.

Оптимізація кількості сульфатів, що використовується в шихті, може зменшити потік твердих відходів, якщо він виробляється системою зниження викидів SO_x , встановленою далі по технологічній лінії.

Не виключено, що більшість описаних вище переваг також може бути досягнута шляхом збільшення ступеня використання повернених у процес технологічних відходів. У деяких випадках може бути доцільно виконати оцінку того, як використання шлаку впливає на забруднення навколишнього середовища у цілому, для конкретного об’єкта. Проте у загальній якійсь оцінці переваги використання шлаку навряд чи переважають викиди, що при цьому утворюються. Якщо шлак необхідно використовувати для надання продукції певного кольору, його частку можна мінімізувати шляхом використання повернених у процес технологічних відходів, утворених на самому виробництві. Якщо використовуються вторинні заходи зі зниження викидів SO_x , екологічний баланс для використання шлаку може змінитися.

Міжсередовищні наслідки

У цілому, мінімізація/контроль вмісту сірки у рецептурі шихти не має міжсередовищних наслідків. Проте надмірне зменшення кількості сірки призведе до проблем з якістю кінцевої скляної продукції. Наприклад, щоб гарантувати якість продукції деяких темних кольорів з тарного скла (як-от винних пляшок), потрібно використовувати конкретну рецептуру шихти, яка містить сірку.

Сполуки сірки може бути важко замінити іншими матеріалами з такою ж освітлювальною дією, оскільки альтернативні матеріали сильніше впливають на навколишнє середовище.

Переробка пилу з фільтрів шляхом його повернення в рецептуру шихти може призвести до збільшення викидів SO_x , оскільки цей пил складається головним чином із сульфатів.

Експлуатаційні параметри

Додаткових даних не повідомлялося.

Застосовність

Не повідомлялося.

Економіка

Не повідомлялося.

Рушій для впровадження

Рушієм для впровадження цієї технології може бути прагнення обмежити витрати на рецептуру шихти разом з мінімізацією початкових рівнів викидів SO_x .

Приклади заводів

Не вказано жодного заводу.

Довідкова література

[89, Пропозиції EURIMA, 2007], [30, Центр знань Infomil, 1998], [27, EURIMA, 1998].

4.4.3.3 Сухе або напівсухе очищення газів

Опис

Реакції, що використовуються при сухому та напівсухому очищенні газів, протікають за одним і тим же принципом. Реактивний матеріал (абсорбент) вводиться і розсіюється у потоці відхідних газів. Цей матеріал реагує зі сполуками SO_x , утворюючи тверду речовину, яку потрібно видаляти з потоку відхідних газів за допомогою системи електростатичного або рукавного фільтра. Абсорбенти, які вибирають для видалення SO_x , також результативно видаляють інші кислотні гази, особливо галогеніди (HCl та HF), проте також і інші леткі сполуки, як-от селен, борна кислота, тощо. У деяких випадках застосування абсорбент вприскується безпосередньо у трубопроводи відхідних газів, проте ці технології значно більш дієві, якщо використовується реакційна колона (сухий процес) або реакційна камера (напівсухий процес).

У сухому процесі в якості абсорбенту використовується сухий порошок (зазвичай $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 або $\text{Na}_2(\text{CO}_3)_3$), до якого може додаватися повітря для полегшення розсіювання. У напівсухому процесі абсорбент (зазвичай Na_2CO_3 , CaO або $\text{Ca}(\text{OH})_2$) додається у вигляді суспензії або розчину, і газовий потік охолоджується за рахунок випаровування води. У інших промислових сферах застосування описаний вище напівсухий процес називають напівмокрим; проте у цьому документі використовується термін «напівсухий», оскільки це звичний термін, який прийнято використовувати у скляній промисловості.

У скляній промисловості частіше зустрічається сухий процес, аніж напівсухий. Загалом ступінь зниження викидів суттєво залежить від наведених нижче параметрів.

- Тип скрубера. Конструкція скрубера може впливати на контакт газової фази з абсорбентом та на доступну тривалість реакції.
- Склад димових газів. Забруднюючі речовини, що містяться у відхідних газах, мають різну здатність до реагування з різними абсорбентами, і між різними сполуками протікають паралельні реакції, особливо якщо відношення кількості реагенту до кількості кислотних газів порівняно велике.
- Температура димових газів. Ідеальна температура повинна бути якомога ближчою до точки роси димових газів (нижче $180\text{ }^\circ\text{C}$) або набагато вищою (близько $400\text{ }^\circ\text{C}$). Діапазон температур у $180 - 350\text{ }^\circ\text{C}$ не підходить для сухого поглинання SO_2 гашеним вапном. Слід пам'ятати, що температури димових газів понад $350\text{ }^\circ\text{C}$ також необхідні для належного функціонування установки СКВ (детальніше – у розділі 4.4.2.7).
- Вологість димових газів.
- Молярне відношення «абсорбент / кислотні гази». Зазвичай необхідно, щоб абсорбенту було більше, ніж передбачено стехіометричним відношенням. Точна кількість абсорбенту зазвичай виражається через молярне відношення, яке можна визначити двома способами:
 - $\text{MB} = \text{молярне відношення кількості абсорбенту до кількості } \text{SO}_x, \text{ викидам яких потрібно запобігти};$
 - $\text{MB2} = \text{молярне відношення кількості абсорбенту до загальної кількості } \text{SO}_x \text{ на вході}.$
- Фільтрувальна система. У поєднанні з електростатичними фільтрами може використовуватися сухий або напівсухий процес, проте у випадку застосуванні рукавних фільтрів відхідні гази може бути необхідно охолоджувати. Найпоширенішим процесом очищення газів, що використовується у скляній промисловості, є сухий процес у поєднанні з електростатичним фільтром, у якому в якості абсорбенту використовується $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Це зумовлено тим, що $\text{Ca}(\text{OH})_2$ забезпечує порівняно високий ступінь зниження викидів за температури близько $400\text{ }^\circ\text{C}$, якої можна легко досягти у відхідних газах без охолодження, і яка знаходиться в межах робочого діапазону електростатичного фільтра. Проте слід зазначити, що у системах рукавних фільтрів реагент можна вприскувати в потік димових газів перед теплообмінником. Завдяки цьому реакція може протікати за температур близько $350 - 400\text{ }^\circ\text{C}$, як і у випадку електростатичних фільтрів. Температура реакції в ідеалі

повинна становити близько 400 °С; проте, з огляду на експлуатаційні обмеження, на практиці більш поширені температури у діапазоні 300 – 350 °С. У випадках, коли застосовуються системи рукавних фільтрів, температуру потрібно знизити до менш ніж 200 °С. Охолодження при цьому може здійснюватися за допомогою теплообмінника чи охолоджувального повітря, а у напівсухому процесі йому також сприяє випаровування води. У разі використання рукавних фільтрів на тканині внаслідок відкладання абсорбенту утворюється фільтраційний кек, який збільшує перепад тиску і зазвичай покращує поглинання кислотних газів.

- Тип реагенту. Найпоширенішими газоочисними реагентами у скляній промисловості є гашене вапно ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), карбонат натрію (Na_2CO_3), бікарбонат натрію (NaHCO_3) та, рідше, гідроксид натрію (NaOH) і вапняк (CaCO_3). Хімічний склад реагенту є важливим чинником, який визначає можливість переробки утворених в результаті твердих речовин у скловарній печі. Вирішальним чинником для досягнення належної швидкості реакції є питома поверхня реагенту, розрахована за методом БЕТ (методом Брунера, Еммета і Теллера) і виражена через $\text{м}^2/\text{грам}$. Реагенти зазвичай вприскуються у вигляді дрібного порошку з питомою площею поверхні до 40 $\text{м}^2/\text{г}$.

Додатковою можливістю для «сухого очищення» кислотних газів є безпосереднє підігрівання шихти. У цьому випадку лужні складові шихти виконують функцію абсорбентів. Використання цієї технології розглядається у розділі 4.8.5.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Більшість встановлених систем очищення газів від SO_x працюють за принципом сухого очищення газів з використанням гашеного вапна за температури 300 – 400 °С, тобто за температури, до якої нагріті відхідні гази на виході з ефективної печі регенеративного типу. За цих температур рівень SO_x зазвичай знижується приблизно на 30 – 40 % у разі використання високоякісного сухого вапна та надстехіометричного відношення $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{SO}_2$. Більш ефективного зниження можна досягти шляхом використання бікарбонату натрію або розчину карбонату натрію: у цьому випадку рівень SO_x знизиться на 60 % або й більше, залежно від кількості реагенту. Рівень SO_x можна знизити приблизно на стільки ж або й на більше за температур близько 200 °С у вологій атмосфері. Цього можна досягти шляхом вприскування розчиненого у воді сорбенту в поєднанні з використанням рукавних фільтрів. Проте ця напівсуха технологія знижує температуру відхідних газів до рівня, який загалом не підходить для регенерації відхідного тепла або роботи установок далі по технологічній лінії, які потребують високих температур (наприклад, СКВ або підігрівання скляного бою). У цих випадках можна також розглянути можливість застосування традиційного (або «справжнього») напівсухого процесу, хоча досвід використання цієї технології у скляній промисловості дуже малий. Це підкреслює необхідність виконання комплексного аналізу перед тим, як вживати заходів зі знесірчення, з урахуванням всіх наслідків, побічних ефектів, витрат та пріоритетів (наприклад, політики щодо закислення середовища, енергетичної політики, політики щодо поводження з відходами, тощо).

Необхідно зазначити, що використання великої стехіометричної кількості абсорбенту сірки супроводжується підвищеним навантаженням на обладнання для зниження викидів пилу, встановлене далі по технологічній лінії. На практиці, обмежуючи покращення поглинання, необхідно віднайти баланс між ним та технологічними вимогами і додатковими витратами, якщо вони є, на збільшення продуктивності електростатичного пиловловлювача.

Процес очищення газів також діє на інші газоподібні кислотні забруднювачі, як-от HCl та HF , різною мірою знижуючи їх рівні. Типові значення ефективності видалення, співвіднесені з типом реагенту та умовами роботи, наведені нижче у розділі «Експлуатаційні параметри».

Ці технології ефективно видаляють деякі інші забруднюючі речовини – наприклад, сполуки селену та кислотні сполуки бору, як-от HBO_2 та H_3BO_3 , – проте інформації про рівні їх зниження дуже мало. Наприклад, у випадку печі для виробництва плоского скла, яка виготовляє бронзове скло і обладнана системою сухого очищення газів, що працює на

NaHCO_3 , досягається ефективність видалення близько 90 % – від вмісту сполук селену на вході у 30 мг/м^3 н.у. до концентрації їх викидів на виході у 3 мг/м^3 н.у. (тверді + газоподібні викиди). Щоб знизити викиди селену до ще нижчого рівня (1 мг/м^3 н.у.), кількість лужного реагенту слід збільшити від 55 кг/год. до 120 кг/год., що призведе до міжсередовищного наслідку – утворення відходів, які, відповідно, потрібно утилізувати.

Міжсередовищні наслідки

У деяких прикладах застосування в скляній промисловості важливим стимулом до встановлення систем, що працюють за цими технологіями, було прагнення захистити обладнання для зниження викидів пилу або, в деяких випадках (наприклад, для безперервних ниток, фрит), забезпечити видалення викидів фторидів. У окремих випадках, коли викиди пилу чи фторидів не потрібно знижувати, з економічної точки зору може бути більш вигідно перейти на спалювання газу, ніж встановлювати обладнання для цих технологій.

Використання систем очищення газів супроводжується споживанням електричної енергії. Питоме споживання енергії зазвичай складає близько 12 – 20 кВт·год./тонну звареного скла у разі використання рукавних фільтрів та 8 – 11 кВт·год. у разі використання електростатичних фільтрів.

У результаті застосування цих технологій утворюється значна кількість твердих залишків, проте в більшості випадків цей матеріал можна переробити в печі. Проблеми особливо ймовірні в мазутних печах, у яких використовується велика кількість скляного бою. Якщо у якості абсорбенту використовується карбонат натрію, відфільтрований пил буде перероблятися у виробництві вапняно-натрієвого скла, замінюючи більш цінну сировину, оскільки це виробництво потребує значної кількості карбонату натрію. Проте значне зниження вмісту карбонату натрію та бікарбонату натрію відносно вмісту HCl призведе до суттєвого збагачення відфільтрованого пилу сполукою NaCl , а це може створити проблеми при поверненні такого пилу в піч у складі шихти. Перехід NaCl в печі у леткий стан призводить до агресивного впливу на динасові/силікатні вогнетривкі матеріали в печі або регенераторах.

Загалом, для конкретного типу скла, сірка захоплюється розплавом у фіксованій кількості, аби скло гарантовано мало потрібний ступінь окиснення-відновлення та колір. Тому на переробку сульфатів накладається кількісне обмеження.

Якщо частка скляного бою мала, зібраних сульфатів зазвичай менше, ніж потрібно для освітлення, і в деяких особливих випадках можливо збільшити захоплення сірки з зібраного пилу склом (тобто збільшити % SO_3). У цих випадках загальні викиди знижуються, і споживання сульфату натрію зменшуються. Якщо зібраних сульфатів більше, ніж їх потрібно у шихті, утворюється потік твердих відходів для утилізації за межами об'єкта. Як варіант, якщо весь матеріал переробляється у більших кількостях, ніж потрібно, то система стає замкненим контуром у динамічній рівновазі, з якого виходить лише сірка – у складі скла та як викиди у повітря. Якщо частка скляного бою велика, сульфатного освітлювача потрібно набагато менше; тому, якщо тільки частина пилу не видаляється, викиди SO_x збільшуються, і загальна вигода з точки зору зниження рівнів SO_x значно зменшується. Ця проблема найбільш помітна у випадку скла, яке вариться у відновлювальних умовах, коли розчинність сірки порівняно низька, та у випадках, коли використовується велика частка скляного бою.

На практиці, коли така проблема виникає, витрати на утилізацію пилу, який неможливо переробити, можуть бути вищими, ніж витрати на паливо з нижчим вмістом сірки (наприклад, мазут з низьким вмістом сірки чи природний газ).

Тому за багатьох обставин оператор радше воліє перейти на інший вид палива, ніж створити потік твердих відходів, який доведеться утилізувати. Проте, з огляду на різницю в цінах на паливо з низьким вмістом сірки (особливо природний газ) та інші види палива, такий варіант може виявитися економічно неперважливим.

Якщо у якості абсорбенту використовується гідрат кальцію, то для більшості складів скла буде існувати обмеження на кількість кальцію, яку можна переробити. Склад шихти зазвичай можна скоригувати, щоб компенсувати доданий пил з фільтрів, проте якщо

сировина завантажується порціями і містить велику частку скляного бою, то можливість коригування шихти обмежена. Якщо шихта містить велику частку скляного бою, вміст кальцію може бути більшим, ніж допускається у склі, внаслідок чого утворюються тверді відходи. У такому випадку проблему можна вирішити зміною абсорбенту: перейти на карбонат чи бікарбонат натрію або на суміш різних абсорбентів.

У регіонах з високим ступенем переробки скляного бою система стає ще більш наближеною до замкнутого контуру по мірі того, як у склі, що постійно переробляється, зростають рівні різних сполук. Це може бути проблемою для металів, фторидів і хлоридів, а також для сірки. Присутність металів, особливо свинцю, у відфільтрованому пилі може сприяти їх поступовому накопиченню у скломасі. У випадку тарного скла досягнуті в результаті концентрації можуть у виняткових випадках наближатися до порогових значень для важких металів, встановлених Директивою щодо упаковки та відходів упаковки 94/62/ЕС, вимоги якої для виробництва скла пом'якшені без обмеження за часом.

На випадок, якщо об'єм зібраного матеріалу проблематично переробити, існують технології, які дають змогу повторно використати частину абсорбенту, і таким чином зменшити його загальний об'єм. Невідповідність зібраного пилу рецептурі зазвичай не є перешкодою. Такі проблеми можна подолати шляхом ретельного аналізу та, якщо це необхідно, складування матеріалу в купі і змішування перед переробкою.

У виробництві кам'яної вати зниження викидів SO_x повинно відбуватися після печі для спалювання відхідних газів, але перед системою фільтрів. У більшості випадків система фільтрів встановлена перед спалювальною піччю, яка розрахована на роботу з очищеними газами. У цих випадках для реалізації цієї технології на існуючих заводах необхідно передбачити спалювальну піч та додаткову систему фільтрів. Очікувані інвестиції складуть 4 – 5 мільйонів євро.

Рентабельність напівсухого процесу в цьому секторі ще не доведена.

У секторі виробництва кам'яної вати матеріал набагато важче переробити у печі, ніж в інших секторах, оскільки цей технологічний процес не потребує додавання сульфатів, і ступінь утримання сірки у розплаві дуже низький. Тому більша частина забруднюючої речовини буде повторно викидатися. Для переробки відфільтрованого пилу у вагранці для виробництва кам'яної вати потрібно використовувати систему брикетування. Якщо такої системи немає, у результаті видалення SO_x буде утворюватися значний потік твердих відходів. Це означає, що зібрані відходи потрібно буде захоронити як тверді відходи або, якщо це можливо, обробити для відновлення цінності. Відходи, утворені в системі знесірчення димових газів, стає все важче захоронити на полігоні; їх може бути необхідно попередньо обробити, щоб запобігти вилугуванню. Цей міжсередовищний наслідок часто переважає вигоди від зниження викидів кислотних газів для навколишнього середовища (див. типовий баланс сірки у розділі 8.2).

Вибір абсорбенту для кам'яної вати також обмежений, якщо враховувати можливість його переробки. Продукція повинна містити дуже малу кількість натрію, тож карбонат натрію і бікарбонат натрію можна використовувати лише в тому разі, якщо зібраний матеріал не переробляється.

У виробництві кам'яної вати альтернативою сухому чи напівсухому очищенню газів може бути скруберна система з трубою Вентурі. Таким чином можна досягти високої ефективності видалення SO_x (90 – 95 %), проте ця технологія менш результативно знижує викиди пилу, ніж рукавний фільтр. Крім того, при цьому утворюються водяні відходи, і такий матеріал важко переробити. На нечисленних установках ця технологія успішно експлуатується понад 20 років.

Експлуатаційні параметри

Як зазначено вище, ступені зниження, яких вдається досягти за допомогою цих технологій, залежать від ряду факторів, серед яких – температура відхідних газів, кількість і тип абсорбенту, що додається (або, точніше, молярне відношення кількості реагенту до кількості забруднюючих речовин), та розсіювання абсорбенту. У наведених нижче таблицях вказані розрахункові значення ефективності, отримані за допомогою різних абсорбентів та процесів. Фактичні результати, яких вдається досягти, різняться для різних випадків; на

практиці спостерігалися як вищі, так і нижчі результати.

У Таблиці 4.27 наведені орієнтовні значення ефективності сухого поглинання для видалення газоподібних забруднюючих речовин. З огляду на різні ступені поглинання, що спостерігаються у фільтраційному кеку на рукавних фільтрах, та різні робочі температури електростатичних і рукавних фільтрів, дані для цих двох типів фільтрів наведені окремо.

Таблиця 4.27. Орієнтовні значення ефективності сухого поглинання з використанням $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Забруднююча речовина	Електростатичний фільтр		Рукавний фільтр
	~ 400 °C	200 – 280 °C	
SO_2	50 %	10 %	10 %
SO_3	80 %	90 %	95 %
HCl	70 %	35 %	80 %
HF	95 %	95 %	95 %
SeO_2	90 %	70 %	90 %

У довідковій літературі наведені орієнтовні результати для сухого процесу з використанням $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у більш загальному вигляді: вони представлені у Таблиці 4.28.

Таблиця 4.28. Орієнтовні ступені зниження викидів SO_x шляхом сухого очищення газів з використанням $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Температура	Ступінь зниження викидів SO_x	
	130 – 140 °C	170 – 180 °C
Молярне відношення $\text{Ca}/\text{S} = 1$	30 %	22 %
Молярне відношення $\text{Ca}/\text{S} = 2$	50 %	40 %
Молярне відношення $\text{Ca}/\text{S} = 3$	70 %	55 %

У випадку печі для виробництва флот-скла, на якій використовувалося сухе очищення газів плюс електростатичний фільтр з молярним відношенням $\text{MBI} = 4,4$ та з використанням $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у кількості 180 кг/год. за температури близько 400 °C, було зареєстровано ступінь зниження викидів у 65 %. Весь пил переробляється в печі.

Досвід застосування сухого процесу з використанням Na_2CO_3 у якості абсорбенту підсумовано у Таблиці 4.29 для діапазону температур від 300 °C до 400 °C. Наведені діапазони ступенів зниження, знову ж таки, орієнтовні і великою мірою залежать від температури та від використаної кількості абсорбенту.

Таблиця 4.29. Орієнтовні ступені зниження викидів SO_x шляхом сухого очищення газів з використанням Na_2CO_3

Забруднююча речовина	Ступінь зниження викидів SO_x
SO_2	<50 %
SO_3	90 %
HCl	50 – 75 %
HF	10 – 40 %
SeO_2	30 – 60 %

Результати роботи з NaHCO_3 у якості абсорбенту демонструють дуже хороший ступінь поглинання SO_x , особливо у діапазоні низьких температур: таким чином можна видалити до 90 % SO_x .

Як уже зазначалося вище, існує кілька параметрів, які впливають на ефективність зниження викидів кислотних газів, що виділяються зі скловарної печі. Фактичні ступені видалення можуть відрізнятися від орієнтовних.

Порівняння значень ефективності видалення, зареєстрованих шляхом польових вимірювань для різних типів лужних реагентів та різноманітних умов роботи, наведене у Таблиці 4.30.

Таблиця 4.30. Фактичні значення ефективності видалення кислотних газоподібних забруднюючих речовин шляхом сухого очищення газів за допомогою різних типів абсорбційних реагентів та за різних умов роботи

Реагент	Тип очисної системи	Температура відхідних газів	Стехіометричне відношення	Ефективність видалення ⁽¹⁾		
		°C	Реагент/SO ₂	SO _x (%)	HCl (%)	HF (%)
Гашене вапно						
Ca(OH) ₂ питома площа поверхні 14 м ² /Г	Електростатичний фільтр + сухе очищення газів ⁽²⁾	335	0,5	17	<5	62
			0,65	22	56	70
			2	37	95	97
Ca(OH) ₂ питома площа поверхні 34 м ² /Г	Електростатичний фільтр + сухе очищення газів ⁽²⁾	335	0,5	26	56	72
			0,7	34	65	81
			1	40	78	89
			1,7	43	95	97
Гідрокарбонат натрію						
NaHCO ₃	Електростатичний фільтр + сухе очищення газів ⁽²⁾	342	0,2	7	24	<5
			0,45	24	28	<5
			2	56	51	17
NaHCO ₃	Рукавний фільтр + сухе очищення газів ⁽³⁾	200	0,3	32	76	28
			0,4	44	83	39
			0,5	45	93	63

⁽¹⁾ Дані означають середні значення, розраховані за результатами трьох півгодинних вимірювань для кожного варіанту умов роботи.

⁽²⁾ Установка з двома мазутними печами для виробництва тарного скла.

⁽³⁾ Установка з однією газовою піччю для виробництва тарного скла.

Джерело: [84, Звіт від Італії, 2007]

Напівсухий процес використовується у скляній промисловості в нечисленних випадках. У випадку його використання в поєднанні з рукавним фільтром та розчином Na₂CO₃ повідомлялися дуже високі ступені зниження викидів. Ці орієнтовні результати підсумовані у Таблиці 4.31 нижче. Максимальний можливий відсоток, на який можна знизити викиди SO₂, складає 95 %. На нинішніх промислових виробництвах діапазон зниження, якого вдається досягти, зазвичай ближчий до 80 – 90 %.

Таблиця 4.31. Орієнтовні ступені зниження викидів SO_x шляхом напівсухого очищення газів з використанням Na₂CO₃

Забруднююча речовина	Ступінь зниження викидів SO _x
SO ₂	90 – 95 %
HCl	>90 %
HF	>85 %
SeO ₂	>90 %

У довідковій літературі наведені результати для напівсухого процесу з використанням Ca(OH)₂ у більш загальному вигляді для інших промислових випадків застосування: вони представлені у Таблиці 4.32. Проте випадки застосування напівсухого процесу з використанням вапна рідко зустрічаються у скляній промисловості.

Таблиця 4.32. Ступені зниження викидів SO_x шляхом напівсухого очищення газів з використанням Ca(OH)₂

Молярне відношення	Ступінь зниження викидів SO _x
Ca/S = 1	80 %
Ca/S = 1,5	90 %
Ca/S = 2	92 %
Джерело: [49, Французьке агентство з навколишнього середовища та керування енергетикою (ADEME), 1999]	

У випадках використання Na_2CO_3 або NaHCO_3 у напівсухому процесі також повідомлялося про вплив на викиди NO_x . У випадку NaHCO_3 оптимальний діапазон становить 120 – 160 °С. Проте за нормальних характеристичних умов у скляній промисловості завжди спостерігався хіба що помірний вплив на ступені зниження викидів NO_x .

Таким чином, ступінь зниження, якого вдається досягти, залежить від ряду чинників, пов'язаних з технологічним процесом та абсорбентом. За сприятливих умов можна досягти високих ступенів зниження викидів: до 95 % загальної кількості SO_x у перерахунку на SO_2 в найкращому випадку. Значення ступеня зниження викидів SO_2 зазвичай вище, ніж 80 %.

У виробництві скловолокна з безперервних ниток, для рецептур скла, які містять бор, наведених вище ступенів зниження викидів особливо важко досягти через відкладення сполук бору, які випаровуються зі скляного розплаву, на поверхні сухого лужного реагенту, у результаті чого реагент деактивується. У цих випадках ефективність видалення, що досягається за допомогою ступеня очищення газів, може суттєво знизитися.

Фактична концентрація викидів або масові викиди на тонну скла залежать від концентрації на вході та ефективності знесірчення. Ці концентрації на вході залежать від таких чинників:

- кількість сірки, що вноситься у систему з паливом;
- тип скла (колір, ступінь окиснення і ступінь утримання / вміст сірки у склі);
- технологічні вимоги до освітлення, якості та кількості сульфатів;
- кількість і тип скляного бою (зворотний чи привізний, вміст сірки та забруднювачів);
- склад та ступінь переробки відфільтрованого пилу;
- умови згорання (близькі до стехіометричних умови згорання для зниження рівнів NO_x за допомогою первинних заходів можуть призвести до збільшення вмісту SO_2 в неочищених відхідних газах).

Проте для загального зниження рівня викидів потрібно утилізувати (шляхом переробки на самому об'єкті чи за межами об'єкта або захоронення на полігоні) потік твердих відходів з утвореного сульфатного пилу. У випадку захоронення на полігоні вартість зниження викидів SO_x , за оцінками, може складати від 0,5 до 1,2 євро на кг видаленого SO_2 , залежно від конкретної ситуації [76, TNO – SO_2 , 2007].

На практиці доцільним варіантом з екологічної та економічної точки зору дуже часто вважається повна переробка відфільтрованого пилу включно з цими сульфатними відходами, якщо вона технічно можлива. У цьому випадку загальне зниження викидів SO_x обмежене (з міркувань масового балансу) їх зниженням у самому джерелі, що досягається шляхом заміни сульфатів у сировині відфільтрованим пилом. Звісно, цей захід лише доповняє інші належні первинні заходи, націлені на зменшення загальної кількості сірки, що вноситься у розплав, шляхом оптимізації рівнів сірки у всій початковій сировині (у тому числі в скляному бої) завжди, коли це можливо.

Тому для зниження викидів кислотних газів може бути необхідно розглянути можливість організації маршруту утилізації частини зібраного матеріалу за межами об'єкта. Варіант переробки чи повторного використання за межами об'єкта кращий, ніж захоронення на полігоні. Проте у більшості випадків не існує економічно виправданої можливості повторно використовувати матеріал за межами об'єкта. Додатковими перешкодами для переробки за межами об'єкта можуть стати існуючі вимоги законодавства, що визначають такі матеріали як відходи. Те, який спосіб захисту навколишнього середовища буде найкращим у цілому, часто може залежати від конкретного об'єкта, і для його визначення може бути потрібно проаналізувати утилізацію потоку твердих відходів.

Для випадку переробки відфільтрованого пилу у замкненому контурі на час укладання цього документа (2010 рік) спостерігалися такі викиди SO_x з печей, що працювали на природному газі: зазвичай 200 – 800 мг/м³ н.у. для видів скла, що виготовлялися з низьким ступенем переробки скляного бою, та 600 – 900 мг/м³ н.у. для найпоширеніших виробництв тарного скла, на яких у великих кількостях використовувався привізний скляний бій. Залежно від згаданих вище чинників, при спалюванні мазуту з 1 % сірки

можна досягти викидів у межах 800 – 600 мг/м³ н.у. Значення з верхньої частини діапазону особливо ймовірні у тому разі, якщо скло характеризується великим відсотком скляного бою у рецептурі шихти і низькою здатністю до утримання сірки (наприклад, види скла, зварені у відновлювальних умовах, як-от деякі види зеленого та коричневого тарного скла). У скляній промисловості є приклади випадків, коли при повній переробці пилу, який містить сірку, чиста ефективність знесірчення виявляється близькою до нуля. Проте у таких випадках основною метою було не знесірчення, а видалення HCl, HF, металів та пилу. Тим не менше, навіть у таких випадках можна досягти нижчих рівнів сірки з наступним створенням потоку сульфатних відходів для утилізації за межами об'єкта.

Таким чином, аналізуючи знесірчення у скляній промисловості, важливо враховувати можливі протидіючі ефекти та наслідки, які можуть поставити під загрозу інші екологічні цілі. Найважливішими екологічними цілями, пов'язаними зі зниженням викидів SO₂, є:

- забезпечення високих ступенів переробки скляного бою;
- мінімізація утворення відходів шляхом переробки пилу на самому об'єкті чи за межами об'єкта;
- регенерація відхідного тепла;
- зниження інших викидів в атмосферу.

Переробка скляного бою є важливою екологічною ціллю, оскільки вона заощаджує енергію, зменшує кількість відходів і знижує споживання природних ресурсів.

Європейська Директива 94/62/ЕС встановлює цілі для переробки відходів упаковки, у тому числі скла, в результаті чого більшість європейських країн-членів ЄС переробляють близько 60 – 70 % тарного скла, випущеного на ринок. Наприклад, для печей з виробництва тарного скла у Німеччині встановлена законодавством норма переробки скляного бою становить 75 % у перерахунку на середньорічне значення, і цю норму регулярно перевищують. Якщо використовується скляний бій з більшим вмістом сірки, ніж повинно бути у склі, що виготовляється, надлишок сірки може призвести до збільшення викидів SO_x. Це, наприклад, характерно для зеленого та коричневого скла, що виготовляється у відновлювальних умовах, у виробництві якого використовується змішаний скляний бій виробів, використаних споживачем. У деяких випадках змішаний скляний бій виробів, використаних споживачем, є єдиним доступним для виробників джерелом скляного бою цього типу, і вміст сірки в ньому вищий, ніж у продукції, оскільки у суміші скляного бою присутнє скло, виготовлене в окисних умовах (флінт, плоске скло, деякі види зеленого скла). Постійне вдосконалення роздільного збору та сортування скляного бою може покращити цю ситуацію. Проте кольорове скло, виготовлене в окисних умовах, як-от деякі види зеленого скла, також може містити більшу кількість сірки з огляду на свій ступінь окиснення, і сортування за кольором буде менш результативно знижувати вміст сірки у скляному бої, якщо в ньому присутня значна частка таких видів скла.

Переробка відфільтрованого пилу також є важливою ціллю, оскільки запобігає утворенню відходів. Переробка відфільтрованого пилу означає, що цей пил замінить частину сульфатів, які містяться у матеріалах шихти. В принципі, відфільтрований пил діє як освітлювач, проте у деяких випадках він може бути менш ефективним, а заміна на всі 100 % не завжди можлива. Залежно від типу скла (наприклад, його кольору, ступеня окиснення), ступінь поглинання сульфатів, що утворюються з сірки у відфільтрованому пилі, може бути різним і іноді обмежений. Що стосується повної переробки відфільтрованого пилу з урахуванням згаданих вище відмінностей, особливу увагу слід звертати на масовий баланс сірки, а обладнання для очищення газів слід проектувати таким чином, щоб для нього можна було належним чином вибирати газоочисні реагенти.

Переробка відфільтрованого пилу може посилити винесення дрібнодисперсного пилу під час завантаження шихти в піч, особливо якщо застосовується підігрівання шихти.

Основні переваги і недоліки використання технологій сухого та напівсухого очищення газів підсумовані у Таблиці 4.33.

Таблиця 4.33. Основні переваги та недоліки технологій сухого та напівсухого очищення газів

<u>Переваги</u>	
•	Можна досягти значного зниження викидів SO _x (залежно від питомого балансу сірки та переробки)
•	Зниження викидів інших речовин (хлоридів, фторидів, сполук селену, інших кислот – наприклад, борної кислоти)
•	На більшості скловарних установок зібраний пил можна переробити, і таким чином зменшити споживання свіжої сировини. Це не стосується деяких виробництв – наприклад, виробництва кам'яної вати.
<u>Недоліки</u>	
•	Технологія споживає енергію
•	Може призводити до утворення твердих залишків, які не завжди можливо переробити (особливо за високої ефективності поглинання) через дисбаланс вхідних та вихідних потоків сірки, накопичення хлоридів або проблеми з якістю скла, а це призводить до збільшення рівнів викидів. У більшості випадків пил можна переробити, проте це потребує коригування технологічного процесу і може обмежити загальну ефективність зниження рівнів SO _x . На деяких видах виробництв скла тверді залишки повністю або частково заховуються на полігоні. У випадку кам'яної вати цей пил взагалі неможливо переробити у технологічному процесі, якщо тільки не використовується система брикетування.
•	У більшості випадків ці відходи вважаються шкідливими (залежно від хімічного складу), і, якщо вони утворюються в місцевості, де не існує полігонів для захоронення відходів, відходи потрібно транспортувати на великі відстані в інші країни (наприклад, у соляні шахти в Німеччині)
•	Потребує значних капітальних та експлуатаційних витрат

У розділі 4.4.1.2, в Таблиці 4.8, та у наведеній нижче Таблиці 4.34 представлені дані про приклади установок, що відображають рівні викидів, яких можливо досягти завдяки застосуванню ступеня сухого очищення газів у поєднанні з системою фільтрів, а також їх основні експлуатаційні параметри.

Таблиця 4.34. Рівні викидів при застосуванні сухого очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою на взятих для прикладу установках

	Тарне скло (1)	Плоске скло (2) (3)
Тип печі	3 підковоподібним полум'ям, регенеративна	Флоат-ванна, з поперечним полум'ям, регенеративна
Паливо	Природний газ + мазут	Природний газ
Потужність печі	300 т/добу	600 т/добу
Фактичне питоме знімання скломаси	297 т/добу	600 т/добу
Електричне форсування	Так	Так
Тип скла	Бурштинове	Прозоре
Скляний бій	72 %	25 %
Питоме споживання енергії	4,21 ГДж/тонну скла	Не вказано
Система фільтрів	Електростатичний фільтр – 2 поля	Електростатичний фільтр – 2 поля
Температура перед фільтром	400 °C	Не вказано
Тип сорбенту	Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂
Кількість сорбенту	28 кг/год.	Не вказано
Повторне використання відфільтрованого пилу у рецептурі шихти	100 %	Без повторного використання: захоронення
Відповідні рівні викидів (ВРВ)	Середні значення за півгодини	Середні значення за півгодини
мг/м ³ н.у., сухий газ при 8 % O ₂	Пил: 1,2 SO _x : 829 HCl: 25,0 HF: 3,3	Пил: <20 SO _x : <300 HCl: <15 HF: <1
кг/т скла	Пил: 0,0019 SO _x : 1,34 HCl: 0,0405 HF: 0,0053	Пил: <0,05 SO _x : <0,75 HCl: <0,04 HF: <0,003

(1) Установа обладнана системою використання відхідного тепла, встановленою перед електростатичним фільтром.

(2) Значення ефективності видалення газоподібних забруднюючих речовин: 36 % для SO_x, 57 % для HCl та 83 % для HF.

(3) Значення, наведені у кг/т, розраховані шляхом множення на коефіцієнт перетворення 2,5 x 10⁻³ для плоского скла (див. Таблицю 5.2).

Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007], [84, Звіт від Італії, 2007]

Застосовність

На практиці ці технології можуть застосовуватися для всіх технологічних процесів (у тому числі на нових та існуючих заводах), у яких утворюються відхідні гази, що містять кислотні речовини. Через велике пилове навантаження обов'язково потрібно забезпечити видалення пилу. Сухий процес набагато поширеніший у скляній промисловості, оскільки це найбільш економічно ефективний спосіб дотримання поточних технічних та нормативних вимог. Найпоширенішим абсорбентом є гашене вапно – $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Ці технології працюють за спільним принципом, незалежно від розміру установки. Проте слід пам'ятати, що масштаб виробництва, а відтак і фактичні витрати та, можливо, економічна ефективність суттєво різняться у різних випадках застосування. Зокрема, наразі мало досвіду застосування напівсухого очищення газів у процесах невеликого масштабу.

Економіка

Витрати на реалізацію скрубєрних систем у поєднанні з електростатичними фільтрами та рукавними фільтрами наведені у розділах 4.4.1.2 та 4.4.1.3. Бікарбонат натрію значно дорожчий, ніж інші абсорбенти, і використовується не так часто.

Розрахункові витрати для типових випадків застосування сухого очищення газів підсумовані нижче. Наведені дані розраховані за методикою, описаною у розділі 8.1. [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008].

Виробництво плоского скла

- Типові інвестиційні витрати на системи сухого очищення газів, що застосовуються в печах для виробництва флоат-скла, знаходяться в межах 250 000 – 500 000 євро, включно з видаленням та зберіганням відфільтрованого пилу.
- Вартість повної системи, що складається з електростатичного фільтра у поєднанні зі ступенем сухого очищення газів, складає приблизно 3,5 – 4 мільйони євро для печі потужністю 500 тонн/добу та до 5,5 для більшої печі потужністю 900 тонн/добу.
- Якщо система сухого очищення газів використовується у поєднанні з рукавним фільтром, розрахункові інвестиційні витрати складуть 2 – 2,5 мільйона.
- Супутні питомі витрати знаходяться в межах 4 – 6,5 євро на тонну скла, якщо застосовується електростатичний фільтр, та 4,5 – 7 євро на тонну скла, якщо застосовується рукавний фільтр.

Виробництво тарного скла

- Інвестиційні витрати на електростатичний фільтр у поєднанні зі ступенем сухого очищення газів знаходяться в межах від 1,5 до 3 мільйонів євро для печей потужністю від 300 тонн/добу до 600 тонн/добу, у той час як для більших установок потужністю понад 750 тонн/добу (наприклад, у випадку двох або більше печей, під'єднаних до одного фільтра) ці витрати можуть перевищувати 4 мільйони євро.
- Застосування рукавного фільтра у поєднанні зі ступенем сухого очищення для печі середнього розміру (<300 тонн/добу) потребує інвестиційних витрат у межах від 700 000 до 1,25 мільйона євро.
- Очікується, що супутні питомі витрати складуть 4 – 7 євро на тонну звареного скла у разі використання рукавних фільтрів та захоронення всього пилу та 2,7 – 5,5 євро на тонну звареного скла у разі використання електростатичних фільтрів, залежно від продуктивності варіння скла на установці. Більші значення відповідають меншим і новішим установкам, а менші значення відповідають газовим печам і повній переробці відфільтрованого пилу. Більші питомі витрати, у межах 10 – 16 євро на тонну звареного скла, очікуються для невеликих печей (<150 тонн/добу). Використання мазуту замість природного газу може додатково збільшити витрати приблизно на 1,5 євро/тонну звареного скла.

Інші сектори скляної промисловості

- Для невеликих печей, потужністю <40 тонн/добу, очікуються розрахункові питомі витрат і розмірі 10 – 14 євро на тонну звареного скла з використанням рукавних фільтрів та від 15 до 17 євро на тонну звареного скла з використанням електростатичних фільтрів.

Виробництво кам'яної вати

- У випадку вагранки для виробництва кам'яної вати потужністю 200 тонн/добу розрахункові капітальні витрати на сухе очищення газів, у поєднанні зі стандартною технологією рукавних фільтрів, складуть 1,7 мільйона євро, а експлуатаційні витрати – 340 000 євро, за умови, що відфільтрований пил захоронюється. У цьому випадку розрахункові питомі витрати складають приблизно 9 євро на тонну звареного скла. [115, EURIMA-ENTEC, Оцінка витрат, 2008].

Якщо використовуються системи напівсухого (квасісухого) очищення газів, розрахункові питомі витрати будуть такими:

Виробництво плоского скла

1. Типові інвестиційні витрати на системи напівсухого очищення газів у поєднанні з рукавним фільтром, що застосовуються на печах для виробництва флоат-скла, за оцінками, знаходяться в межах 4,5 – 5 мільйонів євро для печі середнього розміру та до 7 мільйонів євро для великих печей потужністю до 900 тонн/добу.
2. У випадку газової печі для виробництва флоат-скла з переробкою відфільтрованого пилу, питомі витрати знаходяться в межах 6 – 8 євро на тонну скла, що відповідає 0,75 євро на кг видалених SO_x та 15 – 22 євро на кг видаленого пилу. Якщо у якості палива використовується мазут, питомі витрати будуть вищими через появу додаткових витрат на захоронення частини відфільтрованого пилу; очікується, що вони будуть становити 10 – 14 євро на тонну звареного скла – приблизно на 50 – 100 % більше, ніж витрати на сухе очищення газів.

Виробництво тарного скла

- Інвестиційні витрати на застосування рукавного фільтра у поєднанні зі ступенем напівсухого очищення газів для печі потужністю 350 тонн/добу становлять приблизно 2,25 мільйона євро.
- Очікується, що супутні питомі витрати складуть 5,5 – 6,5 євро на тонну звареного скла або більше.

Виробництво кам'яної вати

- У випадку вагранки для виробництва кам'яної вати потужністю 200 тонн/добу розрахункові капітальні витрати на напівсухе очищення газів, у поєднанні зі стандартною технологією зниження викидів за допомогою рукавних фільтрів, складуть 2,1 мільйона євро, а експлуатаційні витрати – 250 000 євро, за умови, що відфільтрований пил захоронюється. Розрахункові питомі витрати, за оцінками, складуть приблизно 9,5 євро на тонну звареного скла [115, EURIMA-ENTEC, Оцінка витрат, 2008].

Порівняння розрахункових показників витрат для застосування фільтрувальної системи зі ступенем очищення газів, разом з її робочими характеристиками, перевагами, недоліками та граничними умовами різних методів очищення газів, що підходять для видалення різних газоподібних забруднюючих речовин (SO_x, HF, HCl, борної кислоти та сполук селену) з димових газів скловарних печей, наведене у розділі 8.1.7.

Рушій для впровадження

Основним рушієм для реалізації зазвичай є необхідність дотримання граничних значень викидів, встановлених законодавством.

Рушійми для застосування цих технологій також є можливість зниження викидів кислотних газоподібних забруднювачів, особливо SO₂, HCl та HF, разом з необхідністю (у більшості випадків, проте не завжди) захисту фільтра від корозії.

У деяких випадках застосування рушієм може бути потреба у зниженні викидів металів (наприклад, селену з флінту або бронзового плоского скла), якщо вони присутні в димових газах переважно у вигляді газоподібних сполук.

Приклади заводів

Існує багато прикладів використання цих технологій для скловарних печей; особливо часто застосовується сухий процес у поєднанні з електростатичним або рукавним фільтром. Ці технології застосовуються в більшості печей у Європі, які оснащені вторинними засобами зниження викидів пилю. У секторі виробництва кам'яної вати дуже мало прикладів їх застосування.

Довідкова література

[49, ADEME, 1999], [42, VDI, 1997], [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007], [76, TNO – SO2, 2007], [86, Австрійські заводи з виробництва тарного скла, 2007], [89, Пропозиції EURIMA, 2007]

[94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008], [65, GERVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007]

4.4.3.4 Мокрі скрубери

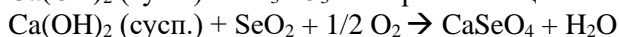
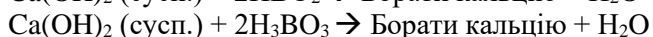
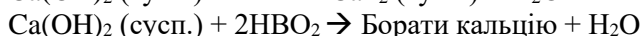
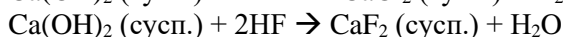
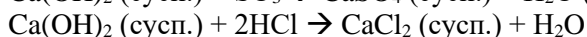
Опис

У процесі мокрого очищення газів газоподібні сполуки (такі як HF, HCl, SO₃ та SO₂) спочатку розчиняються у рідині, залежно від розчинності цих газів у вибраній рідині. Розчинність збільшується з підвищенням лужності розчину чи суспензії, що використовується. Ступені розчинення газів можна покращити шляхом використання реакційно-здатних розчинів та спеціальних насадкових колон, у яких димові гази здатні тісно контактувати з рідкою фазою. У якості рідини зазвичай використовується водний розчин іонних форм сполук, який підвищує розчинність газу. Надлишок реагенту в розчині, необхідний для досягнення високого ступеня розчинення кислотних газів, дуже малий. Ступінь розчинення залежить головним чином від поглинання газу рідиною.

Велике значення має конструкція реактора: у ній часто використовуються зустрічні потоки газу/рідини, а у газових потоках підтримується висока турбулентність для покращення контакту. Для мокрого очищення газів часто використовуються розчини гідроксиду натрію або карбонату натрію, хоча іноді застосовуються вапнякові/вапняні суспензії або шлами.

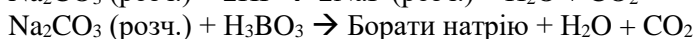
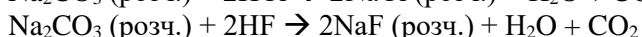
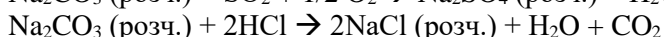
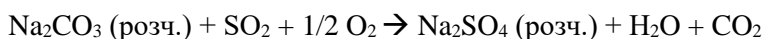
Після виходу з мокрого скрубера димові гази насичуються водою, і перед викиданням димових газів з них необхідно відділити краплі (які містять абсорбовані гази). Відділена рідина може містити нерозчинні тверді частки, розчинений матеріал, продукти реакцій та лужний реагент, який не прореагував. Отриману в результаті рідину необхідно очистити у процесі обробки стічних вод, а нерозчинна речовина збирається шляхом відстоювання або фільтрування для виділення з неї твердих матеріалів або шламу у концентрованому вигляді. Перед утилізацією концентрований шлам часто висушується, або з нього видаляється частина води. У більшості випадків шлам дуже важко повторно використати в якості сировини у складі шихти для виробництва скла. Типові реакції, які протікають у ході мокрого очищення газів, наведені нижче.

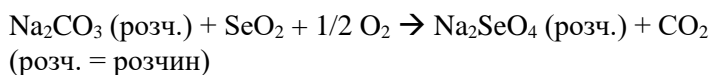
- Процес очищення газів за допомогою суспензії гашеного вапна:



(сусп. = суспензія) (газ = пара/газ)

- Процес очищення газів за допомогою розчину карбонату натрію:



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

У мокрих скруберах можна досягти ефективності видалення забруднювачів понад 90 %, залежно від кількості абсорбенту, що використовується. За допомогою мокрих скрубєрів з димових газів скловарних печей можна видалити газоподібні забруднюючі речовини, такі як SO_2 , SO_3 , HF , HCl , H_3BO_3 , HBO_2 та SeO_2 .

Міжсередовищні наслідки

Основним міжсередовищним наслідком є певна кількість стічних вод, які потрібно очистити перед скиданням. Крім того, у результаті виділення нерозчинного матеріалу зі стічних вод – шляхом фільтрування або відстоювання, а потім пресування залишків – утворюються тверді відходи (фільтраційний кек) або шлам. Шлам можна відділити у сухій або наполовину висушеній формі, залежно від того, яка система застосовується. Шлам або фільтраційний кек часто неможливо повторно використати безпосередньо у склоутворювальній шихті, проте це дуже залежить від хімічного складу. У деяких випадках повторне використання або переробка фільтраційного кека чи шламу у рецептурі скляної шихти може призвести до накопичення сполук, таких як хлориди, фториди або сірка, у скловарній печі через обмежену розчинність цих компонентів у скляному розплаві та високу ефективність видалення цих компонентів з димових газів за допомогою мокрих скрубєрів. Крім того, повторне використання шламу чи фільтраційного кека може супроводжуватися проблемами, пов'язаними з транспортуванням.

Споживання енергії пов'язане з використанням мокрих скрубєрів: це, зокрема, електроенергія, потрібна для вприскування лужного реагенту, очищення фільтра, пневматичного транспортування шламу / фільтраційного кека, створення електростатичного поля (у випадку використання мокрих електростатичних фільтрів), а також для роботи вентилятора.

Типове споживання енергії мокрими скрубєрними системами становить близько 20 – 25 кВт·год./тонну скла.

Опосередковані викиди, пов'язані з використанням електроенергії, за оцінками, складають близько 550 – 660 тонн CO_2 /рік для установки з продуктивністю 100 – 125 тонн звареного скла на добу.

Експлуатаційні параметри

Типова робоча температура, що використовується у скляній промисловості, становить від 50 до 80 °C.

У більшості випадків ефективність перетворення абсорбентів, що застосовуються, дуже висока, і в систему додається стехіометрична кількість реагенту, визначена за відносною кількістю SO_2 , HF , HCl , SO_3 , H_3BO_3 , HBO_2 та SeO_2 , присутніх у димових газах.

Проте вища ефективність видалення газоподібних забруднюючих речовин, якої вдається досягти у мокрих скрубєрних системах, може компенсуватися значно слабшим зниженням викидів твердих часток у порівнянні з сухими та напівсухими скрубєрами, які використовуються у поєднанні з фільтрами.

Застосовність

Мокрі скрубєри нечасто використовуються у скляній промисловості через порівняно високу вартість та моменти, пов'язані з очищенням стічних вод. У результаті очищення стічних вод часто утворюється шлам або твердий залишок, який містить матеріал (наприклад, вапно), що не прореагував, продукти реакцій та воду. Цей шлам не завжди можна використати як сировину для виробництва скла, а перед транспортуванням та викиданням цих відходів на полігон для відходів, що знаходиться за межами об'єкта, зі шламу спочатку потрібно видалити більшу частину води.

Мокрі скрубєри використовуються у секторі виробництва мінеральної вати для очищення газів, що утворюються в зоні формування та у стверджувальній печі. Див. розділи 4.5.6.1.2 та 4.5.6.2.2.

Є приклади застосування мокрих скрубєрних систем для очищення димових газів, що утворюються в електричних печах з холодним склепінням.

У нечисленних випадках мокрі скрубєри використовуються для очищення димових газів, що виділяються з установок нанесення покриття на вході лєра, у галузі виробництва тарного скла для видалення олова, оловоорганічних сполук та хлоридів з відхідних газів. Цей вид очищення можна застосовувати замість або як доповнення до більш поширеної процедури об'єднання викидів, утворених в результаті операцій нанесення покриття на вході лєра, з димовими газами від скловарної печі, як описано у розділі 4.5.1. У цьому випадку метою є зниження концентрації газоподібних хлоридів у газах, що входять у систему зниження викидів (ступінь сухого очищення плюс фільтр).

Економіка

За методикою, описаною у розділі 8.1, була виконана оцінка витрат для випадку застосування мокрих скрубєрних систем у скловарних печах. Основні результати наведені нижче.

- Інвестиційні витрати на застосування мокрих скрубєрних систем становлять близько 2 – 3 мільйонів євро для об'єму димових газів 10000 – 15000 м³ н.у./год. Типові питомі витрати знаходяться в межах 15 – 20 євро на тонну звареного скла, або 1 – 1,5 євро на кг видалених SO_x та 15 – 25 євро на кг видаленого пилу. У цих витратах враховані витрати на експлуатацію фільтра, який вважається необхідним для зниження викидів твердих часток. У цьому випадку загальні витрати на мокре очищення газів значно вищі, ніж на сухе очищення газів плюс фільтр.
- Розрахункові інвестиційні витрати на застосування мокрого очищення газів для киснево-паливної печі або повітряно-паливної рекуперативної печі продуктивністю 100 – 125 тонн/добу для виробництва скловолокна з безперервних ниток знаходяться в межах 2,6 – 3,0 мільйона євро, включно з обробкою шламу та стічних вод. Річні експлуатаційні витрати на одну піч становлять близько 300 000 євро на рік. Додаткова собівартість виробництва, за оцінками, складає 14 – 16 євро на тонну скла, з урахуванням вартості захоронення відходів, що становить 100 євро на тонну відходів, і без урахування витрат на очищення води, які б значно збільшили питоме значення. У разі стягнення більшої плати за захоронення відходів (400 євро/тонну відходів) ці витрати суттєво збільшаться, до 20 – 22 євро на тонну звареного скла. У цьому випадку питомі витрати на видалення SO_x складуть приблизно 1 – 1,65 євро на кг видалених SO₂ і 20 – 30 євро на кг видаленого пилу.
- Що стосується застосування цієї технології на установках з виробництва столового посуду, тарного скла і флоат-скла, то для цих випадків показники витрат відсутні, оскільки ця технологія наразі не використовується в цих секторах.

Рушій для впровадження

Рушієм для реалізації мокрої скрубєрної системи може бути потреба у мінімізації газоподібних викидів, які особливо важко контролювати за допомогою інших технологій, – наприклад, борної кислоти. Проте застосуванню мокрого очищення газів перешкоджають значні міжсередовищні наслідки, пов'язані з цією технологією.

Приклади заводів

У скляній промисловості працює дуже мало систем, у яких застосовується ця технологія. Деякі системи обслуговують скловарні печі для виробництва скловолокна з безперервних ниток (дві печі в Нідерландах) та виробництва спеціального скла (наприклад, у Німеччині та Австрії). Ця технологія використовується на порівняно невеликій установці в Італії, що працює у секторі сортового скла, для очищення димових газів від шести електричних печей.

Дані про взятю для прикладу установку, на якій виготовляється спеціальне скло, наведені у Таблиці 4.35.

Таблиця 4.35. Рівні викидів, пов'язані з застосуванням мокрого очищення газів для електричної печі, у якій виготовляється спеціальне скло, на взятій для прикладу установці

Експлуатаційні параметри		
Тип печі		Електричне варіння скла
Потужність печі		40 т/добу
Фактичне питоме знімання скломаси		32 т/добу
Вік печі		3,5 років
Тип скла		Вапняно-натрієве скло для фар
Скляний бій (лише утворений на самому виробництві)		30 %
Питоме споживання енергії (лише варіння скла)		4,50 ГДж/тонну скла
Загальне споживання енергії (на тонну звареного скла)		7,11 ГДж/тонну скла
Система очищення відхідних газів		Мокрий скруббер
Рівні викидів ⁽¹⁾		
	мг/м ³ н.у., сухий газ	кг/тонну звареного скла
Тверді частки	1,8	0,017
NO _x ⁽²⁾	159	1,54
SO _x	2,3	0,022
HCl	<0,2	<0,002
⁽¹⁾ . Дані про викиди отримані шляхом періодичних вимірювань за півгодини.		
⁽²⁾ . Викиди NO _x утворюються з нітратів, присутніх у рецептурі шихти.		
Джерело: [111, Австрійський завод з виробництва спеціального скла, 2006]		

Посилання на літературу

[94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

4.4.4 Фториди (HF) та хлориди (HCl)

У цьому розділі всі газоподібні фториди та хлориди виражені через фтороводень (HF) та хлороводень (HCl) відповідно. Переважна більшість галогенідів викидається у цих формах. Викиди HF та HCl утворюються з домішок у рецептурі шихти або з матеріалів шихти, вибраних через те, що вони містять ці сполуки у достатніх кількостях для надання продукції бажаних властивостей.

4.4.4.1 Зниження рівнів у джерелі утворення

У більшості процесів викиди HF та HCl утворюються з домішок у матеріалах шихти, які виділяються при плавленні. Багато видів сировини містять дуже мало фтору і хлору, які мало впливають на остаточні рівні викидів. Проте деякі види сировини, у тому числі привізний скляний бій, містять значну кількість цих елементів у вигляді домішок. Основними такими сполуками є:

- синтетична кальцинована сода з залишковим вмістом NaCl приблизно 0,05 – 0,15 %;
- доломіт, який може містити значну кількість фторидів у вигляді домішок;
- скляний бій виробів, використаних споживачем, який може містити ряд домішок у значних кількостях, особливо хлоридів, фторидів та металів. Кількість цих речовин різниться залежно від ступеня чистоти скляного бою, який постачається, проте в регіонах з високими ступенями переробки ці сполуки можуть поступово накопичуватися у склі;
- повернений у процес пил від обладнання для зниження викидів містить солі фторидів і хлоридів, які можуть накопичуватися у системі;
- деякі види палива (наприклад, кокс із певних джерел) можуть містити хлориди;
- пластмаса у складі призначеного для переробки привізного скляного бою, яка може містити хлориди.

Викиди хлоридів з процесів, шихта для яких містить велику кількість синтетичної кальцинованої соди (головним чином для вапняно-натрієвого скла), значно вищі, ніж, наприклад, з виробництв скловати чи скловолокна з безперервних ниток (див. частину 3). З-поміж тих процесів, в яких ці матеріали не додаються в шихту умисно, найвищі викиди HF та HCl зазвичай спостерігаються у процесах виробництва плоского і тарного скла.

Рівні викидів можна мінімізувати шляхом ретельного вибору сировини. Проблеми, пов'язані з вмістом NaCl у кальцинованій соді, розглядаються у розділі 4.4.1.1. Ряд інших технологій, що розглядаються у розділі 4, також сприятливо впливають на викиди HF та HCl. Це головним чином ті технології, які зменшують інтенсивність переходу в леткий стан шляхом зниження температур, зменшення витрати повітря та мінімізації турбулентності. До цих технологій належать:

- збільшення частки використання скляного бою: це знижує температуру та споживання енергії і дає змогу замінити кальциновану соду з властивими для неї домішками хлоридів. Якщо скляний бій містить велику кількість HCl або HF, потенційно може виникнути парадоксальний обернений ефект;
- електричне форсування;
- удосконалена конструкція та геометрія печі;
- розташування пальників;
- киснево-паливне варіння скла;
- електричне варіння скла.

У ряді видів продукції, що виготовляється у скляній промисловості, використовуються матеріали, які містять фториди, для надання матеріалам певних властивостей або для дотримання вимог щодо якості скла. Найважливіші приклади таких ситуацій розглядаються нижче.

Скловолокно з безперервних ниток

Для виробництва скловолокна з безперервних ниток зазвичай необхідні фториди. Фторид додається для оптимізації поверхневого натягу і характеристик текучості, для сприяння волокнуутворенню та мінімізації обривів ниток. Це важливі чинники, які впливають на економічні та екологічні показники технологічного процесу. Часті обриви ниток зменшують вихід продукції і збільшують утворення відходів. Основним джерелом фторидів, які додаються у сировину, зазвичай є флюорит (CaF_2), проте значна їх кількість також може бути присутня в порцеляновій глині (алюмосилікаті).

Було докладено зусиль для виключення або зменшення кількості фторидів, що додаються до рецептур безперервних скляних ниток. У таких випадках єдиними фторидами, присутніми у скляному розплаві, є фториди, що випадково потрапили у мінеральну сировину, головним чином у каолінову глину. Якщо доступні належні джерела мінералів (належної якості і рентабельних), шляхом ретельного вибору сировини можна досягти рівнів викидів $<20 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ або $0,09 \text{ кг/тонну}$ звареного скла.

Більш новітня розробка – безборне скло E, яке зараз виготовляється деякими компаніями в Європі, котрі мають доступ до цієї запатентованої технології, – дає змогу «практично» виключити леткі компоненти зі скляного розплаву: воно не містить бору, має низький вміст лугів ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 1 \%$), низький вміст сульфатів та низький вміст фторидів.

Потенційним міжсередовищним наслідком використання рецептур, які не містять фтору та бору, є підвищене споживання енергії внаслідок підвищеної температури плавлення. Проте відсутність бору часто дає змогу використовувати технологію «конвективного варіння скла» («склепінніві пальники») для забезпечення кращої передачі наявної теплоти до скляного розплаву.

Розробки рецептур скла з низьким вмістом фтору та бору є результатом витратної дослідно-конструкторської роботи, тож ця технологія пильно охороняється компаніями, які її розробили. Тому ця технологія не може відразу стати доступною всім операторам. Крім того, новий вид продукції зі змінами в рецептурі повинен пройти тривалі і витратні процедури реєстрації продукту.

Виробництво фрит

Викиди фторидів безпосередньо пов'язані з використанням сполук фторидів у шихті. Фториди використовуються переважно у виробництві емалевих фрит і зазвичай не містяться в хоча б якійсь значній кількості у сировині, що використовується для виробництва керамічних фрит. Деякі виробники керамічних фрит періодично можуть виготовляти невеликі об'єми емалевих фрит у печах для керамічних фрит, у результаті чого утворюються викиди фторидів, проте таке виробництво складає дуже малу частку загального об'єму виробництва операторів. Викиди фторидів є, напевне, найбільш суттєвим впливом виробництва емалевих фрит на довкілля.

Фториди надають фритам унікальні властивості, такі як покращена термічна та хімічна стійкість і знижений ризик появи пухирів на емалевому покритті. Вони додаються до шихти у вигляді флюориту, фторсилікату, кріоліту чи фторсилікату натрію. На сьогодні більшість виробників випускають деякі емалі, що не містять фторидів, або емалі з низьким вмістом фторидів, і така продукція стає все доступнішою. У цілому, продукція, що не містить фторидів, складає менш ніж 10 % об'єму виробництва, а продукція з низьким вмістом фторидів – близько 30 %. Вміст фторидів у шихті зазвичай неможливо зменшити настільки, щоб досягти рівнів викидів, сумірних з рівнями, які досягаються за допомогою технологій очищення газів або для інших типів фрит.

Непрозоре скло

Непрозорі види скла виготовляються в секторах сортового, спеціального та зрідка тарного скла. Додавання фторидів призводить до кристалізації у скла, у результаті чого скло набуває характерного матового і непрозорого вигляду. На більшості установок, що виготовляють таку продукцію, використовуються технології сухого очищення газів для зниження викидів HF. На практиці не існує альтернатив, які б дозволяли виготовляти скло аналогічної якості. У багатьох випадках прозоре скло вариться в електричних печах з холодним склепінням. Це знижує викиди, оскільки значна частка фторидів поглинається шаром шихти, і загалом потрібно менше фторидів. Крім того, електричне варіння скла значно зменшує об'єм відхідних газів, які потрібно очищати.

У секторі спеціального скла також виготовляється фторвмісний крон – це оптичний продукт з дуже високим вмістом фторидів. Об'єм виробництва цього скла дуже малий, і у ЄС воно завжди виготовляється з очищенням відхідних газів.

Як правило, заходи зі зниження рівнів цих речовин у джерелі їх утворення є кращим варіантом, ніж очищення відхідних газів. У випадках, коли скло містить фтор, заходи зі зниження вмісту фтору можуть накладати жорсткі обмеження на умови роботи і потребувати значних ресурсів на розробку. Там, де зниження викидів вимагає законодавство, багато виробників з огляду на це віддають перевагу очищенню відхідних газів – особливо сухому очищенню газів.

4.4.4.2 Технології очищення газів

Технології очищення газів, які можуть застосовуватися для зниження цих викидів, поділяються на сухе, напівсухе та мокре очищення газів. Ці технології та досяжні рівні викидів розглядаються у наведених вище розділах 4.4.3.3 та 4.4.3.4. Велике значення має вибір абсорбенту, і іноді потрібно знайти компроміс між зниженням викидів SO₂ та зниженням викидів HF та HCl. Зокрема, HCl/HF та SO₂ паралельно вступають у реакцію з карбонатом натрію. Оптимальний вибір залежить від ряду моментів, у тому числі від відносного вмісту різних забруднюючих речовин у відхідних газах. Різні значення ефективності видалення забруднювачів для найпоширеніших лужних реагентів, що застосовуються в галузі виробництва скла, наведені у Таблиці 4.27, Таблиці 4.30 та Таблиці 4.31.

Ще однією технологією, яка може бути рентабельною та технічно доцільною для процесів дуже малого масштабу (наприклад, для деяких печей з виробництва фрит), є мокре очищення газів за допомогою скрубера з ущільненим шаром, у якому циркулює вода або, що більш дієво, лужний розчин. Основним недоліком цього підходу є утворення водного потоку відходів.

4.4.5 Оксиди вуглецю

Оксиди вуглецю складаються з вуглекислого газу (CO_2) та чадного газу (CO). Чадний газ є продуктом неповного згорання і рідко викидається з установок скляної промисловості у таких кількостях, щоб становити проблему для навколишнього середовища. Значні його рівні трапляються у вагранках для виробництва кам'яної вати, проте більшість печей обладнані допалювачем для окиснення викидів перед викиданням. Вуглекислий газ утворюється в результаті згорання викопного палива або інших органічних матеріалів, у результаті розкладання карбонатів та в результаті окиснення інших видів присутньої в шихті сировини, які містять вуглець (шлак, вугілля, тощо). Викиди CO_2 суттєво залежать від енергоефективності процесу варіння скла і можуть значно різнитися при застосуванні первинних або вторинних технологій для контролю інших забруднюючих речовин – наприклад, підігрівання шихти та скляного бою, допалювання або процесу 3R, тощо.

Карбонати, такі як кальцинована сода та вапняк, є основними джерелами оксидів лужних металів та оксидів лужно-земельних металів у виробництві скла. Проте у виробництві деяких видів скла нещодавно почали використовувати обпалене вапно і доломіт замість карбонатів. Єдиними реальними альтернативними джерелами цих оксидів є відходи виробів, використаних споживачем, та технологічні відходи, тобто скляний бій процесів виробництва скла та технологічних відходів, призначена для переробки продукція та шлак (лише для виробництва кам'яної вати). Проблеми, пов'язані з цими матеріалами, розглядаються в інших місцях цього документа, проте загалом основним фактором, що обмежує їх використання, є доступність у належних кількостях матеріалів достатньої якості і з достатньо стабільним постачанням. Високий ступінь використання цих матеріалів зазвичай спостерігається лише у виробництві тарного скла та скловати, якщо йдеться про використання скляного бою, та у виробництві кам'яної вати, якщо йдеться про використання шлаку.

Викиди вуглекислого газу призводять до добре відомих екологічних наслідків, проте вуглекислий газ не є однією з основних забруднюючих речовин, перелічених у Додатку II до Директиви 2010/75/EU. У скляній промисловості все ширшого вжитку набувають утилізовані матеріали: це продиктовано потребою заощадити енергію і зменшити кількість відходів, а крім того, їх додатковою вигодою є те, що вони здатні замінити вуглецеві матеріали. Аналогічним чином, зниження викидів CO_2 внаслідок зменшення споживання палива зумовлене потребою у зниженні споживання енергії та експлуатаційних витрат та тиском, що спонукає знизити викиди NO_x .

Багато технологій, описаних у цій частині, мають важливі наслідки для викидів CO_2 , проте для розгляду в рамках визначення НДТМ для установок скляної промисловості не пропонується жодних технологій, відмінних від тих, що розглядаються для енергії та інших забруднюючих речовин.

При оцінці загального внеску установки у викиди оксидів вуглецю також потрібно враховувати опосередковані викиди CO_2 – особливо у тих випадках, коли для процесу виробництва та для експлуатації систем контролю забруднення повітря потрібна електрична енергія.

Викиди вуглекислого газу (та викиди інших парникових газів) регламентуються головним чином «сестринською» Директивою (2003/87/EC) Європейського парламенту та Ради, що встановлює схему торгівлі квотами на викиди парникових газів у межах Європейської спільноти (Директива щодо Схеми торгівлі квотами на викиди у Європейському Союзі).

4.5 Технології контролю викидів у повітря від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла

У цьому розділі розглядаються види діяльності, не пов'язані з варінням скла або транспортуванням матеріалів. До цих видів діяльності належать операції формування виробів та будь-які види операції, що виконуються з продукцією і загалом вважаються складовою частиною основного технологічного процесу. У більшості видів діяльності в скляній промисловості варіння сировини є першим головним видом діяльності, що здійснюється, тож наступні види діяльності в цьому документі іноді іменуються «операціями подальшої обробки».

Оскільки операції подальшої обробки дуже специфічні для конкретних секторів, вони розглядаються за секторами.

4.5.1 Тарне скло

Основним джерелом викидів у повітря від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у виробництві тарного скла є операція нанесення покриття на вході лера. Покриття – дуже тонкий шар оксиду металу – наноситься шляхом пропускання гарячої тари, що виходить з формувальної машини, через камеру, у якій містяться пари сполук олова або титану. З цією метою найчастіше використовуються такі матеріали, як безводний тетрахлорид олова (SnCl_4), трихлорид монобутилолова ($\text{C}_4\text{H}_9\text{SnCl}_3$) та безводний тетрахлорид титану (TiCl_4). Викиди складаються з HCl , оксихлоридів, сполук олова і титану (SnO_2 , TiO_2) у вигляді дрібнодисперсних твердих часток та, за наявності, матеріалів покриття, які не прореагували. У ході операцій нанесення покриття після виходу з леру також можуть утворюватися менш значні викиди летких органічних сполук (ЛОС). Ці викиди не вважаються особливо суттєвими і не розглядаються докладніше у цьому документі.

Перший крок зі зниження викидів полягає в тому, щоб мінімізувати використання матеріалу покриття адекватно вимогам до продукції. Використання матеріалу можна додатково оптимізувати, забезпечивши належну герметизацію зон нанесення покриття для мінімізації втрат.

На сьогодні поводження з відхідними газами, що утворюються в результаті операцій нанесення покриття на вході лера, організовується у чотири можливі способи:

- газу відводяться витяжною системою і викидаються безпосередньо у повітря;
- газу відводяться витяжною системою і обробляються за допомогою вторинних технологій – наприклад, мокрого очищення газів або сухого очищення газів з фільтруванням;
- газу об'єднуються з відхідними газами, що виходять з печі, перед скруббером та системою фільтрів;
- відхідні газу об'єднуються з повітрям, яке подається в піч для згорання.

Викидання відхідних газів, утворених у результаті операцій нанесення покриття на вході лера, безпосередньо у повітря, як правило, може бути виправдане лише порівняно малою масовою витратою або концентрацією забруднюючих речовин, присутніх у димових газах. Насправді, за деяких обставин, за умов застосування камер та розподільних систем нового покоління, викиди можна знизити до рівнів менше 5 мг/м^3 н.у. для сполук металів і менше 30 мг/м^3 н.у. для HCl .

Однак такий підхід застосовується лише в особливих випадках, у той час як на більшості установок вдаються до інших варіантів.

Варіант об'єднання відхідних газів з повітрям, яке подається в піч для згорання, може певним чином впливати на хімічний склад скла та на матеріал регенератора, хоча цей вплив навряд чи буде суттєвим. Ця технологія застосовується на деяких установках у Європі: відхідні газу, утворені в результаті нанесення покриття на вході лера, об'єднуються з повітрям, що подається для згорання, перед надходженням у регенератор. Втім, наразі (станом на 2009 рік) інформація про такі випадки застосування відсутня.

Об'єднання димових газів, утворених у результаті операцій нанесення покриття на вході лера, з відхідними газами, що виходять з печі, перед системою контролю забруднення повітря часто застосовується у випадках, коли встановлені вторинні засоби зниження викидів з пічними відхідними газами. Як повідомляється в наданих даних, цей варіант найчастіше використовується на практиці для очищення відхідних газів, що утворюються на вході лера.

Дослідження, що охоплювало всього 125 заводів, показало, що ця технологія використовується на 25 з 31 установок зниження викидів для очищення відхідних утворених у результаті нанесення покриття на вході лера. У випадках, коли зібраний матеріал переробляється, може бути необхідно врахувати вплив металів на скло, а також накопичення хлоридів і металів та їх вплив на систему. Ці міркування в деяких випадках можуть обмежити переробку пилу.

Як зазначалося в інших місцях цього документа, мокрі скрубери можуть результативно знижувати газоподібні викиди, проте їх результативність з точки зору видалення

дрібнодисперсного пилю обмежена перепадом тиску на системі. Робочі показники скрубера залежать від складу речовини на вході, проте одноступеневого скрубера може бути достатньо для забезпечення відповідності місцевим вимогам. Якщо викиди необхідно ще більше знизити, можна скористатися рукавним фільтром, після якого встановлений скрубер з ущільненим шаром, або скрубем з трубою Вентурі, після якого встановлений скрубер з ущільненим шаром. Можна очікувати, що ці технології знизять викиди HCl до $10 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$, проте ефективність видалення твердих часток та загального вмісту металів за їх допомогою досить мала, оскільки тверді частки дрібні, а продукти реакцій, утворені внаслідок нанесення на скло хлоридів олова чи титану, мають специфічні хімічні властивості. У випадках, коли HCl присутній у вигляді аерозолі, можна очікувати викидів у $<10 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ Вартість реалізації цих альтернативних варіантів залежить від об'єму відхідних газів. З місцевих обставин може впливати, що аналогічних цифр можна досягати за допомогою менш складних методів.

Ще одним важливим джерелом викидів від операцій обробки гарячої поверхні є обробка внутрішньої поверхні скляної тари, головним чином фармацевтичного призначення, триоксидом сірки SO_3 . У цих випадках для видалення SO_x зазвичай застосовується мокре очищення газів.

Технічні дані стосовно використання мокрих скрубів наведені у розділі 4.4.3.4 та у розділі 4.5.6.1.2.

4.5.2 Плоске скло

Як правило, викиди у повітря від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у виробництві плоского скла дуже низькі і не потребують заходів зі зниження викидів. Якщо флоат-ванна експлуатується правильно, відсутніх викидів парів олова не виникає. SO_2 використовується на початку лера, проте знову ж таки, якщо цей процес протікає правильно, викиди будуть низькими. Повідомляється, що типові концентрації та масові викиди знаходяться в межах $150 - 300 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ та $0,02 - 0,04 \text{ кг/тонну скла}$ (див. розділ 3.4.2.3).

Єдиним іншим видом викидів, які потенційно можуть виникати є продукти згорання від нагрівачів, що працюють на природному газі, у лері. Винятком з цього правила є випадок, коли процеси покриття виконуються у ході виробництва. Викиди від цих процесів дуже залежать від конкретного випадку, і для опису технологій, які можуть використовуватися, тут розглядається реальний приклад.

Хімічне осадження з газової фази під атмосферним тиском – це процес нанесення покриття, у якому використовуються такі види сировини: тетрахлорид олова (SnCl_4), фтороводнева кислота (HF), метанол (CH_3OH) та силан (SiH_4). Покриття наноситься у два окремі етапи: нанесення ґрунтовки з SiCO та нанесення верхнього шару покриття з оксиду олова, легованого фтором. Викиди, утворені на етапі нанесення ґрунтовки, проходять крізь піч термічного спалювання для руйнування органіки, якщо вона присутня, потім відхідні газу охолоджуються, і тверді речовини (аморфний кремнезем) видаляється за допомогою рукавного фільтра. Зібраний матеріал переробляється в печі.

На етапі нанесення верхнього шару покриття відхідні газу, які містять галогеніди та сполуки сірки, пропускаються крізь високотемпературний реактор для окиснення сполук олова. Твердий оксид олова видаляється за допомогою електростатичного фільтра, а галогеніди видаляються у хімічному скрубери з ущільненим шаром. При цьому досягаються такі рівні викидів:

- | | |
|--|----------------------------------|
| • тверді частки | $15 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ |
| • хлороводень | $5 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ |
| • фтор та його газоподібні сполуки у перерахунку на HF | $<1 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ |
| • метали | $<5 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ |

Як правило, викиди від цих видів діяльності можна контролювати за допомогою однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання; у деяких випадках можуть бути доцільними інші технології, настільки ж результативні:

- обладнання для зниження викидів пилю, що складається з рукавного фільтра або електростатичного фільтра, хоча з рукавним фільтром, найімовірніше, буде досягнуто нижчих викидів ($1 - 5 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$);
- фільтрувальна система може використовуватися у поєднанні з сухим очищенням газів;

- мокре хімічне очищення газів;
- високотемпературне окиснення, наприклад, термічне спалювання.

Витрати залежать від конкретного об'єкта, проте загалом не вважаються непропорційними отриманим результатам.

4.5.3 Скловолокно з безперервних ниток

Викиди у повітря від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у цьому секторі утворюються з чотирьох основних джерел:

- нанесення покриття на волокно;
- сушіння куличів;
- різання та розмелювання;
- додаткова обробка.

Викиди у повітря при нанесенні покриття зазвичай досить низькі: це зумовлено низькою леткістю матеріалів покриття та низькими температурами скла в місці нанесення покриття. Важливим аспектом у цьому питанні є вибір матеріалів покриття з низьким вмістом органічних розчинників. Проте деякі леткі сполуки все ж будуть присутні у вигляді розчинників або побічних продуктів реакцій. Для різних видів продукції та на різних установках зазвичай використовуються дуже різні матеріали покриття, проте вибір матеріалу є найбільш дієвим методом зниження викидів. Через великі об'єми повітря, необхідні для охолодження скла, викиди ЛОС дуже важко і дорого контролювати за допомогою вторинних заходів.

Великі витрати повітря спричиняють деяке винесення крапель і сприяють переходу ЛОС, якщо вони присутні, у леткий стан. Для контролю відхідних газів часто використовуються системи мокрого очищення газів, проте їх вплив на леткі речовини обмежується конденсацією. З цією метою також можна використовувати мокрі електростатичні фільтри, проте приклади такого застосування невідомі. Витрати на мокре очищення газів та мокрі електростатичні фільтри подібні до тих, що наведені для сектора мінеральної вати. Рівні викидів, яких вдається досягти, повністю залежать від початкових рівнів у конкретному випадку; деякі типові цифри наведені у розділі 3.5.2.3.

Мокрі куличі зазвичай сушаться у стверджувальних печах, і всі сполуки, які є леткими за цих температур, викидаються з водяною парою. Молекулярна маса матеріалів зазвичай досить висока, і значна частка присутніх летких сполук викинеться під час нанесення покриття. Про рівні викидів відомо мало інформації, і наразі єдиною технологією, що використовується для мінімізації викидів, є вибір матеріалів. Об'єми відхідних газів досить невеликі, і у разі виявлення значних викидів можна використовувати стандартні технології контролю – наприклад, спалювання, адсорбцію та очищення газів. Що стосується витрат на ці технології в цьому випадку застосування, то така інформація відсутня, проте такі технології завжди доступні для малих об'ємів газів. Проте такі викиди завжди краще контролювати шляхом оптимізації рецептури покриття, перш ніж буде встановлене обладнання для будь-якої технології зниження викидів.

Викиди пилу, що утворюються при різанні та розмелюванні, можна легко видалити шляхом відведення витяжною системою у систему фільтрів. Це стандартна технологія, що використовується у всьому секторі, і за її допомогою можна досягти викидів у діапазоні 1 – 5 мг/м³ н.у.

Додаткова обробка може передбачати використання додаткового покриття або в'язучих матеріалів. Ці викиди дуже залежать від конкретного випадку, і, якщо необхідного рівня робочих показників неможливо досягти за допомогою первинних заходів, можна використовувати стандартні технології зниження викидів ЛОС та слідів газів.

4.5.4 Сортове скло

У більшості процесів виробництва сортового скла не виникає значних викидів у повітря в результаті видів діяльності, що виконуються після печі. Для підтримання належної температури скла під час вогневого полірування та у відпалювальному лері використовується ряд систем пальників, проте вони не утворюють значних викидів, які б потребували спеціальних заходів з контролю.

Винятком з цього правила є виготовлення виробів, які потребують різьблення та полірування – особливо чистого свинцевого кришталю, свинцевого кришталю та кришталевого скла. З огляду на присутність свинцю у пилі, що утворюється під час операцій подальшої обробки, необхідно ретельно контролювати потенційні леткі викиди, щоб уникнути проблем з гігієною праці та технікою безпеки працівників.

Різьблення полягає у вирізанні, вручну або автоматично, точних візерунків на заготовках скляних виробів за допомогою різальних кругів, шаржованих алмазом. Також можуть виконуватися інші операції різання та шліфування, такі як шліфування крайок. Вода зазвичай використовується як охолоджувальна рідина для різання та для запобігання викидам пилу. Для видалення туману охолоджувальної рідини може бути передбачена витяжка. У випадках, коли ці види діяльності виконуються під охолоджувальною рідиною, відчутних викидів у повітря не виникає, хоча на витяжній системі може бути необхідно встановити тумановловлювач. Якщо виконуються операції різання та шліфування, пил може відводитися витяжною системою і пропускатися крізь ефективну систему рукавних фільтрів для зниження викидів пилу до рівнів $1 - 5 \text{ мг/м}^3$ н.у. У випадку, якщо операції різання та шліфування виконуються на свинцевому кришталі, очікується, що викиди Pb після очищення (наприклад, після рукавного фільтра), будуть нижчими, ніж $1 - 1,5 \text{ мг/м}^3$ н.у.

У результаті різьблення на склі утворюється сіра необроблена поверхня. Поверхня скла відновлюється до свого початкового вигляду шляхом його занурення у полірувальну ванну з фтороводнової та сірчаної кислоти – зазвичай застосовується розчин $30\% \text{ H}_2\text{SO}_4$ та $2 - 3\% \text{ HF}$ за температури $<50^\circ\text{C}$. З поверхні полірувальної ванни виділяються пари HF та SiF_4 . Найефективнішим способом видалення цих викидів зазвичай є мокре очищення газів за допомогою води або хімічного розчину. Під час цієї операції утворюється кремнійфтористоводнева кислота (H_2SiF_6 , до 35%), а кислотну скрубєрну рідину потрібно нейтралізувати. Як варіант, кислоту H_2SiF_6 можна зібрати і, якщо це доцільно, використовувати у якості початкової сировини в хімічній промисловості. Основним проблемним компонентом викидів в атмосферу з систем очищення газів від кислот є фтороводнева кислота; зазвичай досягаються значення $<5 \text{ мг/м}^3$ н.у. HF. Вода, що утворюється в результаті операцій полірування, зазвичай обробляється гашеним вапном для видалення фторидів і сульфатів. Шлам, що утворюється в результаті очищення води, складається з CaSO_4 та невеликих кількостей CaF_2 і обробляється за межами виробництва для можливого повторного використання (наприклад, у цементній промисловості).

Застосовуючи мокрі скрубєри в цих випадках, можна досягти дуже низьких рівнів викидів ($<5 \text{ мг/м}^3$ н.у. HF). З огляду на сильний кислотний характер цих викидів, вони добре розчинні у воді, і хімічне очищення газів навряд чи знадобиться. Хімічне очищення газів супроводжується меншим споживанням води, проте не дозволяє відібрати H_2SiF_6 зі стоків. Нещодавно були розроблені технології, які є альтернативою кислотному поліруванню, – наприклад, механічне полірування та високотемпературне полірування полум'ям або лазерами; проте на час укладання цього документа (2010 рік) інформація про застосування цих технологій відсутня.

4.5.5 Спеціальне скло

У результаті стандартних операцій подальшої обробки в цьому секторі, як правило, не виникає суттєвих викидів у повітря. У ході виробництва скла для телевізорів виконуються операції шліфування та полірування, проте вони здійснюються у рідкому середовищі і не створюють жодних викидів у повітря. Якщо скло для телевізорів або інші вироби ріжуться без охолоджувальної рідини, шліфуються чи поліруються, викиди можна контролювати шляхом їх відведення витяжною системою у систему рукавних фільтрів: таким чином викиди пилу можна знизити до $1 - 5 \text{ мг/м}^3$ н.у. Це дуже розмаїтий сектор, і на деяких установках можуть виконуватися операції, які потрібно розглядати з огляду на специфіку конкретного об'єкта.

4.5.6 Мінеральна вата

Викиди від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у секторі мінеральної вати утворюються в результаті чотирьох основних операцій: формування, стверджування, охолодження продукції та механічна обробка і пакування продукції. З даних, наведених у розділі 0, видно, що найбільш суттєвими є викиди від операцій формування та

стверджування. Ці викиди великою мірою пов'язані з використанням системи в'язучої речовини на основі фенолової смоли.

Технології, представлені у цьому розділі, описані окремо для зони формування та зони стверджування. Це зроблено для зручності та через те, що відхідні гази з цих зон відрізняються за характером. Проте кілька технологій можуть застосовуватися в обох зонах, і, особливо у виробництві скловати, може бути вигідно об'єднувати викиди для наступного їх зниження. У таких випадках технології більш вичерпно описуються у розділі, присвяченому зоні формування, з перехресними посиланнями на інформацію про зону стверджування.

Між викидами з технологічної лінії у процесах виробництва скловати та кам'яної вати є кілька важливих відмінностей: вони розглядаються у розділах, присвячених технологіям, які найбільше їх стосуються.

4.5.6.1 Зона формування

У зоні формування скляний або кам'яний розплав переробляється у волокно, і на волокно наноситься в'язуча речовина. Вкрите смолою волокно спрямовується на збиральну стрічку, що працює під вакуумом. У процесах виробництва скловати у витяжні трубопроводи та у вентилятор розбризкується вода. Вона виконує дві функції: запобігає нашаруванню матеріалів у трубопроводах і видаляє деякі тверді частки та газоподібні сполуки з газового потоку. У процесах виробництва кам'яної вати розбризкувачі води всередині трубопроводів можуть використовуватися по-різному: у деяких процесах вони влаштовані аналогічно заводам з виробництва скловати, проте в багатьох процесах розбризкувачі води взагалі не використовуються. Кампанії вагранок для виробництва кам'яної вати тривають усього кілька тижнів, тож трубопроводи можна прочистити, і розбризкувачі води не завжди вважаються необхідними.

Відхідні гази, що утворюються в зоні формування, з великою ймовірністю містять значну кількість твердих часток, фенолу, формальдегіду та аміаку. Тверді частки складаються як з неорганічного, так і з органічного матеріалу, який часто буває липким і складається з дуже малих фракцій. Також можуть реєструватися нижчі рівні ЛОС та амінів, якщо вони входять до складу системи в'язучої речовини. З огляду на характер технологічного процесу, температура газового потоку дещо вища, ніж температура навколишнього середовища, газовий потік має великий об'єм і (якщо використовуються розбризкувачі води всередині трубопроводів) насичений водою. Ці особливості, у поєднанні з характером забруднюючих речовин, обмежують кількість технологій зниження викидів, які можна застосовувати.

На викиди може суттєво впливати ряд чинників, проте особливо важливими є:

- хімічний склад системи в'язучої речовини;
- технологія волокноутворення;
- умови роботи (температура, витрата повітря та вологість);
- кількість в'язучої речовини, що наноситься;
- метод нанесення в'язучої речовини.

Шляхом оптимізації цих параметрів, у поєднанні з розбризкувачами води всередині трубопроводів, можна значно знизити технологічні викиди. Хімічний склад системи в'язучої речовини є одним із найважливіших чинників і суттєво впливає на систему технологічної води та на викиди від операцій формування, стверджування та охолодження (додаткова інформація наведена у розділі 2.9.1). Системи в'язучої речовини різняться у різних операторів і загалом мало відомі за межами сектора. Ці системи можуть бути дуже специфічними для конкретних об'єктів, і їх може бути необхідно розглядати окремо. У наведеному нижче розділі підсумовані деякі з основних питань.

Міркування щодо хімічного складу смоли та в'язучої речовини

Оптимізація хімічного складу системи в'язучої речовини та ефективність методу нанесення можуть суттєво вплинути на викиди у навколишнє середовище.

На в'язучу речовину також припадає велика частка собівартості кінцевого продукту. Тому оператори технологічних процесів вважають розробки, що стосуються хімічного складу в'язучих речовин та технологій їх нанесення, строго конфіденційними.

В'язуча речовина складається з води, фенолової смоли, сечовини, сульфату амонію, аміаку, силану, мінерального масла, силіконового масла та, можливо, інших складових, специфічних для конкретного процесу.

Смола – це, по суті, резольна фенолова смола, що складається з суміші триметилфенолу, диметилфенолу, формальдегіду, побічних продуктів реакцій фенолу та формальдегіду і слідових кількостей фенолу. Смола виготовлена на водній основі і зазвичай містить до 50 % твердої речовини. У реакції використовується надлишок формальдегіду, щоб забезпечити низький вміст або виключити присутність фенолу.

Деякі смоли каталізуються амінами, і з них у відхідні гази може потрапляти значна кількість газоподібних амінів. Ці викиди можна практично виключити, використовуючи у виробництві смоли інші сполуки у якості каталізаторів. З цією метою можна використовувати ряд речовин, проте точні відомості про оптимізовані смоляні системи зазвичай вважаються інформацією, яка є захищена правом власності. Використовуючи смоляні системи без амінів у якості каталізатора, можна досягти рівнів викидів амінів $<5 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ Якщо компанія не має достатніх власних технічних знань для розробки смоли без амінів у якості каталізатора, такі системи можна придбати в готовому вигляді у спеціалізованих постачальників смол.

У якості реагенту, який реагує зі смолою, використовують сечовину: вона розширює смолу, зменшує кількість вільного формальдегіду, а також покращує вогнестійкість кінцевого продукту. Сечовина реагує з вільним формальдегідом у смолі, утворюючи метилсечовину, яка, у свою чергу, реагує з активними ділянками на феноловій смолі і бере участь у механізмі зшивання під час стверджування. Сечовина відіграє роль замітника фенолу, і таким чином можна отримати дешевшу в'язучу речовину. Таким чином, для оператора є стимул максимально збільшити вміст сечовини у смолі – до тих пір, поки це не почне несприятливо впливати на якість продукції або технологічні параметри.

Сечовина має два основні недоліки: вона знижує розчинність смоли і може розпадатися як у зоні формування, так і у стверджувальній печі, утворюючи аміак. З екологічної точки зору максимізація використання сечовини вигідна, оскільки зменшує викиди формальдегіду: сечовина замінює фенол, і продукти розпаду сечовини є кращим варіантом викидів, ніж фенолові похідні та продукти часткового згорання, які б інакше викидалися.

Аміак виконує кілька важливих функцій у системі в'язучої речовини і забезпечує деяку гнучкість, яка важлива для оптимізації процесу у цілому. Аміак покращує розчинність води: це дає змогу додавати більше сечовини і довше зберігати в'язучу речовину. Крім того, він допомагає підтримувати рН системи у належному діапазоні і реагує з вільним формальдегідом, якщо той присутній. Характер процесу такий, що під час нього можливі короткочасні викиди аміаку понад норму. Зниження рівнів аміаку у процесі може бути непропорційним його наслідкам для решти процесу, і вищі рівні виділення аміаку можуть призводити до зниження загальних викидів.

Сульфат амонію додається для регулювання стверджування смоли. Силан створює життєво необхідну поверхню контакту між неорганічним склом та органічною в'язучою речовиною. Гідроксильні групи силану взаємодіють з оксидами скла, а органічна функціональна група реагує зі смолою, утворюючи сильний зв'язок. Мінеральні та силіконові масла додаються для покращення придатності продукту до транспортування, для придушення викидів пилу та для забезпечення деяких водовідштовхувальних властивостей.

Коли в'язуча речовина наноситься на гаряче скло у зоні формування, його леткі компоненти (наприклад, аміак, формальдегід та фенол) будуть випаровуватися і відводитися витяжною системою у місце викидання. Рівень летких викидів залежить від кількості леткого матеріалу, який не прореагував, у в'язучій речовині, від ступеня розбавлення в'язучої речовини, від температури у камері волокноутворення та від температури скла. В'язуча речовина наноситься у вигляді дрібно розбризаного струменя, і всі краплі, що не втрималися на маті, виносяться з відсмоктаним повітрям. Ступінь утримання в'язуючої речовини на продукції залежить від розподілу крапель за розмірами, від товщини мата та від величини створеного вакууму.

Було оцінено кілька альтернатив в'язучим речовинам на основі фенолової смоли, проте виявилось, що жодна з них не забезпечує прийнятної якості продукції.

4.5.6.1.1 Ударні сопла та циклони

Опис

Важливим чинником при визначенні належних систем зниження викидів для зони формування є вміст води у газовому потоці. Оскільки виробництво скловати безперервне,

необхідно використовувати очисні механізми для запобігання нашаруванню липких органічних матеріалів та волокна у витяжних трубопроводах та у вентиляторі. Звичайна технологія полягає у розбризкуванні води всередині трубопроводів, яке може здійснюватися в різних формах. Виробництво кам'яної вати у вагранках періодичне (кампанії тривають від одного до трьох тижнів), і це дає змогу очищати трубопроводи тоді, коли потрібно. Крім того, у виробництві кам'яної вати використовується порівняно менше в'язучої речовини на одиницю об'єму продукції, тому матеріали нашаровуються повільніше. У деяких процесах виробництва кам'яної вати використовуються розбризкувачі води у зоні формування, проте це великою мірою зроблено на розсуд оператора або продиктовано експлуатаційними вимогами конкретного об'єкта.

Якщо для очищення трубопроводів використовуються розбризкувачі води, логічно оптимізувати їх використання таким чином, щоб вони також очищали відхідні гази. У цій ситуації ці дві цілі повністю доповнюють одна одну: чим більше матеріалу видаляється з відхідних газів, тим більш ефективна функція очищення. Ці системи загалом налаштовані на більше, ніж мінімальні функції, необхідні для запобігання неприйнятному нашаруванню матеріалів у трубопроводах. У секторі цю оптимізовану технологію описують терміном «ударні сопла».

Для оптимізації ефективності очищення газів системи можуть подавати воду у великих об'ємах і під високим тиском, проте це не створює значно перепаду тиску. Конструкція ударних сопел різниться для різних процесів, проте націлена на оптимізації ефективності технології як для очищення трубопроводів, так і для очищення димових газів. Для видалення винесеної води з відхідних газів ударні сопла завжди використовують у поєднанні з циклонами (або іншими пристроями), які також впливають на рівні викидів твердих часток залежно від конструкції, як описано у розділі 4.4.1.4.

Тверді частки та краплі видаляються за рахунок ударів бризок / зіткнень і, меншою мірою, за рахунок дифузії. У деяких системах трубопровід також може звужуватися для підвищення ефективності видалення, проте ефективність видалення твердих часток залежить головним чином від перепаду тиску, який є низьким у всіх цих системах. У цілому, з огляду на низький перепад тиску у системі, ефективність видалення дрібнодисперсної твердої речовини та крапель досить низька, у той час як великі частки та волокна видаляються добре.

Газоподібні речовини частково поглинаються при контакті з водою. Ефективність поглинання газів залежить від різниці між парціальним тиском газу у потоці відхідних газів та тиском парів газу в рідині, від розчинності газу в рідині, площі контактної поверхні та, меншою мірою, від часу контакту. Також буде присутній ефект конденсації, який може бути важливим, якщо відхідні гази теплі.

В ударних соплах зазвичай використовується вода, яка вже містить у різних кількостях більшість речовин, присутніх у газовому потоці. Це частково впливає на ефективність видалення газоподібних речовин. Рециркульована технологічна вода фільтрується перед наступним подаванням у систему, проте вона все рівно містить у значних кількостях розчинних матеріалів. Система знаходиться у динамічній рівновазі, а система технологічної води розглядається далі в цьому документі.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Використання ударних сопел та циклонів дає змогу легко видаляти тверді матеріали, які у значних кількостях присутні в димових газах, що утворюються в зоні формування, у вигляді досить великих волокнистих часток. Проте через низьку ефективність видалення дрібних часток циклони та ударні сопла використовуються головним чином як технологія попереднього очищення. Остаточні викиди дуже залежать від в'язучої речовини і хімічного складу технологічної води, а також від нанесеної кількості в'язучої речовини.

Міжсередовищні наслідки

Якщо на установці не використовується інша технологія, як-от очищення у скрубєрі з ущільненим шаром, на ній встановлені циклони (або іноді альтернативні пристрої) з ударними соплами для видалення винесеної води. Це необхідно для зменшення споживання води та досягнення прийнятних рівнів видимості і розсіювання димового шлейфу.

У випадках, коли використовуються інші мокрі технології (наприклад, мокрі електростатичні фільтри чи скрубєри з ущільненим шаром), ударні сопла зазвичай використовуються перед ними.

Експлуатаційні параметри

Результати, досягнуті за допомогою цієї технології, наведені у Таблиці 4.40.

Застосовність

В принципі, ця технологія може застосовуватися для всіх процесів виробництва скловати та кам'яної вати. На багатьох заводах з виробництва кам'яної вати вона не використовується, оскільки не вважається необхідною для очищення технологічних викидів, і може несприятливо впливати на інші технології зниження викидів, що використовуються. Що стосується видалення викидів із зони формування, ударні сопла та циклони використовуються з цією метою приблизно на 90 % заводів з виробництва скловати та на 10 % заводів з виробництва кам'яної вати.

Економіка

Витрати на реалізацію цієї технології наведені у Таблиці 4.41 і великою мірою залежать від витрати повітря та розміру заводу. Вартість цієї технології як заходу зі зниження викидів важко оцінити, оскільки у випадках, коли використовуються ударні сопла, використання того чи іншого очисного механізму є невід'ємною потребою технологічного процесу. Витрати, наведені в таблиці, означають загальні витрати на реалізацію системи. Не існує прикладів систем, реалізованих лише для очищення трубопроводів: вони завжди встановлюються з двома метою. За оцінками, на елемент для очищення газів припадає 60 % загальних витрат. Проте цей аналіз дещо теоретичний, оскільки у більшості країн-членів ЄС робота зовсім без зниження викидів не була б дозволена, і були б понесені інші витрати на зниження викидів.

Рухий для впровадження

Значна кількість твердих матеріалів у зоні формування – це досить великі волокнисті частки, які легко видаляються ударними соплами та циклонами, особливо у виробництві скловати.

Приклади заводів

Ця технологія настільки широко застосовується, що немає сенсу вказувати приклади заводів.

Посилання на літературу

[89, Пропозиції EURIMA, 2007]

4.5.6.1.2 Мокрі скрубери

Опис

Системи мокрого очищення газів можна використовувати для контролю як газоподібних викидів, так і викидів твердих часток. Хоча базова технологія для обох цих видів викидів однакова, проєктні критерії для видалення твердих часток і газу дуже відрізняються. Проте, щоб уникнути збільшення капітальних витрат, системи мокрого очищення газів часто використовують для контролю змішаних викидів твердих часток і газів. Така конструкція неминує є компромісною, проте може становити НДТМ у випадках, коли окремі системи керування надмірно дорогі. Технологія мокрого очищення газів вичерпно описана в документації, і тут розглядаються лише основні принципи її роботи та питання, специфічні для цього сектору.

Уловлювання часток шляхом промивання газів рідиною відбувається за трьома основними механізмами: інерційне зіткнення, захоплення та дифузія. Видалення слідів газів шляхом мокрого очищення газів здійснюється за рахунок абсорбції та, меншою мірою, конденсації. Абсорбція супроводжується переносом маси між розчинним газом та розчинником у пристрої, який забезпечує контакт між газом та рідиною.

Ефективність уловлювання часток мокрими скруберами дуже залежить від загального споживання енергії, особливо від перепаду тиску на зоні уловлювання. Якщо рідина рівномірно розсіяна по скрубери, однакові перепади тиску часто будуть забезпечувати однакову ефективність уловлювання одного й того ж виду пилу за досить різних конструкцій скрубери. Таким чином, неможливо спроектувати мокрий скрубери, який буде з високою ефективністю уловлювати частки розміром 1 мкм і менше, і в якому не буде великого перепаду тиску. Високоенергетичні скрубери можуть забезпечувати хорошу ефективність уловлювання часток розміром <0,5 мкм, проте вони потребують великих поточних витрат, тож альтернативні технології можуть бути більш економічно вигідними.

Ефективність поглинання газів залежить від різниці між парціальним тиском розчинного газу у потоці відхідних газів та тиском парів газу в рідині, від розчинності газу в рідині, площі контактної поверхні та, меншою мірою, від часу контакту. Також буде присутній ефект конденсації, який може бути важливим, якщо відхідні гази теплі. Розчинність, звісно, залежить від газу та рідини. Вода підходить для поглинання розчинних кислотних газів, таких як хлороводень, фтороводень, гексафторид кремнію та аміак. Лужні або кислотні розчини підходять для поглинання менш розчинних газів, а в деяких випадках застосування за допомогою окисних розчинів можна контролювати неприємні запахи. Площа поверхні визначається матеріалом набивки або розміром крапель.

Скрубери з ущільненим шаром складаються з зовнішньої оболонки, у якій міститься шар набивки на опорних решітках, розподільники рідини, патрубки для входу і виходу газу та рідини, а також тумановловлювач. Вода безперервно розподіляється по матеріалу набивки, утворюючи плівку, яка створює велику площу поверхні для контакту газу з рідиною. Забруднений газовий потік тече крізь ущільнений шар; потоки рідини та газу можуть бути зустрічними, однонапрямними або перехресними. Існують різні типи матеріалів набивки, які можуть бути ущільнені з довільним або регулярним розташуванням. Плівка рідини на матеріалі набивки створює велику площу поверхні для переносу маси. У протитечійних абсорберах з ущільненим шаром рушійна сила поглинання максимальна, оскільки газ, що виходить з ущільненого шару, зустрічається зі свіжою поглинальною рідиною. Ущільнені шари можуть забиватися нерозчинними твердими частками, накипом, а також внаслідок біологічного обростання.

У деяких випадках може розглядатися можливість застосування скруберів з трубами Вентурі. Характерною особливістю скрубера з трубою Вентурі є звуження у напрямку трубопроводу (сопло Вентурі), яке збільшує швидкість газу. Рідина подається у скрубер і утворює плівку на стінках, яка розпилюється газовим потоком у соплі Вентурі. Ефективність скрубера з трубою Вентурі залежить від перепаду тиску, тому такі скрубери споживають багато енергії і потребують великих експлуатаційних витрат. Скрубери з трубою Вентурі зазвичай є найбільш ефективними пристроями мокрого очищення газів для уловлювання часток, оскільки вони підходять для уловлювання субмікронних часток. Їх також можна використовувати для видалення слідів газів, проте у цьому випадку їх ефективність обмежена малим часом контакту.

Найбільш широкоживаними мокрими скруберами у секторі є скрубери з ущільненим шаром, перед якими зазвичай встановлені ударні сопла. Ударні сопла видаляють великі тверді частки, і це допомагає уникнути засмічення набивки. Деякі оператори встановили іонізаційні мокрі скрубери (ІМС), розроблені для поєднання переваг низьких капітальних витрат мокрих скруберів та низьких експлуатаційних витрат електростатичних фільтрів. ІМС – це, по суті, скрубер з ущільненим шаром, у якому підтримується нейтральний заряд, і перед яким іде іонізаційна ділянка для надання часткам заряду. Ущільнений шар зазвичай складається з пластмасової набивки. Газ проходить крізь ущільнений шар з низькою швидкістю, щоб частки провели якомога більше часу якомога ближче до елементів набивки.

Коли відхідні гази з зони формування вступають у контакт з водою в ефективній скруберній системі, відбуваються такі явища:

- певна частка винесених твердих часток, переважно великих часток та крапель, буде утримана у вигляді завису;
- певна частка розчинного смолистого матеріалу, якщо він присутній, поглинається водою;
- для летких сполук встановиться рівновага між газоподібною та водною фазами.

Найбільш поширеною скруберною рідиною у секторі є технологічна вода. Це створює потенційну проблему з підтриманням достатньо низьких концентрацій летких матеріалів у газопромивній рідині для забезпечення ефективного поглинання і для запобігання виділенню уловлених матеріалів назад у газову фазу. Процес виробництва мінеральної вати є кінцевим споживачем води, і ефективність роботи скрубера можна покращити шляхом підживлення системи чистою водою у скрубері. Цей сприятливий ефект можна оптимізувати, використовуючи комбінований багатоступеневий процес очищення газів, у якому вода тече від ступеня до ступеня назустріч газовому потоку. Таким чином, найбрудніша вода використовується для промивання вхідного (найбруднішого) газового потоку, а чиста вода

використовується на останньому ступені очищення газів. Опис типового водяного контуру для виробництва скловати представлений на Рисунку 2.11, розділ 2.9.1.

Можливе рішення проблеми полягає в тому, щоб відділяти газопромивну рідину з системи технологічної води і використовувати чисту воду з достатньо інтенсивною продувкою, щоб підтримувати ефективну абсорбцію, або хімічно дозувати скрубєрну рідину з речовинами, які будуть реагувати з леткими сполуками. Проте в обох цих підходів є важливі обмеження. Використання системи чистої води для помітного покращення ефективності роботи призведе до того, що об'єм продувки стане надто великим, щоб його можна було рециркулювати у систему технологічної води, і виникне новий потік відходів, який потрібно буде окремо обробляти. Об'єм води, що розбризкується з ударних сопел, загострить цю проблему.

Присутність води у відхідних газах та смолистий характер речовин, що містяться в них, призведуть до засмічення хімічного скрубєра і створять у ньому проблеми, пов'язані з об'ємом скрубєрної рідини, якщо тільки не використовується продувка великим об'ємом води. З огляду на свій хімічний склад, жоден з цих матеріалів не можна рециркулювати у систему технологічної води, тому, знову ж таки, виникне новий потік відходів, який потрібно буде окремо обробляти. Додатковим ускладненням є те, що хімічні реагенти, необхідні для видалення фенолу/формальдегіду та аміаку, несумісні один з одним і потребуватимуть окремих ступенів. Ступені хімічного очищення газів можна розташувати послідовно у скрубєрі, що працює на технологічній воді, проте це значно збільшить витрати і, якщо тільки такий скрубєр не буде надзвичайно ефективним, не вирішить описані проблеми. Крім того, якщо розглядати потік водних відходів, то різниця у загальних викидах, що досягаються за допомогою такої технології та за допомогою скрубєра на технологічній воді з належним регулюванням процесу, з великою ймовірністю буде обмежена.

Багатоступеневе очищення газів у комбінованому агрегаті або в окремих агрегатах теоретично є можливим варіантом для зони формування та для видалення об'єднаних викидів з зони формування і стверджувальної печі. Проте серед процесів виробництва мінеральної вати немає жодного прикладу експлуатації багатоступневих скрубєрів, тож немає інформації про їх екологічні показники, витрати чи потенційні експлуатаційні проблеми. Тому цю технологію наразі не можна вважати повністю доступною. Проте її можна вважати можливим варіантом, якщо на конкретній установці дуже високі викиди з технологічної лінії.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Рівні викидів, яких можна досягти за допомогою скрубєрів з ущільненим шаром (з використанням технологічної води у якості скрубєрної рідини) у галузі виробництва мінеральної вати, наведені у Таблиці 4.40.

Міжсередовищні наслідки

Важливим міркуванням щодо мокрих скрубєрів є їх потенційний міжсередовищний наслідок: створення потоку водних відходів, який потребує обробки. У секторі виробництва мінеральної вати цієї проблеми уникають, використовуючи у якості газопромивної рідини технологічну воду зі 100 % рециркуляцією в систему технологічної води. Використання чистої води або хімічних скрубєрів призведе до утворення потоку водних відходів (див. розділ 2.9.1, Рисунок 2.11).

Експлуатаційні параметри

Ефективність видалення для твердих часток обмежена низьким перепадом тиску, а для газоподібних речовин – використанням технологічної води у якості газопромивної рідини. Очікується, що при очищенні газів чистою водою рівні викидів фенолу, формальдегіду та аміаку будуть значно нижчими. Вирішальним чинником тут є рівновага за технологічною водою, і в деяких рідкісних випадках (наприклад, якщо після тривалого періоду виробництва продукції з великим вмістом в'язучої речовини починає виготовлятися продукція з низьким вмістом в'язучої речовини) може статися, що ефективність скрубєра за газоподібними компонентами буде від'ємною.

За останні роки кілька операторів застосували іонізаційні мокрі скрубєри, проте кінцеві результати були невтішними. Порівняно зі скрубєрами з ущільненим шаром, підвищення ефективності загалом склало менш ніж 10 %.

У цьому секторі немає досвіду хімічного чи багатоступеневого очищення газів, проте досвід хімічної промисловості дозволяє припустити, що викиди фенолу, формальдегіду та

аміаку можна буде легко знизити до менш ніж 10 мг/м³ н.у., якщо вдасться подолати пов'язані з ними проблеми. У порівнянні з даними, наведеними у Таблиці 4.40, це буде значним покращенням лише для аміаку.

Застосовність

В принципі, скрубери з ущільненим шаром, в яких циркулює технологічна вода, можуть застосовуватися у всіх технологічних процесах цього сектора. Ця технологія не обмежується лише новими заводами або значними модернізаціями, проте для існуючих установок витрати, імовірно, будуть більшими. У деяких випадках застосування, особливо у виробництві кам'яної вати, таких же або нижчих рівнів викидів можна досягти за допомогою інших технологій.

У виробництві скловати скрубери з ущільненим шаром використовуються на трохи менш ніж 20 % установок – для видалення об'єднаних викидів із зони формування та стверджувальної печі або лише для видалення викидів із зони формування. У виробництві кам'яної вати скрубери з ущільненим шаром використовуються приблизно на 10 % установок для видалення викидів із зони формування і на такий же кількості установок для видалення викидів із стверджувальної печі. На установках з виробництва кам'яної вати викиди з цих двох зон зазвичай не об'єднуються.

Економіка

Витрати на реалізацію цієї технології наведені у Таблиці 4.41 і великою мірою залежать від витрати повітря та розміру заводу. Додавання іонізаційного ступеня, як в іонізаційному мокрому скрубері (ІМС), збільшить капітальні витрати приблизно на 75 %, а експлуатаційні витрати – на 10 %. Можна очікувати, що витрати на багатоступеневе хімічне очищення газів будуть вдвічі більшими, ніж сумарні значення, наведені у таблиці. Витрати на комбінований багатоступеневий скрубер, імовірно, будуть радше сумірними з витратами на систему ІМС. Проте ступені буде необхідно повністю розділити, а це збільшить витрати, і можуть знадобитися дорожчі матеріали, стійкі до корозії.

Рушій для впровадження

Перевагою цієї технології є можливість об'єднання викидів з зони формування та стверджувальної печі в єдиний ступінь очищення. Об'єм відхідних газів із зони формування загалом у десять разів більший, ніж об'єм газів із стверджувальної печі. Якщо об'єднання цих відхідних газів реалізується на етапі проектування, воно не призводить до суттєвого збільшення загальної вартості технології.

Приклади заводів

Knauf Insulation, Сент-Хеленс, Велика Британія

URSA, Іспанія

Isover Orange, Франція

Довідкова література

[89, Пропозиції EURIMA, 2007]

4.5.6.1.3 Мокрі електростатичні фільтри

Опис

Базові принципи дії та робота електростатичних фільтрів описані у розділі 4.4.1.2. У мокрих електростатичних фільтрах зібраний пил видаляється з осаджувальних пластин шляхом їх промивання належною рідиною, зазвичай водою, – періодично або шляхом безперервного розбризкування. Трьома основними типами електростатичних фільтрів є пластинчато-дротові, пластинчато-пластинчаті та трубчасто-дротові фільтри; усі вони можуть працювати за мокрим способом. У фільтрах пластинчатого типу потік газів горизонтальний; у трубчастих конструкціях потік газів вертикальний, а рідина тече назустріч газу. У деяких міцніших конструкціях замість дротів використовуються стержні. У фільтрах зазвичай встановлений певний пристрій для видалення крапель води перед виходом; краплеловлювач або іноді останнє поле може працювати за сухим способом.

Хоча у цілому віддають перевагу сухому осадженню, мокрі пиловловлювачі корисні для видалення пилу з вологих газів за температур, близьких до точки роси, та для уловлювання аерозолів рідких часток і липких матеріалів, таких як смолисті частки та смоли. Ефективність роботи мокрих пиловловлювачів набагато менше залежить від властивостей часток, оскільки присутня в газі волога легко осаджується і сприяє осадженню важкого для уловлювання пилу.

У вологих умовах застосування найчастіше використовуються трубчасті агрегати, і їх легше зробити вибухозахищеними, якщо у газах присутні смоли. Проте трубчасті агрегати зазвичай мають лише одне електричне поле і гірше підходять для випадків, коли потрібно досягти дуже високої ефективності.

Усі три типи фільтрів використовуються у виробництві мінеральної вати, проте на сьогодні найбільш вживаними є фільтри пластинчато-дротового та трубчато-дротового типу. Для гасіння пожеж зазвичай встановлюється спринклерна система.

На вході у мокрий електростатичний фільтр (мокрый електростатичний пиловловлювач – МЕСП) вихлопні гази повинні рівномірно розподілятися для забезпечення однакової низької швидкості газу між всіма елементами. Відхідні гази кондиціонуються за допомогою ударних сопел, встановлених перед електростатичним фільтром: великі волокнисті частки видаляються, а газ насичується і охолоджується. Щоб забезпечити роботу фільтра в межах проєктних параметрів, також використовують чисту воду: вона розбризкується на вході в електростатичний фільтр, щоб забезпечити насичення, а також використовується для очищення електродів. У процесах виробництва скловати об'єм цієї води зазвичай достатньо малий, щоб його можна було скидати у контур технологічної води, і може бути основним джерелом підживлення у контурі. У більшості процесів виробництва кам'яної вати випаровуваність у процесі формування значно менша, і тому неможливо використати такий об'єм чистої води.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Мокрі електростатичні фільтри ефективно видаляють тверді частки, аерозолі та краплі з розміром часток у діапазоні від 0,01 до 10 мкм. Ефективність роботи залежить від ряду чинників, особливо від швидкості газу. Новий спеціально розроблений мокрий електростатичний фільтр досягне ефективності видалення >98 % для загального вмісту твердих часток >1 мкм у діаметрі, хоча для часток розміром <1 мкм ефективність видалення стрімко падає. Ефективність роботи може зменшуватися протягом терміну служби обладнання, і велике значення має його технічне обслуговування.

Як правило, мокрі електростатичні фільтри не дуже ефективно видаляють газоподібні речовини. Це дуже залежить від асортименту продукції та хімічного складу в'язучої речовини і технологічної води. Проте, з огляду на високий ступінь насичення та використання значної кількості чистої води, деяка кількість газоподібних речовин все ж поглинається.

Дані про взяті для прикладу установки, на якій виготовляється скловата, наведені у Таблиці 4.36. Завод обладнаний удосконаленою системою контролю забруднення повітря, яка складається з мокрого електростатичного фільтра у поєднанні з мокрим скрубєром, циклонним сепаратором та системою біологічного очищення для видалення органічних забруднювачів.

Таблиця 4.36. Тверді та газоподібні викиди з зони формування установки для виробництва скловати, на якій використовується мокрий електростатичний фільтр

Виробництво скловати: зона формування		
Продуктивність: 36 000 – 38 000 тонн/рік		
Об'єм димових газів: 191707 м ³ н.у./год.		
Очисна система: мокрий скрубєр, циклонний сепаратор, витяжна вентиляція, система біологічного очищення з шістьма вертикальними промивальними баштами, мокрий електростатичний фільтр з трьома полями		
	Рівні викидів ⁽¹⁾ (мг/м ³ н.у.)	Масова витрата (кг/год.)
Формальдегід + фенол	4,3	0,82
Загальні органічні сполуки (ЗОВ – загальний органічний вуглець) у перерахунку на С	4,4	0,84
Тверді частки	21	4,03
Аміак (NH ₃)	18	3,45
HF	<0,02	<0,004
HCl	7	1,3
SO ₂	~ 3	~ 0,6
NO _x (у перерахунку на NO ₂)	9,9	1,9
Мідь (Cu)	0,0217	0,004
Марганець (Mn)	0,0381	0,007
Одориметрія	64 ouE/м ³	
⁽¹⁾ Значення викидів отримані в результаті періодичних вимірювань (середнє значення від 4 – 6 півгодинних вимірювань, виражене як значення за виміряної концентрації 20,5 % O ₂)		
Джерело: [112, Австрійський завод з виробництва скловати, 2006]		

Міжсередовищні наслідки

Основні переваги і недоліки використання мокрих електростатичних фільтрів підсумовані у Таблиці 4.37.

Таблиця 4.37. Основні переваги і недоліки мокрих електростатичних фільтрів (мокрих електростатичних пиловловлювачів – МЕСП)

<u>Переваги:</u>	
•	хороша ефективність видалення твердих часток і крапель / аерозолів; можна досягти рівня у <20 мг/м ³ н.у.
•	за умови високого ступеня насичення і використання чистої води можливе поглинання газоподібних речовин
•	може застосовуватися для видалення викидів із зони формування та стверджувальної печі
•	низький перепад тиску, а відтак порівняно низькі експлуатаційні витрати та споживання енергії
•	рідко забувається, якщо для видалення великих волокнистих часток використовуються ударні сопла
•	довгий експлуатаційний ресурс з мінімальним обсягом технічного обслуговування
<u>Недоліки:</u>	
•	утворення водяних стоків; у виробництві скловати їх зазвичай можна переробити, проте у виробництві кам'яної вати – меншою мірою
•	ефективність видалення газоподібних речовин загалом низька
•	споживає енергію, проте досить мало у порівнянні з іншими потребами технологічного процесу
•	за високих концентрацій СО (наприклад, у виробництві кам'яної вати) може бути незастосовним
•	порівняно великі капітальні витрати
•	значна потреба у виробничій площі
•	технічне обслуговування потрібне в малому обсязі, проте вкрай важливе; погане технічне обслуговування призводить до суттєвого зниження ефективності роботи
•	з огляду на високу напругу, є вимоги до техніки безпеки

Експлуатаційні параметри

Результати, яких можна досягти за допомогою цієї технології, наведені у Таблиці 4.40.

Застосовність

В принципі, ця технологія може застосовуватися для нових та існуючих процесів з виробництва скловати та кам'яної вати. Основним її недоліком у випадку кам'яної вати є потенційні труднощі з утилізацією потоку водяних стоків. Ця технологія підходить для видалення викидів як з зони формування, так і зі стверджувальної печі, а також для видалення об'єднаних викидів. У 1997 році ця технологія використовувалася приблизно на 30 % установок з виробництва скловати для видалення окремих або об'єднаних викидів із зони формування та зі стверджувальної печі. На заводах з виробництва кам'яної вати мокрі електростатичні фільтри не експлуатувалися.

Економіка

Витрати на реалізацію цієї технології наведені у Таблиці 4.41 і великою мірою залежать від витрати повітря та розміру заводу.

Рушій для впровадження

Основним рушієм для реалізації зазвичай є необхідність дотримання граничних значень викидів, встановлених законодавством. Потреба у застосуванні цієї технології також може диктуватися проблемами, пов'язаними з якістю навколишнього повітря.

Приклади заводів

Knauf Insulation, Сент-Хеленс, Велика Британія

Saint-Gobain Isover G + H AG, Німеччина

Saint-Gobain Isover, Еттен-Льор (Etten-Leur), Нідерланди

Saint-Gobain Isover, Штоккерау, Австрія

Довідкова література

[89, Пропозиції EURIMA, 2007]

4.5.6.1.4 Фільтри з кам'яної вати

Опис

Традиційні процеси пасивного фільтрування (наприклад, рукавні фільтри) не підходять для очищення відхідних газів від операцій у зоні формування та у стверджувальній печі.

Оскільки відхідні гази клейкі та іноді вологі, фільтри дуже швидко забиваються навіть за інтенсивного очищення та технічного обслуговування. Для операцій з виробництва кам'яної вати, у якому процеси формування часто виконуються за сухим способом, можна застосовувати фільтри з плит кам'яної вати. Ці фільтри виконані у вигляді сталевого чи бетонного корпусу, у якому функцію фільтрувального матеріалу виконують плити кам'яної вати, змонтовані на касетах. Фільтр цього типу з високою ефективністю видаляє тверді частки та краплі в'язучої речовини, проте малоефективний у видаленні газоподібних сполук. Фільтраційний матеріал потрібно періодично чистити або замінювати, щоб підтримувати ефективність видалення часток на потрібному рівні і не допускати збільшення опору повітряному потоку. Використані фільтрувальні плити зазвичай можна переробити в печі, якщо на об'єкті передбачений процес брикетування.

Фільтр може працювати за напівсухим способом, проте загальна ефективність значно підвищиться, якщо він працюватиме за сухим способом. Жодна з систем не утворює потоку водних відходів, і вологі фільтрувальні плити також можна легко переробити у процесі брикетування.

Старіша версія цієї конструкції базувалася на баштовому фільтрі з рулонами кам'яної вати у якості фільтрувального матеріалу. Ця технологія менш ефективна, і в багатьох випадках їй на зміну прийшла конструкція з плитами, змонтованими на касетах. Конструкція баштового фільтра краще підходила для відхідних газів з більшим вмістом вологи та в'язучої речовини, проте не могла працювати з відхідними газами, обробленими за допомогою ударних сопел.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Фільтри з кам'яної вати дуже ефективно видаляють тверді частки та краплі/аерозолі. Значення викидів, яких можна досягти за допомогою цієї технології, наведені у Таблиці 4.40. Ця технологія не справляє значного впливу на газоподібні речовини, проте у поєднанні з первинними засобами керування (наприклад, за сухого способу роботи) та з низькими викидами аерозолів досягаються рівні, наведені у таблиці. Крім того, завдяки цьому з фільтра цього типу виходить шлейф дуже малої видимості (також див. розділ 4.5.6.2.5).

Міжсередовищні наслідки

Основні переваги і недоліки застосування фільтрів з кам'яної вати підсумовані у Таблиці 4.38.

Таблиця 4.38. Основні переваги і недоліки фільтрів з кам'яної вати

<u>Переваги:</u>	
•	хороша ефективність видалення твердих часток; можна досягти рівня у $<20 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$
•	використані фільтрувальні плити можна переробити у технологічному процесі за наявності відповідних систем
•	не утворюються водні відходи
•	низькі капітальні витрати
•	низький перепад тиску, а відтак порівняно низькі експлуатаційні витрати та споживання енергії
<u>Недоліки:</u>	
•	споживає енергію, проте досить мало у порівнянні з іншими вторинними технологіями
•	обмежена ефективність видалення газоподібних речовин
•	Вважається непридатним для процесів виробництва скловати

Експлуатаційні параметри

Інформація не надана.

Застосовність

Використання цієї технології обмежувалося головним чином зонами формування у процесах виробництва кам'яної вати, хоча вона все частіше застосовується у

стверджувальних печах для кам'яної вати (див. розділ 4.5.6.2.5). Технологія може застосовуватися як для нових, так і для існуючих процесів з виробництва кам'яної вати.

Ця технологія використовується у більш ніж 90 % процесів виробництва кам'яної вати для очищення відхідних газів із зони формування, приблизно у 30 % для видалення викидів зі стверджувальних печей і майже у 40 % для очищення охолоджувальних газів. Її обмежене використання в минулому лише на стверджувальних печах для кам'яної вати було зумовлене частково високою температурою газу, і частково – широкому вжитку спалювання. Проте на сьогодні використання пасивного фільтра з кам'яної вати може вважатися найкращою технологією для стверджувальних печей.

Приклади застосування цієї технології у процесах виробництва скловати невідомі. Основні причини того, чому ця технологія не використовується у процесах виробництва скловати, розглядаються нижче.

Оскільки виробництво скловати безперервне, необхідно використовувати очисні механізми безперервної дії для запобігання нашаруванню матеріалів у витяжних трубопроводах та у вентиляторі. Для цього, як правило, використовується технологія ударних сопел. Вони зазвичай не використовуються у виробництві кам'яної вати, оскільки періодичний характер її виробництва дає змогу чистити трубопроводи. Крім того, у виробництві кам'яної вати використовується порівняно менше в'язучої речовини, тож матеріал нашаровується повільніше.

У процесі виробництва кам'яної вати волокно зазвичай збирається у мат сталої товщини, який потім укладається на окремий формувальний конвеєр для надання продукції бажаних властивостей. Первинний мат тонкий; він створює лише невеликий сталий перепад тиску і дає змогу використовувати лише одну витяжну систему, розраховану на порівняно малий об'єм. У виробництві скловати використовується формувальна система з єдиним конвеєром. Товщина мата збільшується уздовж формувального конвеєра і різниться залежно від продукту. Оскільки перепад тиску змінюється уздовж конвеєра, в цьому випадку необхідно використовувати кілька витяжних систем різної потужності, а відсмоктування повітря у цілому повинно здійснюватися під достатньо високим тиском і бути змінним та регульованим. Обсяг та розподіл відсмоктування повітря є важливим інструментом для керування технологічним процесом, який часто змінюється оператором-технологом. Змінний стан відхідних газів з більшим об'ємом та вищим тиском у виробництві скловати не найкращим чином підходить для фільтрувальних систем.

Насичені водою відхідні гази з високим вмістом в'язучої речовини, які утворюються в зоні формування скловати, можуть призвести до швидкого забивання фільтра з кам'яної вати. Через це фільтрувальний матеріал доведеться часто міняти, і буде утворюватися велика кількість вологих відходів, які потрібно переробляти або захоронювати.

Додатковим ускладненням при використанні фільтрів з мінеральної вати у процесах виробництва скловати є більші труднощі у переробці матеріалу в печі. Переробка волокнистих відходів у печах для виробництва мінеральної вати розглядається у розділі 4.7.

Економіка

Витрати на реалізацію цієї технології наведені у Таблиці 4.41 і великою мірою залежать від витрати повітря та розміру заводу. Капітальні витрати особливо малі, і низький перепад тиску диктує малі експлуатаційні витрати у порівнянні з іншими традиційними системами фільтрів.

Рушій для впровадження

Фільтри з кам'яної вати дуже ефективно видаляють тверді частки та краплі/аерозолі, потребуючи порівняно малих інвестиційних та експлуатаційних витрат і споживаючи мало енергії.

Приклади заводів

Rockwool Lapinus, Рурмонд, Нідерланди
Partek Rockwool AB, Еллекіс (Hällekis), Швеція

Довідкова література

[89, Пропозиції EURIMA, 2007]

4.5.6.2 Стверджувальна піч

Продукт у вигляді вологого мата входить у стверджувальну піч, нагріту до температури близько 250 °С. Волога відводиться з нього разом з усіма леткими матеріалами, і в'яжуча речовина починає твердіти. Критичне значення має температура та час перебування у стверджувальній печі.

В'яжуча речовина повинна належним чином зшитися, але не затвердіти надмірно, інакше якість продукції погіршиться. Викиди зі стверджувальної печі складаються з летких компонентів в'яжучої речовини, продуктів розпаду в'яжучої речовини та продуктів згорання від паливників стверджувальної печі. У цілому, продукція зі скловати містить більшу відносну кількість в'яжучої речовини, ніж продукція з кам'яної вати, а це призводить до більших викидів. Викиди зі стверджувальної печі, якщо вони не обробляються, також мають, як правило, неприємний запах.

Стверджувальна піч зазвичай працює на газі під витяжкою. Викиди зі стверджувальної печі липкі і потенційно пожежонебезпечні, оскільки у витяжній системі, особливо у стверджувальних печах для скловати, з них відкладаються горючі матеріали. Щоб запобігти займанню, необхідно промивати газовий потік водою або підводити додаткове тепло, аби забруднюючі речовини втратили липкість. Якщо такі процеси протікають без спалювання, у витяжні трубопроводи зазвичай розбризкується вода для запобігання нашаруванню смолистих матеріалів та для запобігання займанню. Розбризкані струмені води також видаляють деяку частину матеріалів, винесених з газовим потоком.

4.5.6.2.1 Ударні сопла та циклони

Опис

Ця технологія описана вище у розділі 4.5.6.1.1, проте існує ще кілька питань, які потрібно враховувати. Відхідні гази зі стверджувальної печі виходять у набагато меншому об'ємі та з вищою температурою, ніж відхідні гази з зони формування. Тому, особливо у процесах виробництва скловати, нашарування смолистих матеріалів у трубопроводах створює ризик пожежі і навіть вибуху. Вода, що розбризкується в газ, суттєво його охолоджує, і з відхідних газів конденсуються деякі речовини. Це не обов'язково означає, що речовини видаляються, і на початкових ділянках системи матеріал буде переходити в леткий стан з забрудненою технологічною водою.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Через низький перепад тиску в системі ефективність видалення дрібнодисперсних твердих часток досить мала; проте використання ударних сопел та циклонів сприяє конденсації деяких речовин, запобігаючи нашаруванню залишків у трубопроводах та усуваючи ризик займання, з наступними викидами в атмосферу. Як і в зоні формування, система перебуває в динамічній рівновазі, і газоподібні викиди сильно залежать від хімічного складу технологічної води та в'яжучої речовини.

Міжсередовищні наслідки

Якщо для видалення винесеної води не використовується інша технологія (наприклад, скруббер з ущільненим шаром, циклон, краплеловлювач), ця технологія призводить до споживання великої кількості води і викидів туманів.

Експлуатаційні параметри

Рівні викидів, що досягаються за допомогою цієї технології, наведені у Таблиці 4.40.

Застосовність

Як і у випадку зони формування, ця технологія, в принципі, може застосовуватися для всіх процесів виробництва мінеральної вати. На багатьох заводах з виробництва кам'яної вати вона не використовується, оскільки не вважається необхідною для очищення технологічних викидів, і може несприятливо впливати на ефективність роботи інших технологій. Ударні сопла та циклони широко застосовуються для стверджувальних печей приблизно на 90 % заводів з виробництва скловати, часто – для очищення об'єднаних димових газів з зони формування та зі стверджувальної печі. Ця технологія використовується як засіб попереднього очищення у поєднанні з іншими технологіями.

Економіка

Витрати на реалізацію цієї технології наведені у Таблиці 4.41 і великою мірою залежать від витрати повітря та розміру заводу. Міркування щодо того, скільки витрат можна вважати витратами на зниження викидів, такі ж, як для зони формування.

Рушій для впровадження

Нашарування смолистих матеріалів у трубопроводах створює ризик пожежі і навіть вибуху, особливо у процесах виробництва скловати. Вода, що розбризкується в газ, суттєво його охолоджує, і з відхідних газів конденсуються деякі речовини.

Приклади заводів

Ця технологія настільки широко застосовується, що немає сенсу вказувати приклади заводів.

Довідкова література

[89, Пропозиції EURIMA, 2007]

4.5.6.2.2 Мокрі скрубери

Ця технологія описана для зони формування у розділі 4.5.6.1.2, і викладені міркування рівною мірою стосуються викидів зі стверджувальної печі. Основні міркування щодо викидів зі стверджувальної печі, які обробляються мокрими скруберами, такі: об'єм газів набагато менший, а концентрації забруднюючих речовин інші; як правило, вміст твердих часток менший, вміст фенолу аналогічний, а вміст аміаку та формальдегіду значно вищий.

Рівні викидів, яких можна досягти за допомогою скруберів з ущільненим шаром (з використанням технологічної води у якості скруберної рідини) у галузі виробництва мінеральної вати, наведені у Таблиці 4.40 (це питання розглядається у розділі 4.5.6.1.2). Викиди зі стверджувальної печі містять більшу відносну кількість газоподібних викидів у порівнянні з викидами, що надходять із зони формування, тож загальна ефективність може бути вищою. Це, знову ж таки, залежить від кількості чистої води, що використовується, та від хімічного складу в'язучої речовини і технологічної води.

Витрати на реалізацію цієї технології наведені у Таблиці 4.41 і великою мірою залежать від витрати повітря та розміру заводу. Витрати наведені для об'єднаних викидів із зони формування та стверджувальної печі. Більшість прикладів викидів зі стверджувальної печі, що обробляються мокрими скруберами, вказані для об'єднаних викидів, і, з огляду на малий об'єм викидів, додані витрати зазвичай малі. Відмінності у вказаних витратах великою мірою зумовлені різною витратою повітря; приблизну оцінку для випадку очищення викидів з самої лише стверджувальної печі можна виконати шляхом пропорційного зменшення витрат, проте залежність між витратами нелінійна.

В принципі, ця технологія може застосовуватися на всіх заводах (це питання розглядається у розділі 4.5.6.1.2).

4.5.6.2.3 Мокрі електростатичні фільтри

Ця технологія описана для зони формування у розділі 4.5.6.1.3, і викладені міркування рівною мірою стосуються викидів зі стверджувальної печі. Мокрі електростатичні фільтри (мокрі електростатичні пиловловлювачі – МЕСП) рідко використовуються для очищення лише викидів зі стверджувальної печі, і зазвичай ці системи призначені для очищення об'єднаних викидів. З огляду на вищі відносні концентрації газоподібних та пахучих сполук у відхідних газах зі стверджувальної печі, мокрий електростатичний фільтр може бути не найкращою технологією зниження викидів з самої лише стверджувальної печі. Проте якщо ці викиди об'єднуються з викидами, утвореними з зони формування, і неминуче розбавляються ними, мокрий електростатичний фільтр може бути логічним вибором.

Рівні викидів, які досягаються за допомогою цієї технології, наведені у Таблиці 4.40, а витрати – у Таблиці 4.41. В принципі, ця технологія може застосовуватися як на нових, так і на існуючих установках.

4.5.6.2.4 Спалювання відхідних газів

Опис

Спалювання широко застосовується для контролю викидів органічних речовин з промислових технологічних процесів. У нього є ряд недоліків: воно знищує матеріал (не даючи змоги його регенерувати), часто потребує додаткової енергії і призводить до утворення вуглекислого газу та оксидів азоту. Проте його можна спроектувати так, щоб воно було енергоефективним і становило невід'ємну частину теплопостачання для операцій сушіння або стверджування. Печі спалювання бувають двох типів: термічні печі спалювання ($>750\text{ }^{\circ}\text{C}$) або каталітичні печі спалювання (від 350 до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$).

У термічних печах спалювання органічні сполуки руйнуються шляхом термічного окиснення з розкладанням на вуглекислий газ, воду, оксиди сірки та азоту, а також інші продукти згорання. Основні вимоги до ефективного згорання викладені нижче.

- Час перебування в камері згорання повинен бути достатньо довгим, щоб забезпечити повне згорання. Для забезпечення ефективності знищення у 99 % час перебування в печі зазвичай повинен становити від 1 до 4 секунд за відповідної температури.
- Робоча температура повинна перевищувати температуру самозаймання більшості стабільних речовин на $200 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; типові робочі температури становлять близько $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Якщо газовий потік містить хлоровані та ароматичні речовини, температури необхідно збільшити до $1100 - 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для запобігання утворенню діоксинів необхідно забезпечити швидке охолодження димових газів.
- Для забезпечення ефективного тепломасообміну в зоні згорання та запобігання утворенню «холодних точок» необхідно забезпечити турбулентність. Цього зазвичай досягають шляхом використання пальників, які створюють вихрове полум'я згорання, та встановлення відбійних перегородок у камері згорання.

Каталітичне спалювання навряд чи є практично доцільним варіантом у цьому секторі, оскільки високе навантаження твердими частками та присутність смолистих матеріалів призведе до отруєння каталізатора.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Спалювання – це ефективна технологія для видалення органічних речовин з потоку відхідних газів, проте воно не знижує вміст неорганічних твердих часток. У процесі спалювання споживається енергія і утворюються викиди CO_2 та оксидів азоту, які в тих кількостях, у яких вони викидаються, можуть вважатися більш сприятливим варіантом, ніж викиди тих речовин, що руйнуються, і можуть збільшити кількість енергії, яку можна регенерувати з димових газів. Відхідні гази зі стверджувальних печей також містять аміак та інші азотовмісні речовини, які частково окиснюються з утворенням оксидів азоту. Добре спроектована піч для спалювання знижує загальний вміст органічних сполук до менш ніж 10 мг/м^3 н.у.

Міжсередовищні наслідки

Основні переваги і недоліки спалювання відхідних газів підсумовані у Таблиці 4.39.

Споживання енергії, пов'язане зі спалюванням відхідних газів, еквівалентне 200 м^3 газу на кг видалених фенолу та формальдегіду або 20 м^3 на кг видаленого аміаку. Відповідне розрахункове збільшення викидів CO_2 становить близько 400 кг на кг фенолу/формальдегіду та 40 кг на кг аміаку.

Таблиця 4.39. Основні переваги і недоліки спалювання відхідних газів

<p><u>Переваги:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Висока ефективність знищення органічних забруднюючих речовин та усунення неприємних запахів • Не утворюються водні та тверді відходи <p><u>Недоліки:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Споживання енергії високе. Слід застосовувати, наскільки це технічно можливо, методи регенерації енергії з димових газів. • Викидається вуглекислий газ та оксиди азоту. Частина аміаку перетворюється в оксиди азоту • Нульова ефективність видалення неорганічних твердих часток • Витрати значно більші, ніж на комбіноване очищення разом з викидами, утвореними в зоні формування, якщо воно можливе <p><i>Джерело: [89, Пропозиції EURIMA, 2007]</i></p>

Експлуатаційні параметри

Значення викидів, яких можна досягти за допомогою цієї технології, наведені у Таблиці 4.40.

Що стосується споживання енергії за рахунок спалювання відхідних газів, то такі дані відсутні.

Застосовність

На час укладання цього документа (2010 рік) ця технологія використовувалася лише для обробки викидів зі стверджувальних печей для кам'яної вати і застосовувалася на 60 – 70 % установок. Альтернативні варіанти описані нижче.

Для відхідних газів, що утворюються в зоні формування, ця технологія вважається неприпустимо дорогою з огляду на великий об'єм цих газів, низьку концентрацію речовин, низьку температуру та іноді високий вміст води. В принципі, ця технологія може рівною мірою застосовуватися для нових та для існуючих процесів.

Як у випадку скловати, так і у випадку кам'яної вати зазвичай можливо об'єднати викиди зі стверджувальної печі з викидами, утвореними в зоні формування, для їх обробки за допомогою єдиної технології, і такий підхід часто набагато економніший. В принципі, не існує технічних причин, чому викиди зі стверджувальних печей для скловати не можна було б знижувати шляхом спалювання. Проте це рішення може бути не найбільш економічно ефективним.

Економіка

Витрати на спалювання відхідних газів наведені у Таблиці 4.41 і великою мірою залежать від витрати повітря та розміру заводу. Економічні показники спалювання дуже залежать від можливостей регенерації тепла. Витрати залежать від ряду факторів, проте особливо від таких:

- об'єм відхідних газів, який потрібно очистити: він визначає розміри камери згорання;
- температура відхідних газів, яка впливає на конструкцію пальникового обладнання та вимоги до допоміжного палива;
- теплота згорання газу, яка впливає на вимоги до допоміжного палива;
- температура згорання, від якої залежить вибір будівельних матеріалів;
- контрольно-вимірні прилади;
- можливості регенерації тепла;
- вимоги встановлення: у приміщенні, надворі, на рівні землі, на даху, тощо.

Рушій для впровадження

Рушієм для реалізації може бути необхідність дотримання граничних значень викидів органічних речовин, встановлених законодавством, та проблеми, пов'язані зі скаргами місцевих жителів на неприємні запахи.

Приклади заводів

Rockwool Lapinus, Рурмонд, Нідерланди

Partek Rockwool AB, Еллекіс, Швеція

Owens Corning, Квінсферрі (Queensferry), Велика Британія

Довідкова література

[89, Пропозиції EURIMA, 2007]

4.5.6.2.5 Фільтри з кам'яної вати**Опис**

Фільтри з кам'яної вати можна використовувати як комбіновану систему для фільтрування відхідних газів, що надходять із зони формування та стверджувальної печі, або як окремий фільтр лише для зони стверджування. Детальний опис цієї технології наведений у розділі 4.5.6.1.4.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Ці фільтри ефективно знижують вміст органічних та неорганічних твердих часток, але не забезпечують значного зниження газоподібних викидів. Це призведе до підвищених викидів органічних компонентів та аміаку з в'язучої речовини, проте споживання енергії та викиди оксидів азоту і CO_2 будуть меншими у порівнянні з піччю для спалювання. Підвищені викиди компонентів в'язучої речовини зазвичай несуттєві у порівнянні з викидами від зони формування.

Міжсередовищні наслідки

Фільтр з кам'яної вати утримує більшість твердих часток, як органічних, так і неорганічних, проте вміст газоподібних компонентів зменшиться лише трохи.

Експлуатаційні параметри

Результати використання фільтрів з кам'яної вати наведені в Таблиці 4.40 у порівнянні з іншими технологіями зниження викидів.

Застосовність

Фільтри з кам'яної вати використовуються для очищення викидів зі стверджувальних печей для кам'яної вати як альтернатива печам для спалювання відхідних газів. Концентрація твердих часток у відпрацьованих газах процесу стверджування зазвичай дуже низька, тож на кількох існуючих заводах для очищення відпрацьованих газів від стверджувальних печей використовуються лише первинні заходи та димова труба. Димова труба може бути окремою або об'єднаною димовою трубою для формування/стверджування.

Економіка

Витрати на реалізацію цієї технології наведені у Таблиці 4.41 і великою мірою залежать від об'єму відхідних газів та розміру заводу.

Рушій для впровадження

Рушієм для реалізації може бути потреба у видаленні органічних твердих часток та крапель/аерозолів для дотримання граничних значень викидів органічних сполук, встановлених законодавством.

Приклади заводів

Інформація не надана.

Довідкова література

[89, Пропозиції EURIMA, 2007]

4.5.6.3 Охолодження продукції

Для охолодження продукту після виходу зі стверджувальної печі до прийнятної температури крізь нього необхідно пропустити велику кількість повітря (зазвичай від 10000 до 40000 м³/год.). Цей газ з великою ймовірністю буде містити волокна, частки затверділої в'язучої речовини та невелику кількість органічних парів, які можуть мати неприємний запах. Цей газовий потік не є серйозною проблемою у секторі, проте може призвести до місцевих ускладнень. Існує три основні методи очищення газів: у секторі є приклади застосування всіх цих методів, і всі вони вважаються доступними і фінансово прийнятними. За допомогою всіх трьох методів можна досягти порівняно низьких рівнів викидів, і те, який варіант буде оптимальним, залежить від місцевих обставин. У деяких випадках, якщо викиди дуже низькі, вторинні засоби зниження викидів можуть не знадобитися. Ці три технології такі:

- використання системи фільтрів для видалення пилу з достатньою швидкістю вихлопу та на достатній висоті, щоб не створювати неприємних запахів на рівні землі;
- використання системи мокрого очищення газів з належною дисперсією. Найменші викиди твердих часток та найменший димовий шлейф забезпечує система типу Вентурі;
- об'єднання охолоджувального повітря з системою очищення димових газів від зони формування або стверджувальної печі.

Варіант з об'єднанням, імовірно, буде найбільш екологічно та економічно ефективним методом.

4.5.6.4 Механічна обробка та пакування продукції

У процесах виробництва мінеральної вати виконується ряд операцій з обрізання країв продукції, різання та розрізання на смуги, у ході яких утворюються викиди пилу. Загальноприйнятим способом боротьби з цими викидами є їх ефективне збирання та відведення за допомогою витяжної системи, після чого відсмоктане повітря пропускається крізь ефективну систему видалення пилу – зазвичай крізь рукавний фільтр (також див. 3.8.2.4).

Операції пакування також є потенційним джерелом викидів пилу, і викиди від них слід обробляти таким же чином.

Об'єми газів від цих операцій можуть суттєво різнитися (від 5000 до 70000 м³/год.). Щоб мінімізувати капітальні та експлуатаційні витрати на обладнання для зниження викидів, відсмоктані об'єми повітря слід знизити до мінімального рівня, сумісного з належним уловлюванням пилу.

4.5.6.5 Неприємні запахи, що виникають у ході виробництва мінеральної вати

Технічна оцінка неприємних запахів складна, витратна і потенційно суб'єктивна, і на цю тему доступно мало інформації. Проте установки з виробництва мінеральної вати можуть бути джерелом неприємних запахів, на які будуть скаржитися місцеві жителі. В останні роки ця проблема пом'якшилася завдяки удосконаленню процесів експлуатації та керування, проте досі залишається актуальною для багатьох установок. У цьому розділі розглядаються неприємні запахи, що утворюються на всіх етапах технологічного процесу, у тому числі під час варіння скла.

Традиційні газоповітряні та газокисневі печі зазвичай не створюють проблем з неприємними запахами, навіть якщо у них переробляється утилізований матеріал, завдяки високим температурам. Електричні скловарні агрегати з холодним склепінням рідко створюють проблеми з неприємними запахами, проте це можливо, якщо в них переробляються відходи мінеральної вати. У процесі варіння скла в'язучі матеріали можуть зазнавати часткового термічного розпаду, і з них можуть виділятися деякі пахучі речовини. Цю проблему можна звести до мінімуму шляхом додавання окиснювачів або попередньої обробки волокна.

При варінні скла у вагранках утворюються значні викиди пахучого сірководню. Загальноприйнятим рішенням цієї проблеми є їх спалювання у системі допалювання, яка також усуває інші пахучі викиди з утилізованого матеріалу або сировини.

Основними джерелами неприємних запахів є операції подальшої обробки, особливо формування та стверджування. Неприємні запахи також можуть виникати при охолодженні продукції, особливо якщо продукція щільна, з високим вмістом в'язучої речовини або тією чи іншою мірою надмірно затверділа. Неприємні запахи від окремих хімічних речовин, що використовуються у технологічному процесі, не вважаються особливо суттєвими. Неприємні запахи виникають головним чином у результаті хімічних та термічних реакцій з участю органічної в'язучої речовини, що використовується у технологічному процесі. При цьому виникає характерний запах «горілого бакеліту». На запахи формальдегіду чи аміаку за межами заводу скаржаться дуже рідко.

Вважається, що більшість неприємних запахів утворюються у стверджувальній печі, де протікають основні хімічні реакції та термічні процеси. У процесі сушіння також утворюється певна кількість продуктів перегонки в'язучих сполук та проміжних матеріалів з паром. В середині більшості стверджувальних печей спостерігається нашарування волокнистих та смолистих матеріалів, з яких також можуть утворюватися пахучі сполуки під впливом температури стверджувальної печі. У стверджувальних печах нерідко виникають невеликі займання та локалізовані випадки тління, і дим та пари, що при цьому викидаються, можуть бути дуже пахучими.

Частоту появи неприємних запахів можна значно скоротити шляхом належного технічного обслуговування та очищення стверджувальної печі, застосування систем мокрого очищення газів, належного розсіювання та оперативного гасіння осередків займання. Дуже ефективним рішенням цієї проблеми є спалювання відхідних газів стверджувальної печі.

Операції у зоні формування також можуть призвести до утворення пахучих сполук, особливо у випадку, коли в'язуча речовина розбризкується на гаряче волокно. Проте атмосфера тут холодніша, а відтак вологіша, ніж у стверджувальній печі, об'єми газів набагато більші, а концентрації будь-яких пахучих сполук менші внаслідок розбавлення. Хоча з зони формування може викидатися значна маса пахучих сполук, неприємний запах «існує» лише в тому разі, якщо сполука присутня в концентрації понад поріг сприйняття запаху, тож викиди з зони формування зазвичай менш пахучі, ніж викиди зі стверджувальної печі. Якщо викиди з зони формування все ж створюють неприємні запахи, їх можна мінімізувати шляхом мокрого очищення газів та належного розсіювання. Проблемні неприємні запахи можна усунути шляхом мокрого очищення газів з використанням окиснювача, проте це потрібно робити окремо від системи технологічної води. Питання, пов'язані з хімічним мокрим очищенням газів, розглядаються у розділі 4.5.6.1.2.

Загальні досяжні значення викидів у повітря від основних видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у секторі виробництва мінеральної вати (волокноутворення, формування, стверджування та охолодження) підсумовані у Таблиці 4.40. Дані, наведені у таблиці, відображають результати реальних вимірювань на працюючих заводах. Фактичні викиди залежать не лише від того, яка технологія зниження викидів застосовується, а й від вмісту в'язучої речовини у продукції, що виготовляється, та від застосованих первинних технологій. Відповідно, в даних, наведених у таблиці, діапазони викидів для різних технологій зниження викидів перекриваються.

У Таблиці 4.41 підсумовані показники витрат при застосуванні технологій зниження викидів до основних видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у секторі виробництва мінеральної вати. Технології зниження викидів використовуються згідно з описом у таблиці. Наприклад, мокрий електростатичний фільтр завжди використовується у поєднанні з ударним скруббером та циклоном, що встановлені перед ним для видалення волокон та води; тож вказані витрати відповідають опису.

Таблиця 4.40. Загальні досяжні значення викидів у повітря від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у секторі виробництва мінеральної вати з застосуванням різних технологій

Процес/технологія	Викиди ⁽¹⁾ у мг/м ³ н.у. (кг/тону продукції у дужках)							
	Скорочення викидів	Фенол	Формальдегід	Аміак	NO _x	CO ₂	ЛОС ⁽²⁾	Аміни ⁽²⁾
Об'єднане волокноутворення, формування та стверджування								
Циклон	15 (0,6)	2 (0,08)	1 (0,04)	10 (0,4)			14 (0,56)	
Ударний скруббер + циклон	9 – 64 (0,6 – 3,2)	0,4 – 14 (0,03 – 0,8)	0,7 – 6,4 (0,06 – 0,25)	8 – 61 (0,36 – 5,0)			3 – 28 (0,13 – 1,7)	
Ударний скруббер + циклон + МЕСП ⁽³⁾	19 (1,21)	7,0 (0,46)	3,6 (0,269)	56 (3,6)			20,3 (1,43)	
Ударний скруббер + циклон + осаджувальна камера	18,1 (0,65)	1,31 (0,0465)	3 (0,1)	48,8 (1,81)		5236 (194)	23,7 (0,89)	
Фільтр з кам'яної вати ⁽⁴⁾	18,3 (0,8)	18,8 (0,7)	6,5 (0,23)	39,3 (1,41)	48 ⁽²⁾			
Об'єднане волокноутворення та формування								
Циклон	14,5 (1,11)	1,88 (0,14)	1,65 (0,13)	19,5 (1,49)			9,3 (0,71)	
Ударний скруббер + циклон + СУШ ⁽³⁾	11 (0,35)	0,75 (0,024)	1,4 (0,044)	30,9 (0,97)	2 (0,06)		20,7 (0,65)	
Фільтр з кам'яної вати ⁽⁴⁾	7 – 44 (0,15 – 1,2)	0,5 – 14 (0,01 – 0,25)	0,7 – 5,4 (0,017 – 0,14)	6,7 – 64,2 (0,18 – 1,4)	70,4 (2,75)			0,08 (0,0016)
Лише стверджування								
Циклон	81 (0,33)	1,02 (0,0043)	1,4 (0,018)	125 (0,84)			14,4 (0,08)	
Ударний скруббер + циклон + СУШ ⁽³⁾	1,9 (0,0048)	0,18 (0,0005)	0,03 (0,00007)	44,3 (0,11)			42,7 (0,11)	
Спалювання відхідних газів ⁽⁴⁾	3 – 29 (0,01 – 0,16)	0,2 – 30 (0,0004 – 0,1)	0,22 – 7,1 (0,001 – 0,06)	6 – 90 (0,05 – 0,24)	45 – 204 (0,08 – 1,3)	16000 – 8000 (35 – 81)		0,07 (0,0002)
Фільтр з кам'яної вати ⁽⁴⁾	11 (0,25)	5,85 (0,019)	5,4 (0,022)	65 (0,28)	34 (0,12)			
Спалювання + фільтр з кам'яної вати ⁽²⁾	13,5 (0,03)	1,2 (0,004)	5 (0,011)	83 (0,26)	225 (0,3)			0,3 (0,001)
Охолодження								
Циклон	12,5 (0,04)							
Фільтр з кам'яної вати ⁽⁴⁾	4 – 50 (0,02 – 0,41)	5,5 (0,047)	3,89 (0,02)	18,3 (0,08)	43,3 (0,12)			
⁽¹⁾ Дані про викиди, наведені у вигляді діапазону, відображають результати значної кількості вимірювань (мін. 9, макс. 23). Дані про викиди, наведені у вигляді єдиного числа, відображають середнє значення малої кількості вимірювань (мін. 1, макс. 4). ⁽²⁾ Доступні дані обмежені. ⁽³⁾ МЕСП = мокрий електростатичний фільтр (мокрый електростатичный пыловловлювач), СУШ = скруббер з ущільненим шаром. ⁽⁴⁾ Ці технології застосовуються лише у виробництві кам'яної вати. Джерело: [93, Таблиці даних EURIMA – 80%, 2007]								

Таблиця 4.41. Інвестиційні та експлуатаційні витрати на технології зниження викидів від видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у секторі виробництва мінеральної вати

Технологія зниження викидів	Встановлена потужність (тонн/добу)	Інвестиційні витрати (мільйонів євро) ⁽¹⁾	Експлуатаційні витрати (мільйонів євро на рік) ⁽²⁾	Питомі витрати (євро/тонну) ⁽²⁾
Формування + ствердження				
Ударний скрубер + циклон	50	1,1	0,15	16,5
Ударний скрубер + циклон + МЕСП	150	4,4	0,6	23,5
Ударний скрубер + циклон + мокрі скрубери	100 – 150	2,3	0,5 (100 т/добу) 0,62 (150 т/добу)	18,5 (150 т/добу) 20,5 (100 т/добу)
Фільтри з кам'яної вати	150 – 350	0,9 (200 т/добу)	0,86 (200 т/добу)	16 (200 т/добу)
Формування + ствердження + охолодження				
Ударний скрубер + циклон + мокрі скрубери + МЕСП	250	7,6	0,95	21
Сухий скрубер + мокрі скрубери + МЕСП ⁽³⁾	250	13,7	0,73	28,5
Формування + охолодження				
Фільтри з кам'яної вати	150	1,3 – 4,3	0,4 – 0,55	17 – 18,5
Лише формування				
Ударний скрубер + циклон	25	0,8	0,16	29
Скрубери з перехресною течією	100	3,1	0,15	15,5
Фільтри з кам'яної вати	150 – 350	1,0 (150 т/добу) 8,4 (350 т/добу)	0,55 – 0,6	8,5 – 17
Лише ствердження				
Фільтр з кам'яної вати + допалювач	150 – 200	0,8 – 1,3	0,2 (переробка) 0,4 (захоронення)	5,5 (переробка) 14,5 (захоронення)
Ствердження + охолодження				
Спалювання відхідних газів (допалювач)	150 – 350	0,6 – 1,3 (150 – 250 т/добу) 3,5 (350 т/добу)	0,3 – 0,6	5,5 – 14

⁽¹⁾ Інвестиційні витрати вказані з урахуванням річної амортизації інвестицій, витрат на виплату відсотків, підготовки майданчика, очищення димових газів, обробки/видалення відходів, тощо.

⁽²⁾ Експлуатаційні/питомі витрати вказані з урахуванням технічного обслуговування, енергії, хімічних реагентів, придбання квот на викиди CO₂, захоронення відходів, споживання води, тощо.

⁽³⁾ У випадку сухих та мокрих скруберів + мокрого електростатичного фільтра: інвестиційні витрати вказані з урахуванням установки регенерації промивної води; питомі витрати вказані без урахування супутніх витрат на установку регенерації промивної води.

Джерело: [115, EURIMA-ENTEC, Оцінка витрат, 2008]

4.5.7 Високотемпературне ізоляційне волокно

Головною екологічною проблемою видів діяльності, не пов'язаних з варінням скла, у секторі виробництва високотемпературного ізоляційного волокна (ВТІВ) є викиди твердих часток у повітря, які можуть містити волокнистий пил із самого високотемпературного ізоляційного волокна. Крім того, у результаті деяких операцій додаткової обробки, особливо під час операцій сушіння та ствердження, можуть утворюватися викиди ЛОС.

Викиди твердих часток та волокнистого пилу можуть утворюватися на кількох ділянках технологічного процесу, до яких належать зони: волокноутворення та збирання волокна, зшивання у голкопробивну тканину, випалювання мастила, розрізання на смуги, обрізання країв, різання, пакування та операцій додаткової обробки.

Технічні можливості зниження викидів від операцій подальшої обробки зазвичай базуються на відфільтровуванні твердих часток спеціальними фільтрами поблизу джерела їх викидання, до яких відводяться димові гази.

Під час виробництва волокна до нього додається мастило для зменшення тертя між

окремим волокнами, щоб волокно можна було зшити у голкопробивну тканину. Після волокноутворення окремі волокна укладаються на повітропроникну сітчасту стрічку, виготовлену з плетеного дроту, у збиральній камері за допомогою вакууму.

Насичені пилом газу пневматичним способом транспортуються по трубопроводу до рукавного фільтра (сухого сепаратора), у якому з них видаляється пил. Рукавні фільтри з певною періодичністю чистяться пневматичним способом. Видалені волокна та волокнистий пил упаковуються у поліетиленові мішки, що запаюються, і використовуються частково як сировина для вакуум-формованої продукції або в альтернативних процесах переробки матеріалів.

У результаті процесу пом'якшення зменшуються викиди пилу, що утворюються під час зшивання полотна/мата у голкопробивну тканину. Пил, що утворюється на голкопробивній машині, відсмоктується безпосередньо з машин. Відсмоктане повітря очищається у фільтрах-сепараторах. Перед подальшою обробкою голкопробивне полотно зазнає термічної обробки для видалення органічного пом'якшувача. Відходи та смужки, утворені під час обрізання країв, та весь утворений пил відсмоктуються вакуумом, подаються в рукавний фільтр у замкненій системі, а потім упаковуються в поліетиленові (ПЕ) мішки як продукція. Перед упакуванням голкопробивне полотно проходить через зону охолодження, у якій мат охолоджується шляхом всмоктування крізь нього навколишнього повітря. Весь пил, утворений у цьому процесі, уловлюється фільтрувальними сепараторами. Матеріал, видалений у всіх системах, використовується у якості сировини для виготовлення вакуум-формованих деталей або картону.

Усі ділянки, на яких можуть утворюватися викиди твердих часток або волокнистого пилу, можуть обслуговуватися ефективною витяжною системою, яка пропускає повітря крізь систему рукавного фільтра. За допомогою добре спроектованої первинної фільтрувальної системи, яка ефективно експлуатується, можна досягти рівнів викидів у діапазоні $1 - 5 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ ($<1 \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ для волокон).

Якщо у процесі використовуються фільтри попереднього очищення, то у якості запобіжного засобу передбачається той чи інший пристрій контролю розриву мішка. Багато заводів оснащені засобами моніторингу перепаду тиску з аварійною сигналізацією, проте не можна покладатися лише на них.

Найкращим варіантом зазвичай є системи фільтрів з витяжним вентилятором, встановлені з чистого боку рукавного фільтра (системи з від'ємним тиском). Системи з надлишковим тиском, у яких вентилятор встановлений з боку неочищеного потоку, може призвести до витоків у систему, розташовану за вентилятором, а відтак до викиду матеріалу.

Цикли очищення рукавних фільтрів можна оптимізувати, щоб забезпечити максимальну ефективність фільтрування. У деяких випадках застосування, особливо у разі роботи з волокнистими викидами, струшувальні механізми можуть бути більш ефективними, ніж системи зі зворотним потоком. З огляду на характер зібраних матеріалів, важливо забезпечити його транспортування та утилізацію таким чином, щоб не допустити жодних викидів у повітря або в воду. У деяких випадках зібраний матеріал можливо переробити в печі.

Органічні викиди можуть утворюватися під час вигорання мастила або в результаті операцій стверджування чи сушіння під час додаткової обробки. Досвід експлуатації показує, що ці викиди в більшості випадків дуже низькі. Проте, якщо викиди суттєві (наприклад, $>100 \text{ г/год.}$), їх можна контролювати за допомогою первинних заходів з коригування рецептури або за допомогою вторинних технологій зниження викидів – наприклад, спалювання або абсорбції.

4.5.8 Фрити

У виробництві фрит операції подальшої обробки не створюють жодних суттєвих специфічних викидів у повітря. Розмелювання та роздрібнення продукції зазвичай здійснюється мокрим способом, проте у разі сухого помелу, який потенційно може здійснюватися в зонах пакування сухої продукції, може бути необхідно вживати заходів з контролю пилу. Найбільш ефективною технологією, найімовірніше, буде відведення витяжною системою у систему рукавних фільтрів.

4.6 Технології контролю викидів у воду

У цілому, викиди у воду порівняно низькі, і у цій сфері існує мало серйозних проблем, специфічних для скляної промисловості. У цьому документі не розглядаються ті загальні питання забруднення води, які є спільними для багатьох промислових процесів і у всіх подробицях розглядаються в технічній літературі. У цьому розділі стисло підсумовані загальні питання і, коли це доцільно, наведена додаткова інформація про ті питання, які є специфічними для скляної промисловості. Вода загалом використовується головним чином для очищення та охолодження, і її можна легко переробити або очистити за допомогою стандартних технологій. Основними потенційними джерелами забруднення води перелічені нижче:

- поверхневі водні стоки;
- пролита рідина або витоки зі сховищ сировини;
- дренажні води з ділянок, забруднених рідкими чи твердими матеріалами;
- вода, що використовується для очищення продукції;
- охолоджувальна вода та продувки охолоджувальної води з систем, що працюють з замкненим контуром;
- стоки з мокрих скруберів.

За винятком побутових стічних вод, скиди зазвичай містять лише тверді частки скла, деяку кількість масляних забруднень, деякі розчинні склоутворювальні матеріали (наприклад, сульфат натрію) та хімічні речовини від підготовки води для системи охолоджувальної води. У випадках, коли використовуються будь-які потенційно шкідливі матеріали, можна вжити заходів для запобігання їх потраплянню у водний контур. Завжди, коли це можливо, слід використовувати замкнені водяні системи і мінімізувати об'єм продувки. Для додаткового зниження викидів за необхідності можна застосовувати стандартні технології контролю забруднень: наприклад, відстоювання, проціджування, використання масляних сепараторів, нейтралізація та скидання у мережі комунально-побутових стічних вод.

Для контролю викидів зі сховищ рідкої сировини та проміжних продуктів можна використовувати стандартні технології, передбачені належними практиками виконання робіт, такі як:

- влаштування рубежів локалізації належного розміру (обвалування);
- огляд/випробування баків та обвалування з метою перевірки їх цілісності;
- захист від переповнення (відсічні клапани, аварійна сигналізація, тощо);
- розташування вентиляційних каналів та заправних пунктів у межах обвалування чи іншого рубежу локалізації.

Як правило, моніторинг викидів у воду здійснюється за усередненими пробами, відібраними за період у дві години або добу (у деяких країнах-членах ЄС контрольним значенням є середньодобове значення, розраховане за чотирма або п'ятьма пробами). Також поширені безперервні вимірювання рН та температурами.

Специфічними для скляної промисловості вважаються такі питання:

- системи технологічної води у виробництві мінеральної вати;
- стоки з виробництв скловолокна з безперервних ниток;
- спеціальне скло (скло для телевізорів);
- сортове скло (свинцевий кришталь, кришталеве скло);
- охолодження фрит (охолодження водою та контури помелу).

Мінеральна вата

Процеси виробництва мінеральної вати за нормальних обставин є кінцевими споживачами води, у яких із зони формування та, меншою мірою, від операцій стверджування викидаються значні об'єми водяної пари. У цих процесах немає характерних скидів стічних вод, окрім згаданих вище загальних питань. У більшості процесів використовується система технологічної води з замкненим контуром (див. Рисунок 2.11), і, коли це можливо, продувки охолоджувальної води та очисні води. Технологічні очисні води та пролиті в'язучі речовини зазвичай рециркулюють у контур технологічної води.

Система технологічної води має обмежений об'єм, проте у її конструкції можна

передбачити збиральний бак, у які можна помістити надлишки об'єму, котрі потім можна випустити назад у систему. Більшість матеріалів, що використовуються у технологічному процесі, сумісні з хімічним складом технологічної води. Невеликі об'єми забруднених стічних вод можуть утворюватися в обвалуванні резервуарів для хімічних речовин, у результаті пролиття рідин та у масловловлювачах. Якщо ці матеріали несумісні з системою технологічної води, їх можна відвести у збиральний бак. Оскільки об'єми цих матеріалів дуже малі, вони зазвичай скидаються у комунально-побутову каналізацію або вивозяться для утилізації за межами об'єкта. Можна використовувати технології, перелічені у Таблиці 4.42, проте вони навряд чи будуть економічно вигідними для таких малих об'ємів.

Великий об'єм системи технологічної води потенційно може призвести до забруднення контурів чистої води, такої як поверхневі води та вода для швидкого охолодження скляного бою. Системи можна спроектувати і експлуатувати таким чином, щоб мінімізувати цей ризик. Наприклад, системи чистої води слід герметизувати в місцях їх проходження через ділянки, де можливе забруднення.

Для розкладання органічних сполук, утворених у результаті нанесення в'язучої речовини, у секторі мінеральної вати можна використовувати таку технологію, як біологічне очищення. Біоскрубери з використанням бактерій та промивальні башти зменшують кількість органічних забруднюючих речовин у технологічних водах. (Див. Таблицю 4.36 у розділі 4.5.6.1.3).

Скловолокло з безперервних ниток

Викиди утворюються в зоні формування, у процесах приготування в'язучої речовини, очищення, охолодження, нанесення в'язучої речовини на тканину/мати та у системах водного очищення газів. Основним джерелом викидів є зона формування. Через високу частоту обертання мотальних пристроїв та рух ниток у процесі формування деяка частка нанесеної в'язучої речовини розкидається і витискається. Основними забруднюючими речовинами у неочищених стічних водах є самі в'язучі матеріали. За допомогою процедур обережного поводження, особливо в зоні приготування в'язучої речовини, можна значно знизити рівні викидів від процесів виробництва загалом.

Забруднюючі сполуки та їх концентрації досить широко різняться через відмінності у системах в'язучих речовин та практиках виконання робіт. Концентрації забруднюючих речовин у стічних водах іноді досить низькі внаслідок розбавлення змивальною водою, проте стічні води зазвичай містять велику кількість органічних забруднюючих речовин, що утворилися з в'язучих матеріалів. Стоки зазвичай потребують очищення шляхом їх скидання у комунально-побутову каналізацію або шляхом їх очищення на об'єкті за допомогою належного поєднання технологій, перелічених у Таблиці 4.42. Якщо стоки будуть скидатися безпосередньо у водотік, найбільш ефективним способом очищення на об'єкті, найімовірніше, буде біологічне очищення. Проте очисну систему необхідно ретельно спроектувати і експлуатувати, оскільки низькі концентрації та великі частки полімерних сполук іноді можуть знижувати ефективність біологічного очищення.

Спеціальне скло

Сектор спеціального скла дуже розмаїтий, тому для нього неможливо визначити всі можливі викиди у воду та належні технології зниження викидів. Для більшості видів діяльності у цьому секторі характерні лише викладені вище загальні питання, пов'язані зі стічними водами. Проте при виготовленні певної продукції, особливо скла для телевізорів та оптичного скла, застосовуються операції мокрого шліфування та полірування. Внаслідок цього утворюється водний потік, що містить засоби для шліфування та полірування (наприклад, оксид церію, карбід кремнію) і дрібні осколки скла, що можуть містити свинець. Цей потік відходів можна очистити за допомогою поєднання стандартних технологій видалення твердих часток, перелічених у Таблиці 4.42 нижче. Свинець у склі практично нерозчинний, і загальний вміст свинцю залежить від вмісту твердих часток.

Сортове скло

У цілому, сектор сортового скла створює дуже мало викидів у воду. Як і в інших секторах цієї галузі, вода використовується головним чином з метою охолодження та очищення, а водянні викиди складаються з продувок систем охолоджувальної води, очисних вод та поверхневих водних стоків. Проте з певними видами діяльності – зокрема, з виробництвом свинцевого кришталю та кришталевого скла – пов'язані більш специфічні викиди.

- Вода, використана в операціях різання, містить засоби для різання і певну кількість дрібних осколків скла. Цей вид стоків можна очистити за допомогою стандартних технологій відділення твердих часток. Воду можна повторно використати для різання, щоб мінімізувати рівні викидів, хоча невеликий її об'єм доведеться злити з контуру. Сvineць, що міститься у склі, практично нерозчинний.
- У випадку кислотного полірування після занурення скла у кислоту на його поверхні утворюється шар сульфату свинцю. Цей шар змивається гарячою водою, яка стає кислою і може містити розчинний сульфат свинцю. Цей вид стоків можна очистити за допомогою поєднання хімічних і фізичних технологій. Щоб виділити свинець в осад, до сульфату свинцю можна додати речовину, з якою він прореагує (наприклад, карбонат кальцію для отримання карбонату свинцю); після цього осад можна видалити – зазвичай за допомогою коагуляції та флокуляції з наступним фізичним відділенням. За допомогою цих технологій рівні свинцю повинні знижуватися до <0,5 мг/л.
- Кислотні відходи з мокрих скрубєрів потрібно нейтралізувати перед скиданням. Як варіант, кремнійфтористоводневу кислоту можна регенерувати і збути як хімічну початкову сировину. Для видалення фторидів, утворених з розчину фтороводневої кислоти, що використовується для полірування, можна додати до кислотних вод карбонат кальцію (див. розділ 3.6.2.3).

Перелік технологій, які можна використовувати для очищення стічних вод, наведено у Таблиці 4.42.

Таблиця 4.42. Перелік технологій очищення стічних вод, які потенційно можуть використовуватися у скляній промисловості

Фізичне/хімічне очищення <ul style="list-style-type: none"> • проціджування • зняття забруднень з поверхні води • відстоювання • центрифугування • фільтрація 	<ul style="list-style-type: none"> • нейтралізація • аерація • осадження • коагуляція та флокуляція
Біологічне осадження <ul style="list-style-type: none"> • активований мул • біофільтрація 	

Фрити

Викиди у воду складаються з викидів від штатних операцій охолодження та очищення, а також поверхневих стоків. Контури швидкого охолодження та помелу зазвичай замкнені, з підживленням свіжою водою, проте іноді передбачене їх продування для запобігання накопиченню солей. Рівні викидів дуже низькі, проте викиди можуть містити зважені тверді частки, серед які можуть бути деякі елементи, що можуть обумовлювати необхідність в очищенні води на місці, аби цю воду можна було повторно використати в інших експлуатаційних процесах. Ці елементи зазвичай зв'язані у зважених твердих частках, і їх можна видалити за допомогою технологій відділення твердих часток. У випадку бору параметр його вмісту у продутій воді може бути вищим, ніж стандартні значення в інших секторах скляної промисловості, тож може бути потрібно застосовувати інші обробні розчини [98, ANFFEC, Становище сектора виробництва фрит, 2005].

4.7 Технології мінімізації утворення інших відходів

Особливістю скляної промисловості є те, що у ході більшості видів діяльності утворюється порівняно мала кількість твердих відходів. У більшості процесів немає суттєвих характерних потоків побічних продуктів. Залишки технологічного процесу складаються з невикористаної сировини та відходів скла, не перетворених у продукцію. Нижче розглядаються основні залишки технологічних процесів, що трапляються у скляній промисловості, та технології, що використовуються для їх контролю.

Відходи матеріалів шихти

Відходи матеріалів шихти утворюються під час транспортування та зберігання матеріалів, і, якщо це дозволяють вимоги до якості, їх можна легко переробити у технологічному процесі. У випадках, коли виникли нашарування матеріалу, він може бути недостатньо чистим для переробки, проте кількість матеріалу цього типу можна мінімізувати за допомогою технологій, описаних у розділі 4.3.

Пил, уловлений з потоків відхідних газів

Пил, уловлений з потоків відхідних газів, у більшості випадків можна переробити у технологічному процесі в межах виробництва. Повернений у процес відфільтрований пил діє як замітник сірковмісної свіжої сировини на виробництвах скла, де у якості освітлювача використовуються сульфати. У випадках, коли використовуються абсорбенти кислотних газів, їх зазвичай можна підібрати таким чином, щоб вони були сумісними з сировиною, і їх можна було переробляти, хоча для цього може бути потрібно скоригувати склад шихти. Це питання докладніше розглядається у розділі 4.4.1.

Використання відфільтрованого пилу в рецептурі шихти може створити проблеми у довготерміновій перспективі внаслідок винесення та можливої корозії вогнетривких матеріалів, а також проблеми у короткотерміновій перспективі, пов'язані з накопиченням парів сірки та NaCl у димових газах.

У регенеративних печах значна кількість пилу відкладається у регенераторах під час кампанії печі. Під час капітального/поточного ремонту цей матеріал виймається і захоронюється на полігоні, який має належну ліцензію. Переробити цей матеріал зазвичай неможливо.

Розплав, не перетворений у продукцію

Цей потік відходів утворюється головним чином внаслідок переривання процесів формування – внаслідок несправностей або переходів на інший вид продукції. Найбільш поширена і ефективна технологія полягає в тому, щоб охолодити і розбити розплав у воді, а потім використати отриманий таким чином скляний бій безпосередньо як сировину. Є кілька прикладів, коли це неможливо або не практикується. Весь брак тарного скла, як правило, можна переплавити. Основним винятком є випадок, коли скло забруднене – наприклад, керамічними домішками з джерел привізного скляного бою.

У процесі виробництва флоат-скла перебої у виробництві зазвичай трапляються після флоат-ванни, тож відходи – це зазвичай тверде скло, яке також можна розбити і переробити як скляний бій. Аналогічним чином, у виробництві скловолокна з безперервних ниток перебої зазвичай трапляються після формування волокна, і відходами є волокно. Ще одним джерелом відходів цього типу є стоки скла, які утворюються при відведенні потоку розплавленої скломаси з дна каналу для видалення нерозплавлених часток більшої густини. Якщо ці частки не видалити, через них можуть виникнути проблеми з волокноутворенням, а це може призвести до пошкодження дорогого обладнання та збільшення кількості відходів. Цей матеріал зазвичай небажано переробляти на самому виробництві, оскільки при цьому у піч повертаються відділені домішки, які знову потечуть у фільтри. Це може призвести до поступового накопичення непридатного до плавлення матеріалу і потенційного збільшення кількості відходів внаслідок проблем з волокноутворенням. У деяких випадках цей матеріал можна переробити в інших секторах скляної промисловості.

У виробництві ВГІВ немає особливого фінансового стимулу переробляти відходи розплаву, проте, оскільки вартість захоронення відходів та сировини зростає, у секторі все ж спостерігається тенденція до переробки якомога більшої кількості відходів.

У виробництві кам'яної вати дрібнозернисті матеріали не можна переробляти у вагранці, інакше вони порушують потік повітря у шарі матеріалу. Цю проблему можна подолати

шляхом брикетування відходів: таким чином можна отримати шматки, сумірні зі стандартними шматками сировини. Ця технологія зараз широко використовується і може вважатися перевіреною як економічно, так і технічно, хоча її економічні показники різняться залежно від масштабу виробництва. Корольок кам'яного волокна (частки, які не перетворилися у волокно) можна переробити таким же чином (див. розділ 3.8.4).

Відходи продукції

До цієї категорії належать матеріали, які виявилися невідповідними технічним умовам, обрізки країв, відходи продукції, що утворилися внаслідок переходу на інший вид продукції, розбита продукція та зразки, відібрані для оцінки якості. Завжди, коли це можливо, краще вжити заходів для мінімізації утворення цього типу відходів, аніж їх переробляти; наприклад, обрізки країв можна зменшити до мінімальної ширини. Ці заходи зазвичай також дають економічну вигоду.

«Тверді» відходи – наприклад, обрізки країв плоского скла та брак тарного скла – легко переробляються як скляний бій після дроблення. На деяких установках цього можуть не робити через відмінності в рецептурі продукції або просто тому, що це не вважається економічно вигідним. Теоретично, таким чином можна переробити всі «тверді» відходи скла, за винятком дуже забрудненого скла або скляного браку з великими дефектами (камінці, свиль), які потрібно викинути.

У секторі мінеральної вати такі відходи продукції волокнисті, і їх неможливо переробити безпосередньо в печі. Рішення полягає в тому, щоб роздрібнити або розмолоти цей матеріал, а потім переробити його як порошок у ванних печах або, за допомогою процесу брикетування, у вагранках для виробництва кам'яної вати. Хоча ця технологія здається простою за своєю суттю, вона доволі дорога і лише недавно стала рентабельною через збільшення вартості захоронення відходів. На час укладання цього документа (2010 рік) ця технологія не набула широкого вжитку. Ще однією проблемою у виробництві скловати є вміст органічних речовин у матеріалі, які необхідно окислити у печі. Для цього зазвичай потрібно використовувати збільшену кількість нітратів, які розкладаються з виділенням NO_x , та іноді MnO_2 , котрий також використовується як окиснювач. Завжди, коли це можливо, волокнисті відходи обробляються і збуваються як роздута вата. Відходи обрізання країв зазвичай подрібнюються і переробляються шляхом повернення безпосередньо у волоконну вуаль. Кількість відходів, які можна переробити таким чином, обмежена (лише обрізки країв), і це зазвичай неможливо, якщо продукція повинна мати високу міцність.

Для волокнистих відходів із сектора ВТІВ характерні ті ж самі проблеми, що й для мінеральної вати. У цьому секторі переробляється все більше волокнистих відходів, і робота над цією проблемою триває.

У виробництві скловолокна з безперервних ниток висуваються дуже жорсткі вимоги до якості, і на час укладання цього документа (2010 рік) не було відомо повномасштабних прикладів безпосередньої переробки відходів волокна в печі. Ця проблема, вочевидь, пов'язана з присутністю органічних компонентів у волокні та особливостями транспортування волокнистих матеріалів.

Тверді відходи з систем стічних вод

Відходи, відділені з систем технологічної води, як правило, не переробляються і захоронюються на полігоні. У деяких секторах, особливо у секторі сортового скла (шлам від різання свинцевого кришталю), реалізуються ініціативи щодо регенерації та відновлення цінності цих потоків відходів. У більшості секторів регенерувати ці відходи фінансово недоцільно – через їх малі об'єми або через їх непередбачуваний склад / забрудненість.

У секторі тарного скла відходи з систем охолоджувальної води часто переробляються на самому виробництві (дрібні осколки скла, змішані з маслом).

Попередня обробка відходів виробів, використаних споживачем, – наприклад, з контейнерів для збору склотари – не розглядається у цьому розділі, оскільки ці відходи не є потоком технологічних відходів, а отже, не підпадають у цьому сенсі під зміст Директиви. Проте переробка скляного бою все ж має важливі наслідки для технологічного процесу і розглядається у розділах 4.4 та 4.8. Крім того, на додачу до зниження питомого споживання енергії у процесі варіння скла, ця практика зменшує споживання свіжої сировини, що є сприятливим чинником у рамках Директиви.

4.8 Енергія

Виробництво скла – це дуже енергоємний процес, і вибір джерела енергії, технології нагрівання та методу використання відхідного тепла має центральне значення для конструкції печі та для економічних показників процесу. Вибір цих же особливостей також є невід’ємною складовою деяких із найважливіших чинників, що впливають на екологічні показники та енергоефективність операції варіння скла. У цілому, енергія, необхідна для варіння скла, може становити понад 75 % загальної енергії, потрібної для виробництва скла, і в середньому, з урахуванням усіх секторів скляної промисловості, становить близько 65 % від загальної підведеної енергії. Зазначені вище відсотки стосуються енергії в місці використання без приведення до первинної енергії (див. розділ 3.2.3).

Типові значення, яких вдається досягти шляхом застосування доступних технологій/заходів для мінімізації питомого споживання енергії, наведені у Таблиці 4.43, у якій дані, представлені для різних секторів скляної промисловості, визначені за зведеними статистичними даними, повідомленими у частині 3 (наприклад, для тарного скла використано нижній 50-ий перцентиль зведених даних), та за значеннями для прикладів установок.

Таблиця 4.43. Типові значення питомого споживання енергії, яких вдається досягти шляхом застосування доступних технологій/заходів для мінімізації споживання енергії

Сектор	Тип/потужність печі	ГДж/тонну звареного скла (1)	ГДж/тонну готової продукції (2)
Тарне скло			
Пляшки та банки	<100 т/добу	5,5 – 7	<7,7
	>100 т/добу	3,3 – 4,6	
	Електричні печі	2,9 – 3,6	
Флаконна продукція	<100 т/добу	7 – 9	<16
	>100 т/добу	4,8 – 6	
Плоске скло			
	Усі потужності	5 – 7	<8
Скловолокно з безперервних ниток			
	Усі потужності	7 – 14	<20
Сортове скло			
	Традиційні печі		<24 для потужностей <100 т/добу (3)
	<100 т/добу (3)	6,7 – 9,5	<18 для потужностей >100 т/добу
	>100 т/добу	5 – 6	
	Електричні печі (4)	3,4 – 4,3	
Спеціальне скло			
Усі види продукції	Електричні печі (4)	3,9 – 4,5	<20
Вапняно-натрієве скло	Традиційні печі	5 – 10	
Боросилікатне скло		10 – 15	
Мінеральна вата			
Скловата	Усі потужності	2,7 – 5,5	<14
Кам'яна вата	Усі потужності	4,2 – 10	<12
Високотемпературне ізоляційне волокно			
	Усі потужності	6,5 – 16,5	<20
Фрити			
	Киснево-паливні печі	≤9	
	Повітряно-паливні печі та повітряно-паливні печі зі збагаченням киснем	≤13	

(1) Дані означають споживання енергії піччю.

(2) Дані означають загальне споживання енергії установкою.

(3) Значення вказані без урахування установок, обладнаних горшковими печами або ванними печами періодичної дії, споживання енергії якими у процесі варіння скла може становити 10 – 30 ГДж/тонну звареного скла.

(4) Повідомлені дані стосуються енергії в місці використання без приведення до первинної енергії.

⁽¹⁾ Дані означають споживання енергії піччю.

⁽²⁾ Дані означають загальне споживання енергії установкою.

⁽³⁾ Значення вказані без урахування установок, обладнаних горшковими печами або ванними печами періодичної дії, споживання енергії якими у процесі варіння скла може становити 10 – 30 ГДж/тонну звареного скла.

⁽⁴⁾ Повідомлені дані стосуються енергії в місці використання без приведення до первинної енергії.

Значення, повідомлені у Таблиці 4.43, є орієнтовними цифрами для конкретних секторів; проте вони можуть не охоплювати весь діапазон умов експлуатації скляної печі і всіх операцій подальшої обробки, пов'язаних з конкретним видом скляної продукції. Насправді, частка скляного бою у рецептурі шихти, вимоги до якості скляного розплаву та коефіцієнт готової до упаковки продукції можуть суттєво різнитися в межах кожного сектору, а це, відповідно, впливатиме на питоме споживання енергії. Приведення представлених значень до первинної енергії (тобто для електричного варіння скла, електричного форсування, киснево-паливного варіння скла) також може суттєво вплинути на рівні питомого споживання енергії.

Вартість енергії, що витрачається на варіння скла, є одним із найвагоміших чинників, що впливають на експлуатаційні витрати установок з виробництва скла, і для операторів є значний стимул до зниження споживання енергії. Економічні заощадження традиційно заохочували операторів впроваджувати технології заощадження енергії, проте останнім часом більшого значення набули екологічні аспекти споживання енергії. У печах, що працюють на викопному паливі, споживання енергії також впливає на безпосередні та опосередковані викиди в перерахунку на тону скла тих речовин, які безпосередньо пов'язані з кількістю спаленого викопного палива, особливо CO_2 , SO_2 та NO_x . Ці питання розглядаються у розділах цієї частини, присвячених конкретним речовинам.

Споживання енергії та основні чинники, що впливають на енергоефективність, розглядаються у частині 3, де наведені дані про питоме споживання енергії для кожного сектора скляної промисловості. У цьому розділі розглядаються технології підвищення ККД печі.

4.8.1 Технології варіння скла і конструкція печі

[19, CPIV, 1998], [6, Управління з енергоефективності Великої Британії (ЕЕО), 1995], [15, ETSU, 1992]

Вибір технології варіння скла може суттєво вплинути на енергоефективність. Цей вибір великою мірою визначається рядом економічних міркувань. Основним чинником є бажана продуктивність і супутні капітальні та експлуатаційні витрати за термін служби печі. Важливим аспектом експлуатаційних витрат є споживання енергії, і, як правило, оператор вибирає найбільш енергоефективну конструкцію з можливих.

У традиційних печах, що працюють на викопному паливі, конструкції печей відрізняються головним чином тим, як влаштована система використання відхідного тепла: на основі регенераторів чи рекуператора. Відмінності у конструкції та роботі розглядаються у частині 2. Одним із основних чинників вибору є розмір печі: це питання докладніше розглядається у розділі 4.2.

У регенеративних печах досягається вища температура підігрівання повітря, що подається для згорання, газоподібними продуктами згорання – до 1300 – 1400 °C, у той час як для рекуперативних печей ця температура становить максимум 750 – 800 °C, тож регенеративні печі забезпечують кращу ефективність варіння скла. Оскільки регенеративні печі загалом більші, вони також більш енергоефективні, ніж менші рекуперативні печі. Це зумовлено тим, що втрати через конструкцію обернено пропорційні розміру печі – головним чином тому, що змінюється відношення площі поверхні до об'єму. Сучасна регенеративна піч для виробництва тарного скла має загальний термічний ККД близько 50 %; втрати тепла з відхідними газами складають близько 25 – 35 % (близько 14 – 20 %, якщо використовується підігрівання шихти і скляного бою), а переважна більшість решти витрат припадає на втрати через конструкцію. Термічний ККД рекуперативної печі без додаткового використання відхідного тепла буде ближчим до 20 – 30 %.

Регенеративні печі можуть бути виконані з підковоподібним полум'ям або з поперечним полум'ям. Печі з підковоподібним полум'ям теоретично мають більший термічний ККД (на величину до 10 %), проте в них більш обмежені можливості регулювання температури, і розмір печі обмежений максимальним граничним значенням (на сьогодні – близько 150 м² для тарного скла). У цілому, спосіб експлуатації печі має більше значення для енергоефективності, ніж тип печі (з підковоподібним полум'ям або з поперечним полум'ям). Печі для виробництва флоат-скла, столового посуду та флаконної продукції (для парфумів та косметики класу люкс) менш ефективні, ніж печі для виробництва

флоат-скла, оскільки в них набагато менше питоме знімання скломаси з огляду на вимоги до якості та/або хімічний процес освітлення.

Енергію, яку повертають регенератори, можна максимізувати шляхом використання більшої кількості вогнетривкої цегли. На практиці це можна реалізувати у вигляді збільшених регенераційних камер або окремих, але з'єднаних конструкцій, які позначаються терміном «багатопрохідні регенератори». Згідно з законом спадної віддачі, ККД регенератора асимптотично наближається до його максимального граничного значення. Принциповими обмеженнями є вартість додаткової вогнетривкої цегли і, у випадку існуючих печей, обмеженість доступної виробничої площі та додаткові витрати на модифікацію інфраструктури печі. Цей принцип частіше застосовується до печей з підковоподібним полум'ям, оскільки в них використовуються регенератори з простою геометрією, проте є випадки його застосування і в печах з поперечним полум'ям. Конструкції регенератора в існуючих печах можна регенерувати (якщо це технічно доцільно і рентабельно за даного компонування заводу) лише під час реконструкції печі. На початку кампанії регенераторів споживання енергії може зменшитися на величину до 15 % у порівнянні з еквівалентною піччю, обладнаною типовими однопрохідними регенераторами, залежно від розміру початкового однопрохідного регенератора. З іншого боку, використання багатопрохідних регенераторів потенційно може призвести до проблем з конденсацією, у результаті чого насадки регенератора потрібно буде чистити, а енергоефективність зменшиться. У сучасних печах, обладнаних однопрохідними регенераторами, ефективність використання відхідного тепла близька до 65 %. У цих випадках використання багатопрохідних регенераторів не призведе до суттєвого покращення енергоефективності печі.

Єдиним несприятливим наслідком збільшеного об'єму вогнетривких матеріалів є те, що їх потрібно утилізувати після завершення терміну служби печі. Цей несприятливий наслідок обмежений, оскільки значна частка додаткової вогнетривкої цегли витримує дві і більше кампаній печі, а крім того, існують і будуть далі розроблятися рішення з переробки цих матеріалів. Хоча збільшення температури підігрівання в печах, обладнаних багатопрохідними регенераторами, потенційно є чинником, який може призвести до збільшення температури полум'я, а відтак до посиленого утворення NO_x , на практиці в цих печах не спостерігається високих рівнів NO_x , якщо вживається належних заходів зі зниження цих рівнів у місці їх утворення.

Існують різноманітні матеріали, які можна використовувати як акумулятори тепла та насадки у регенераторах. Найпростіше рішення полягає в тому, щоб розташувати вогнетривку цеглу у вигляді розімкненого рисунка або в шаховому порядку: ККД такого регенератора зазвичай складе 50 % або більше (відношення теплоти, відібраної повітрям, до теплоти, що міститься у відхідних газах). Однак теплообмін можна покращити, використовуючи для насадок матеріали спеціальної форми. Наприклад, плавлено-литі ребристі хрестовини покращають ефективність теплообміну у порівнянні з насадками, виготовленими із стандартної цегли. Вплив вогнетривкої цегли цього типу на споживання енергії залежить від початкових умов та розміру регенератора; повідомлялося про заощадження палива у розмірі близько 7 %. Крім того, ці матеріали дуже стійкі до агресивного хімічного впливу летких сполук, присутніх у потоці відхідних газів, і їх робочі характеристики набагато менше погіршуються внаслідок старіння упродовж кампанії (у порівнянні з цеглою). Наразі (станом на 2010 рік), якщо у регенераторі встановлюються хрестоподібні елементи, їх прийнято робити ребристими.

Максимальний теоретичний ККД регенератора становить близько 77 %, оскільки маса відхідних газів, що виходять з печі, перевищує масу вхідного повітря, що подається для згорання, і теплоємність вихлопних газів перевищує теплоємність повітря, що подається для згорання. З практичної точки зору, ККД обмежується вартістю, і зі збільшенням розмірів регенераторів все більш суттєвими стають втрати через конструкцію. На практиці важко уявити економічно ефективну конструкцію регенератора з ККД понад 70 %.

Геометрія печей постійно уточнюється для оптимізації теплових течій і теплообміну – як для покращення якості скла, так і для заощадження енергії. Ці розробки часто поєднуються з розробками у системах згорання для зниження викидів та заощадження енергії. Геометрію печі можна змінити лише для нових печей або у ході повного капітального

ремонту, і навіть тоді зміни, які фактично можна внести, будуть обмежені сталевими конструкціями та існуючою інфраструктурою.

Електричне варіння скла – часткове або 100 % – підвищує енергоефективність, якщо розглядати її на рівні об'єкта, проте якщо врахувати ККД виробництва електроенергії та втрати на розподіл електроенергії, то ситуація стає менш очевидною. Ці технології детальніше описані у розділі 4.2. Киснево-паливне варіння скла також може знизити споживання енергії, проте це складна тема, яка детальніше розглядається у розділі 4.4.2.5.

Завдяки розвитку вогнетривких матеріалів за останні десятиріччя стало можливо експлуатувати печі протягом довших кампаній і з вищими ступенями ізоляції. У минулому чинником, який обмежував високий ступінь ізоляції, було обмеження на температуру, яка могла діяти на верхню будову печі. На сьогодні ізоляцію необхідно ретельно проєктувати з урахуванням елемента печі та умов експлуатації (температура, тип скла, тощо). Не всі елементи печі можна ізолювати. Лінію дзеркала скломаси та протік необхідно залишити неізолюваними і охолоджувати для подовження терміну служби печі. Більшість вогнетривких матеріалів, що контактують зі скломасою, та вогнетривких матеріалів верхньої будови виготовлені з плавлено-литих або спечених матеріалів на основі оксиду хрому, які мають дуже велику густину, низьку пористість, і здатні витримувати дію скломаси та легких сполук у верхній будові печі. Вони мають високу теплопровідність і, як правило, потребують хорошої ізоляції, а це суттєво заощаджує енергію. У виробництві вапняно-натрієвого скла склепіння зазвичай динасове і сильно ізольоване. У киснево-паливних печах можна застосовувати інші матеріали (плавлено-литі глиноземні або алюмо-цирконієво-силікатні матеріали), щоб конструкції витримували можливий агресивний вплив лужних парів. У разі використання динасу температура склепіння печі не може перевищувати 1600 – 1620 °C, у той час як інші матеріали, такі як плавлено-литі алюмо-цирконієво-силікатні матеріали, муліт або плавлено-литі глиноземні матеріали, можуть витримувати температури понад 1620 °C. Будь-яке підвищення температури в печі також може несприятливо вплинути на викиди NO_x та викиди, які можуть утворюватися з легких компонентів шихти.

Певні зони печі, у яких ризик пошкодження конструкції низький, можна додатково ізолювати. Ізоляція конструкції регенератора розпиленням волокном може значно зменшити втрати тепла. Ця проста, економічно ефективна технологія може зменшити втрати тепла через конструкцію регенератора на величину до 50 % і забезпечити заощадження енергії в районі 5 %. Її додатковою перевагою є те, що цей матеріал ефективно герметизує всі тріщини у конструкції регенератора, і таким чином зменшить потрапляння всередину холодного повітря та вихід назовні гарячого повітря.

4.8.2 Регулювання згорання та вибір палива

[6, Управління з енергоефективності Великої Британії (ЕЕО), 1995], [15, ETSU, 1992]

У останні десятиріччя основним паливом для виробництва скла був мазут, хоча все більшої популярності набував природний газ. На сьогодні обидва види палива використовуються приблизно однаковою мірою. При спалюванні природного газу утворюється менше викидів SO_x , проте зазвичай утворюється більше викидів NO_x . Це зумовлено тим, що полум'я природного газу випромінює менше енергії, і при спалюванні газу теплоємність димових газів (на ГДж згорання) інша, ніж при спалюванні мазуту. Це призводить до різних втрат тепла навіть за однакової температури димових газів і, як правило, до більшого споживання енергії, яке приблизно на 7 – 8 % вище для природного газу, ніж для мазуту. Проте з накопиченням досвіду спалювання газу стає можливо досягти показників ефективності, все ближчих до тих, що спостерігаються при спалюванні мазуту, хоча у цілому мазутні печі все ще мають більшу енергоефективність. У природного газу більше відношення вмісту водню до вуглецю, і його використання зменшує загальні викиди CO_2 на величину до 25 % для заданого питомого знімання скломаси.

Розробки систем пальників з низьким виходом NO_x також призвели до заощадження енергії. Завдяки зменшенню кількості повітря, що подається для згорання, до рівнів, близьких до стехіометричних, менше енергії втрачається з відхідними газами.

Вдосконалення системи спалювання палива, систем теплообміну та загальних засобів керування технологічним процесом, націлені на зниження рівнів NO_x , у багатьох випадках також призвели до покращення роботи печі та її ККД.

У минулому для покращення енергоефективності та питомого знімання скломаси часто використовувалася технологія збагачення киснем повітря, що подається для згорання. Зменшені об'єми газів та вищі температури полум'я покращують енергоефективність, проте, якщо ця технологія не входить до складу ретельно регульованої системи спалювання палива з загалом низьким виходом NO_x , рівні NO_x можуть суттєво збільшитися. З огляду на ці екологічні проблеми, ця технологія все рідше використовується сама по собі. Проте збагачення киснем часто застосовується у випадках, коли азот відділяється від повітря (для камери з олов'яною ванною у виробництві флоат-скла), і таким чином утворюється збагачене киснем повітря.

4.8.3 Використання скляного бою

[30, Центр знань Infomil, 1998], [15, ETSU, 1992]

Використання скляного бою у скловарній печі може значно знизити споживання енергії і загалом можливе у всіх типах печей, тобто у печах, що працюють на викопному паливі, киснево-паливних печах та печах з електричним нагріванням. У більшості секторів скляної промисловості весь зворотний скляний бій переробляється у штатному порядку. Основними винятками є виробництво скловолокна з безперервних ниток, у якому це не вважається можливим через обмеження, що накладаються на якість, та виробництво фрит (у якому скляний бій як такий не утворюється). У секторі виробництва кам'яної вати корольок та спрямований в обхід розплав переробляються лише в тому разі, якщо використовується процес брикетування (див. розділ 3.8.4). Базова частка зворотного скляного бою в шихті зазвичай знаходиться в межах 10 – 25 %.

Для плавлення скляного бою потрібно менше енергії, ніж для сировинних компонентів, оскільки в ньому вже завершилися ендотермічні хімічні реакції, пов'язані з утворенням скла, і його маса приблизно на 20 % менша, ніж маса еквівалентних матеріалів шихти. Тому шляхом збільшення частки скляного бою в шихті потенційно можна заощадити енергію, і, як правило, кожні додаткові 10 % скляного бою знижують споживання енергії піччю на 2,5 – 3,0 %. Використання скляного бою зазвичай суттєво зменшує витрати, оскільки зменшує потребу як в енергії, так і в сировині. Однак ціна на скляний бій помітно зростає, і він стає все менш доступним, тому використання скляного бою не завжди економічно вигідне.

Слід розрізняти зворотний скляний бій (скляний брак з виробничої лінії) та привізний скляний бій (скло з виробів, використаних споживачем, від споживачів або зовнішніх промислових джерел). Склад привізного скляного бою не визначений точно, і це обмежує його застосування. Використання скляного бою у рецептурі шихти часто обмежене з міркувань якості, оскільки скляний бій містить забруднення, які важко виявити і видалити. Це особливо характерно для виробництв тарного скла класу люкс (пляшки чи флакони з екстра-флінту для парфумів та косметики), столового посуду, спеціального скла та плоского скла, на яких високі вимоги до якості кінцевого продукту накладають обмеження на використання привізного скляного бою. Проте у секторі тарного скла виробництва мають унікальну можливість у значних кількостях використовувати скляний бій відмінного складу, зібраного у рамках програм переробки пляшок. Переробка скляного бою регламентується європейським законодавством – зокрема, Директиви 94/62/ЕС, яка встановлює цільові показники для переробки відходів упаковки. На час укладання цього документа (2010 рік) у всій галузі, окрім регіонів, де впроваджені спеціальні програми, використання значної кількості привізного скляного бою характерне лише для сектора тарного скла та для деяких напрямків сектора мінеральної вати, особливо для виробництва скловати. Хоча сектор тарного скла є основним споживачем привізного скляного бою, вимоги споживачів до високої якості деяких кінцевих скляних продуктів (пляшки з екстра-флінту, флакони для парфумів та косметики) не завжди сумісні з якістю доступного скляного бою з огляду на вміст домішок у ньому, внаслідок чого його у рецептурі шихти використовується менша його кількість. Скляний бій виробів, використаних споживачем, потребує витратної обробки – лише після цього він стає придатним до використання у якості сировини для виробництва скла. У секторах скляної промисловості з жорсткішими вимогами до якості або низькою доступністю привізного скляного бою (наприклад, у секторі плоского скла) виробництва можуть намагатися укладати договори з великими споживачами на переробку скляних відходів, які ті виробляють.

Частка скляного бою, що використовується у виробництві тарного скла, варіюється від <20 до >90 %, а середнє значення по ЄС знаходиться в районі 50 %.

Ступені переробки у різних країнах-членах ЄС дуже різняться, залежно від програм поводження з матеріалами, що організовують збір скляних виробів, використаних споживачем.

У секторі сортового скла привізний бій зазвичай не використовується у технологічному процесі з міркувань якості. Використання зворотного скляного бою обмежене доступністю скляного бою належної якості та складу. У цілому, середня частка зворотного скляного бою, що використовується, становить близько 25 % для вапняно-натрієвої продукції, хоча, залежно від типу виробів, що виготовляється, це значення може досягати аж 50 %; у виробництві свинцевого кришталю, як правило, використовується у середньому 35 % зворотного скляного бою.

У виробництві флінту (безбарвного скла) допускається лише дуже мала частка кольорового скляного бою, оскільки кольорове скло неможливо знебарвити. Тому для максимального збільшення переробки необхідні схеми переробки з окремим збором скла за основними кольорами або, як варіант, з сортуванням зібраного разом скляного бою за кольорами. У цілому, на всій території ЄС є великі можливості постачання змішаного кольорового, зеленого та коричневого скляного бою. Проте скляний бій флінту зазвичай зустрічається рідше, і через це печі, у яких вариться кольорове скло, працюють з більшими частками скляного бою, особливо у виробництві зеленого скла, в якому можна використовувати суміш скла різних кольорів. У різних країнах-членах ЄС ця ситуація суттєво різниться через регіональні відмінності: наприклад, у Великій Британії це є проблемою, оскільки основну масу виробництва становить флінт, проте значна частина скляного бою кольорова, з імпортованих винних пляшок. Тому у Великій Британії частки скляного бою, що використовуються в печах, у середньому менші.

З точки зору роботи печі, високі частки скляного бою можуть мати й інші переваги, як-от менші викиди твердих часток. Скляний бій легше підігріти, ніж шихту. Також може значно збільшитися вихід продукції з печі, проте у разі роботи з великими частками скляного бою виробник стикається з рядом проблем, таких як перелічені нижче.

- Металеві домішки, такі як кришки пляшок або фольга з винних пляшок, можуть серйозно пошкодити вогнетривкі матеріали і скоротити термін служби печі. Металеві частки осідають на дно печі, де відбувається явище, відоме як «низхідне в'їдання». Метали або краплі металу (особливо свинець), що накопичуються на вогнетривкому піді скарварної печі, в'їдаються у матеріал поду внаслідок розчинення вогнетривкого матеріалу, яке посилюють градієнти поверхневого натягу, що виникають біля самих крапель металу. Забруднення металами, присутність свинцевого кришталю та відновлювальних компонентів у скляному бої можуть призводити до появи дефектів у склі.
- Керамічні вклучення, як-от осколки фаянсу, гончарних виробів та склокераміки, які дуже слабо розчиняються у скляному розплаві, з'являються в кінцевому продукті у вигляді «камінців» або круп, часто непрозорого кольору, у результаті чого продукцію доводиться відбраковувати.
- За високих часток скляного бою може погіршитися регулювання складу, а відтак і фізичних властивостей скляного розплаву, а це може призвести до проблем з якістю кінцевого продукту. Нерівномірний вміст органічної речовини (решток харчових продуктів, паперових етикеток, пластмас) може, зокрема, призвести до проблем зі ступенем окиснення-відновлення, у результаті чого виникнуть труднощі з забарвленням та освітленням скла.
- Алюмінієві кришки та фольга діють як сильні місцеві відновлювачі, під впливом яких кремнезем у склі відновлюється до металевого кремнію (Si). Кремній утворює вклучення у скляній продукції (невеликі крупинки), які значно знижують механічну міцність скла внаслідок напружень, що виникають через велику різницю у коефіцієнтах теплового розширення скла та кремнію.
- Домішки зі скляного бою можуть призводити до викидів у повітря (свинцю, сполук фтору та бору, тощо).

Окрім значного заощадження енергії, якого можна досягти шляхом використання скляного

бою, існує ряд інших важливих супутніх вигод для навколишнього середовища. Завдяки зменшенню споживання палива та нижчим температурам у печі значно знижуються викиди CO_2 , SO_x , NO_x та пилу. Викиди летких сполук також можуть знизитися завдяки зниженню температур. Проте домішки у скляному бої можуть збільшити викиди HCl , HF і металів та SO_x (якщо виготовляється скло з низьким вмістом сірки). Це особливо стосується виробничих ділянок з високими ступенями переробки, де домішки можуть накопичуватися в матеріалі, що переробляється. Багато видів сировини у виробництві скла є карбонатами та сульфатами, з яких при плавленні виділяються CO_2 та SO_x .

Збільшення частки використання скляного бою знижує викиди, що утворюються з цих видів сировини, і зменшує споживання свіжої сировини.

4.8.4 Котел-утилізатор

Принцип цієї технології полягає в тому, щоб пропускати відхідні гази безпосередньо через належний трубний котел для виробництва пари. Пару можна використовувати для обігрівання (для опалення приміщень та обігрівання сховищ мазуту і трубопроводів) або, за допомогою належного парового двигуна чи турбіни, для приведення в дію обладнання, яке виробляє електроенергію, чи заводських агрегатів, таких як повітряних компресорів та вентиляторів секційних склоформувальних машин (IS).

Вхідні гази від регенераторів/рекуператорів зазвичай мають температуру від 600 до 300 °C. Температура на виході визначає доступну теплоту, яку можна регенерувати, і обмежена мінімальним значенням приблизно у 200 °C з огляду на ризик конденсації у котлі та забезпечення належної роботи теплової труби. Труби котла, які контактують з пічними відхідними газами, можуть вкритися сконденсованими матеріалами (наприклад, сульфатом натрію, залежно від складу), і на них можуть утворюватися липкі та корозійно-активні сполуки (наприклад, бісульфат натрію), залежно від температури та складу димових газів, які можуть реагувати з металевою конструкцією труб. Тому труби котла необхідно періодично чистити для підтримання ККД регенерації тепла (це не так важливо для котлів, що працюють за пристроями видалення пилу). Очищення на місці може здійснюватися автоматично паром, механічними способами або шляхом періодичного технічного обслуговування.

Застосовність та економічна доцільність цієї технології залежить від загального ККД, якого можна досягти (включно з ефективним використанням виробленої пари). На практиці котли-утилізатори були передбачені лише для регенерації залишкової теплоти від систем регенераторів або рекуператорів далі по технологічній лінії, і схоже, що існує принаймні два приклади їх застосування з киснево-паливними печами (див. Таблицю 4.18). У багатьох випадках кількість енергії, доступної для регенерації, надто мала для ефективного виробництва електроенергії, і, щоб виробляти перегрітий пар для приведення в дію турбін, може бути потрібно забезпечити додаткове спалювання палива. У випадку рекуперативних печей з вищими температурами відхідних газів або на установках, де можна об'єднати відхідні гази з кількох печей, існує більше можливостей для виробництва електроенергії. Котли-утилізатори використовуються у промисловому масштабі на деяких установках з виробництва тарного скла, проте більшість випадків їх застосування – це печі для виробництва флоат-скла. Котлами-утилізаторами обладнані всі печі для виробництва флоат-скла у Німеччині і багато таких печей в інших країнах-членах ЄС.

Інвестиційні витрати можуть перевищувати 1 мільйон євро з різними періодами окупності, залежно від робочих характеристик та поточних цін на енергію. З огляду на постійні вдосконалення в області первинної енергоефективності, економічна ефективність котлів-утилізаторів зменшується. У деяких випадках застосування їх період окупності може бути не вигідним, проте він різниться залежно від випадку. Процес 3R може допомогти збільшити ефективність існуючих систем котлів-утилізаторів і з великою ймовірністю покращить економічні показники будь-якої нової системи, запропонованої до встановлення. Проте якщо з тієї чи іншої причини встановлення котла-утилізатора вважається недоцільним або економічно не вигідним, реалізація процесу 3R не обов'язково змінить ситуацію.

У Таблиці 4.44 наведені дані щодо прикладів установок, на яких застосовуються котли-утилізатори (теплообмінники), в різних секторах скляної промисловості.

Таблиця 4.44. Приклади установок з котлами-утилізаторами у різних секторах скляної промисловості

Тип скла	Тарне скло	Тарне скло	Плоске скло	Флоат-скло	Спеціальне скло	Спеціальне скло
Тип печей	Киснево-паливні (2 печі)	3 підковоподібним полум'ям, регенеративна	3 поперечним полум'ям, регенеративна	3 поперечним полум'ям, регенеративна	Киснево-паливна	3 поперечним полум'ям, регенеративна
Паливо	Природний газ	Природний газ / мазут	Мазут	Природний газ / мазут	Природний газ	Природний газ / мазут
Потужність печі	650 тонн/добу (усього)	300 тонн/добу	350 тонн/добу	800 тонн/добу	40 тонн/добу	220 тонн/добу
Фактичне питоме знімання скломаси	502 тонни/добу (усього)	297 тонни/добу	259 тонни/добу	700 тонни/добу	40 тонни/добу	180 тонни/добу
Останній капітальний ремонт	2000 – 1996	1997	2000	2002	2004	
Електричне форсування		Так	Так	Так	Так	Так
Тип скла	Коричнево-зелене	Коричневий	Біле, бронзове, жовте	Біле	Склокераміка	Немає даних
Скляний бій	66 % (у середньому)	72%	30%	35%	50%	25%
Тип теплообмінника	Пучок труб	Пучок труб	Змійовик	Змійовик		Змійовик
Місце встановлення	Перед рукавним фільтром	Після електростатичного фільтра	Перед електростатичним фільтром	Перед електростатичним фільтром	Перед рукавним фільтром	Після електростатичного фільтра
Теплоносій	Вода/пара	Вода/пара	Вода/пара	Вода/пара	Вода/пара	Вода/пара
Використання регенерованої енергії	Електроенергія, стиснене повітря	Електроенергія, промислова вода	Промислова вода, опалення, підігрівання мазуту	Промислова вода, електроенергія, опалення	Промислова вода	Вода для побутового користування
Знепилення	У ході виробництва	У ході виробництва	У ході виробництва	У ході виробництва	Немає даних	Немає
Утилізація пилю	Додається до шихти	Додається до шихти	Спеціальне захоронення	Переробка або спеціальне захоронення	Немає даних	Переробка або спеціальне захоронення
Різниця температур	Від 1380 до 200 °C	Приблизно 150 °C	Приблизно 200 °C	Немає даних	Немає даних	Немає даних
Кількість регенерованої енергії	6472 кВт·год./год.	1500 кВт·год./год. (розрахункове значення)	1500 кВт·год./год.	3000 кВт·год./год.	550 кВт·год./год.	1140 кВт·год./год.
Питома регенерація тепла	0,31 кВт·год./кг скла	0,12 кВт·год./кг скла (розрахункове значення)	0,14 кВт·год./кг скла	0,10 кВт·год./кг скла	0,33 кВт·год./кг скла	0,15 кВт·год./кг скла
Питоме споживання енергії	4,20 ГДж/тонну звареного скла (розрахункове значення)	4,21 ГДж/тонну звареного скла	5,71 ГДж/тонну звареного скла	5,20 ГДж/тонну звареного скла	12,31 ГДж/тонну звареного скла	16,44 ГДж/тонну звареного скла
Інвестиційні витрати / витрати на заміну ⁽¹⁾		1,67 мільйона євро ⁽²⁾	0,5 мільйона євро ⁽²⁾	1,0 мільйона євро ⁽²⁾		
Період амортизації		10 років	10 років	10 років		
Експлуатаційні витрати		33 500 євро	60 000 євро	70 000 євро		
Річні амортизаційні витрати		222 111 євро	65 000 євро	133 000 євро		
Загальні річні витрати ⁽¹⁾		255611 євро	255611 євро	203 000 євро		
Розрахункові витрати на тонну скла		2,36 євро/тонну скла	1,34 євро/тонну скла	0,79 євро/тонну скла		

⁽¹⁾ Значення витрат вказані за рік встановлення системи контролю забруднення повітря і не обов'язково характеризують поточні витрати.

⁽²⁾ Інвестиційні витрати на теплообмінник вказані з урахуванням допоміжного обладнання.

Джерело: [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]

4.8.5 Підігрівання шихти та скляного бою

[30, Центр знань Infomil, 1998], [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007]

Опис

Шихта та скляний бій зазвичай подаються в піч у холодному вигляді, проте шляхом підігрівання шихти та скляного бою залишковим теплом відхідних газів можна значно заощадити енергію. Це стосується лише скловарних печей, що працюють на викопному паливі. У галузі виробництва кам'яної вати використовуються переважно вагранки, які підігрівають сировину за самою своєю конструкцією.

Бажано, щоб температури підігрівання були не меншими, ніж 270 °C, проте вони не повинні перевищувати 500 – 550 °C. На практиці більшість підігрівачів шихти та скляного бою працюють з температурами підігрівання шихти від 275 до 325 °C.

Підігрівачі шихти / скляного бою розроблені і встановлені компаніями Nienburg/Interprojekt у місті Нінбург (безпосереднє підігрівання), Zippe (опосередковане підігрівання) та Sorg (безпосереднє підігрівання). Комбінована установка з безпосереднього підігрівача скляного бою та електростатичного фільтра була розроблена і встановлена компанією Edmeston, яка зараз називається Praxair EGB. У США зараз розробляється новий тип підігрівача для димових газів з високою температурою близько 1300 °C: передбачається, що він дасть змогу підігрівати шихту та скляний бій до температури близько 500 °C.

Доступні системи описані нижче.

- Безпосереднє підігрівання: цей тип підігрівання передбачає безпосередній контакт між димовими газами та сировиною (скляним боєм та шихтою), які рухаються перпендикулярно один одному. Відхідні гази подаються у підігрівач з трубопроводу відхідних газів за регенератором. Вони проходять крізь порожнини у підігрівачі, безпосередньо контактуючи таким чином із сировиною. Температура скляного бою та шихти на виході становить близько 300 °C і досягає 400 °C. У системі передбачена обхідна лінія, завдяки якій піч може продовжувати працювати, коли підігрівач недоцільно або неможливо використовувати. Підігрівачі безпосередньої дії розроблені і встановлені компаніями Nienburg/Interprojekt та by Sorg. Приклад установки, на якій застосовується безпосереднє підігрівання скляного бою, наведено у Таблиці 4.45.
- Опосередковане підігрівання: підігрівач опосередкованої дії, по суті, є пластинчастим теплообмінником з перехресною течією, у якому матеріал нагрівається опосередковано. Він має модульне виконання і складається з окремих теплообмінних блоків, розташованих один над одним. Ці блоки, у свою чергу, розділені на горизонтальні ходи для димових газів та вертикальні ходи для матеріалу. У ходах для матеріалу матеріал рухається зверху вниз під дією сили тяжіння. Залежно від пропускної здатності, матеріал досягає швидкості в 1 – 3 м/год. і зазвичай нагрівається від температури навколишнього середовища до приблизно 300 °C. Димові гази впускаються у нижню частину підігрівача і рухаються у верхню частину через спеціальні окружні ходи. Відхідні гази течуть горизонтально крізь окремі модулі. Димові гази зазвичай охолоджуються приблизно до температури 270 – 300 °C. Підігрівач опосередкованої дії розроблений компанією Zippe.
- Система фільтра Praxair EGB та фільтра з електрифікованим гранульованим шаром (EGB) Edmeston – це гібридна система, що поєднує в собі електростатичний фільтр для видалення пилу та підігрівач скляного бою безпосередньої дії. Реалізована на практиці система складається з двох різних ступенів, на яких використовується привізний та зворотний скляний бій. Обидва потоки скляного бою підігріваються, але по-різному. Для уловлювання пилу з димових газів у електростатичному полі використовується лише ділянка, що працює зі зворотним скляним боєм та з привізним скляним боєм після очищення у піролітичному агрегаті (на першому ступеня підігрівача). На час укладання цього документа (2010 рік) підігрівач скляного бою з електрифікованим гранульованим шаром Praxair EGB не застосовується у скляній промисловості в Європі. Приклад цієї системи, включно з

вбудованою ділянкою фільтраційного шару скляного бою, працює на заводі Leone Glass у США у поєднанні з газокисневою піччю, у якій виготовляється тарне скло типу флінт. Димові гази з киснево-паливної печі для виробництва тарного скла, у якій використовується призначений для переробки скляний бій (зворотний та привізний), подаються на ділянку підігрівання скляного бою з привізним скляним боєм (ступінь 1). Органічні пари, що виділяються з привізного скляного бою на ступені підігрівання 1, розкладаються шляхом піролізу і об'єднуються з другим потоком димових газів, що виходить із печі. Об'єднаний потік газів входить в іонізаційну камеру, де частки пилу, присутні в димових газах, набувають заряду. Гарячі димові гази, що містять заряджені частки пилу, надходять у підігрівач скляного бою, обладнаний електродними пластинами (ступінь 2). У підігрівач безперервно завантажується зворотний (чистий) скляний бій та привізний скляний бій з першого ступеня підігрівання. Електростатичні поля виносять заряджені частки пилу на поверхню скляного бою, де вони захоплюються. Підігрітий скляний бій (до 400 °C) та частки пилу, які до нього прилипли, завантажуються у скловарну піч.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Ці технології мають ряд наслідків для навколишнього середовища, які різняться залежно від конкретного випадку. Як правило, спостерігалися наведені нижче вигоди.

- Питоме заощадження енергії від 10 до 20 % і, як наслідок, зниження викидів CO₂.
- Зниження викидів NO_x (внаслідок меншої потреби в паливі та нижчих температур у печі). Проте у більшості випадків заощадження енергії використовуються для збільшення знімання скломаси з печі.
- У випадку безпосереднього підігрівання спостерігалось зниження вмісту кислотних сполук SO₂, HF та HCl у димових газах відповідно на 60 %, 50 % та 90 % (різниця у вмісті перед шаром шихти та після нього).
- При застосуванні цієї технології для існуючих скловарних печей, з підігріванням шихти до 300 °C, питоме знімання скломаси можна збільшити на величину до 10 – 15 %.
- Зниження або зникнення потреби у реагенті для сухого очищення газів.

Міжсередовищні наслідки

За допомогою цієї технології можна збільшити потужність печі на 10 – 15 %, не жертвуючи терміном служби печі. Якщо питоме знімання скломаси не збільшується, термін служби печі можна дещо збільшити. Ця технологія також здатна зменшити потребу в електричному форсуванні, оскільки вона забезпечує підведення до печі більшої кількості тепла.

У деяких випадках – залежно від вмісту органіки у скляному бої – виникала проблема неприємних запахів з підігрівача, зумовлених виділенням органічних парів під час попереднього сушіння шихти. Ці проблеми зумовлені горінням та випаровуванням решток харчових продуктів та іншої органіки у привізному скляному бої. Рішення цих проблем (наприклад, спалювання) наразі розробляється.

Використання безпосереднього підігрівання призводить до збільшення викидів твердих часток (до 2000 мг/м³ н.у.), тож необхідно вживати вторинних заходів зі зниження викидів твердих часток. Зібраний пил зазвичай можна повернути в піч для переробки.

У результаті підігрівання шихти та скляного бою утворюється дуже суха шихта, і це може призвести до винесення дрібнодисперсних компонентів під час завантаження шихти у скловарну піч або тоді, коли перед спіканням і плавленням матеріалів над шаром шихти виникає потік димових газів з високою швидкістю.

Використання безпосереднього підігрівання породжує потребу в технічному обслуговуванні та очищенні, оскільки викиди твердих часток збільшуються, а відтак збільшуються і витрати.

Якщо для безпосереднього підігрівання матеріалів необхідно використовувати електростатичний фільтр, то у його процесі споживається електрична енергія. Це частково нівелює заощадження енергії, проте незначною мірою.

Безпосереднє підігрівання може призвести до викидів діоксинів, особливо якщо у ньому беруть участь відхідні гази від операцій нанесення покриття на вході лера, які містять HCl. У результаті досліджень та вимірювань не було виявлено ознак утворення значимих рівнів діоксинів у димових газах печей, обладнаних підігрівачами шихти.

Експлуатаційні параметри

Підігрівач слід розташувати якомога ближче до завантажувальної кишені, щоб підтримувати втрати тепла з транспортної системи під теплообмінником на якомога нижчому рівні. В ідеалі він повинен бути розташований відразу над завантажувачем шихти. З економічних міркувань температура доступних відхідних газів повинна становити принаймні 400 – 450 °С. Крім того, димові гази потрібно охолоджувати принаймні на 200 – 250 °С. Аби матеріал не злипався, максимальна температура димових газів на вході у більшості існуючих систем підігрівачів шихти не повинна перевищувати 600 °С. Втім, провадяться нові розробки з підвищення температури димових газів (див. розділ 6.2).

Застосовність

Системи підігрівання скляного бою / шихти теоретично можна встановити на будь-якій існуючій скловарній печі з більш ніж 50 % скляного бою в шихті, хоча за особливих умов і протягом обмеженого часу одна установка працювала всього з 30 % скляного бою. Підігрівати лише шихту проблематично, і це не вважається перевіреною технологією. Підігрівати суміш шихти та скляного бою складніше, ніж підігрівати лише скляний бій. Через ці обмеження підігрівання шихти та скляного бою застосовується майже виключно у секторі тарного скла.

Економіка

Економічні показники підігрівачів шихти / скляного бою дуже залежать від потужності печі та підігрівача. У якості орієнтовного прикладу витрат та заощадження витрат була виконана оцінка двох різних прикладів застосування підігрівача опосередкованої дії у секторі тарного скла. Її результати наведені нижче.

- Для регенеративної печі з поперечним полум'ям потужністю 350 тонн/добу додаткові інвестиційні витрати на використання підігрівача становлять близько 2,5 мільйона євро, включно з деякими адаптаціями машин для завантаження шихти. Річні заощадження експлуатаційних витрат становлять близько 820 000 євро на рік, якщо прийняти ціну на паливо рівною 9,4 євро на ГДж вищої теплотворної здатності. Середні розрахункові заощадження на витратах упродовж кампанії печі, обчислені на основі поточних цін на енергію, склали 3 євро на тонну розплавленої скломаси.
- Застосування підігрівання шихти / скляного бою для печі потужністю 450 тонн/добу дає змогу збільшити максимальне знімання скломаси з 450 до 500 тонн/добу та заощадити енергію. Інвестиційні витрати становлять 3,4 мільйона євро, а заощадження витрат (на основі потужності у 500 тонн/добу) складає 1,1 мільйона євро на рік. У цьому випадку період окупності становить три роки. Загальні заощадження витрат еквівалентні 5 – 6 євро на тонну скла і досягаються частково завдяки збільшенню потужності варіння скла у печі без потреби у збільшенні її конструкції.
- Для того, щоб можна було скористатися будь-яким збільшенням максимального знімання скломаси, необхідно інвестувати кошти в обладнання та інфраструктуру, що йдуть після печі. Витрати – зокрема, на збільшення потужності машин – можуть бути значними.

На час укладання цього документа (2010 рік) ця технологія не набула широкого вжитку через порівняно великі інвестиційні витрати та, в деяких випадках, обмеженість виробничої площі. Проте ця ситуація може різнитися залежно від регіону і постійно переглядається зі зміною цін на енергію та інших чинників (наприклад, граничних значень викидів).

Приклад установки для безпосереднього підігрівання шихти та скляного бою у печі для виробництва тарного скла, у якій виготовляється флінт, представлено у Таблиці 4.45.

Рушій для впровадження

Основним рушієм для впровадження є прагнення знизити споживання енергії, а відтак і викиди CO₂. Рушієм також може бути можливість збільшення потужності варіння скла у печі (на величину до 10 % або й більше).

Таблиця 4.45. Приклад установки з застосуванням підігрівача шихти та скляного бою безпосередньої дії для печі, у якій виготовляється тарне скло

Умови експлуатації		
Тип печей	3 поперечним полум'ям, регенеративна	
Паливо	Природний газ	
Потужність печі	350 т/добу	
Фактичне питоме знімання скломаси	275 т/добу	
Останній капітальний ремонт	2005 рік	
Електричне форсування	Так	
Тип скла	Флінт	
Скляний бій	60%	
Питоме споживання енергії	3,78 ГДж/тонну скла	
Тип фільтра	Електростатичний фільтр з 3 полями	
Температура перед фільтром	200 °C	
Сорбент	Немає	
Використання відфільтрованого пилу у шихті	100 %	
Споживання енергії включно з вентилятором	194 кВт·год./год.	
Тип підігрівача сировини	Безпосередній контакт з вихлопними газами від печі	
Об'єм вихлопних газів перед підігрівачем шихти	17000 м ³ /год.	
Температура вихлопних газів на вході/виході	Приблизно 450/200 °C	
Температура сировини на вході/виході	Приблизно 20/300 °C	
Кількість регенерованої енергії	Приблизно 900 кВт·год./год.	
	Система фільтрів включно з допоміжним обладнанням, трубопроводом, вентилятором ⁽¹⁾	Підігрівач сировини включно з допоміжним обладнанням ⁽¹⁾
Інвестиційні витрати / витрати на заміну	1,5 мільйона євро	1,0 мільйона євро
Період амортизації	10 років	12 років
Експлуатаційні витрати	120 000 євро	10 000 євро
Річні амортизаційні витрати	199 500 євро	113 333 євро
Загальні річні витрати	319 500 євро	123 333 євро
Розрахункові витрати на тонну скла	3,18 євро/т скла	1,23 євро/т скла
Рівні викидів ⁽²⁾		
	(мг/м³ н.у., сухий газ при 8 % O₂)	кг/т скла
Тверді частки	23,8	0,037
NO _x	909	1,42
SO _x	386	0,60
HCl	4,8	0,0075
HF	3,0	0,0047
Метали		
Клас I (Hg, Tl)	0,003	0,005x10 ⁻³
Клас II (Pb, Co, Ni, Se)	0,76	1,2x10 ⁻³
Клас III (Sb, Cr, Cu, Mn, V, Sn)	1,01	1,6x10 ⁻³
⁽¹⁾ Значення витрат вказані за рік встановлення системи контролю забруднення повітря і не обов'язково характеризують поточні витрати.		
⁽²⁾ Дані про викиди означають середні значення за півгодини.		
Джерело: [75. Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]		

Приклади заводів

Підігрівання шихти та скляного бою у всіх випадках застосовується в секторі тарного скла:

- безпосереднє підігрівання:
 - Ardagh Glass, Нінбург, Німеччина (три печі)
 - Ardagh Glass, Ноєнгаген, Німеччина
 - Wiegand Glas, Штайнбах-ам-Вальд, Німеччина
 - Leone Industries, Бріджтон, Нью-Джерсі, США (киснево-паливна піч)
- опосередковане підігрівання:
 - Ardagh Glass, Донген (Dongen), Нідерланди.

Довідкова література

[30, Центр знань Infomil, 1998], [65, GEPVP – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, 2007], [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008], [75, Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, 2007]

4.9 Системи керування 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 проектування, будівництва, технічного обслуговування, експлуатації установки та її виведення з експлуатації».

У цьому контексті система керування навколишнім середовищем (EMS) – це технологія, яка дає змогу операторам установок систематично і явно вирішувати екологічні проблеми. Системи керування навколишнім середовищем є найбільш дієвими та ефективними у тому випадку, коли вони є невід'ємною частиною загального керування та експлуатації установки.

Система керування 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 керування навколишнім середовищем впроваджена концепція безперервного вдосконалення, яка означає, що керування навколишнім середовищем є постійним процесом, а не проєктом, який зрештою завершується. Існують різні структури процесів, проте більшість систем керування 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 4.9).

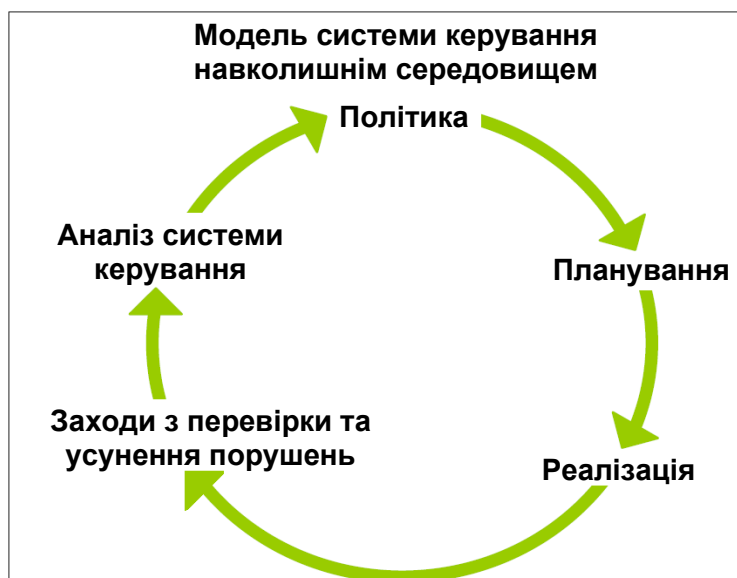


Рисунок 4.9. Безперервне вдосконалення у моделі системи керування навколишнім середовищем

Система керування 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 керування 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 керування 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) [122, 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 керування навколишнім середовищем запланованим механізмам, і чи правильно вона реалізована та підтримується;
- 6. перевірка системи керування 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 керування 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 керування навколишнім середовищем заохочує і підтримує безперервне вдосконалення екологічних показників установки. Якщо установка вже має хороші загальні екологічні показники, система керування 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 фінансових 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 [156, Європейська комісія, 2006] та у Довідковому документі з найкращих доступних технологій та методик управління для енергоефективності [124, Європейська комісія, 2008].

Міжсередовищні наслідки

Не повідомлялося. Систематичний аналіз початкових впливів на навколишнє середовище та можливостей для вдосконалення у контексті системи керування 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 керування 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.

Реалізація системи керування навколишнім середовищем згідно з правилами ISO 14001 на ряді установок у скляній промисловості зарекомендувала себе як хороший інструмент для встановлення керівних принципів компаній стосовно того, щоб:

- вказати всім працівникам напрямок, на якому вони повинні зосереджуватися у своїй роботі;
- влаштувати організацію, у якій будуть чітко визначені завдання та межі відповідальності кожної посади;

- описати виробничі процеси таким чином, щоб усі могли належним чином діяти;
- прийняти систему контролю для виявлення відмов та порушень нормальних умов і належного їх усунення, впровадити систему покращення робочих показників заводу шляхом встановлення і досягнення конкретних цілей.

Економіка

Вартість та економічні переваги впровадження та підтримання хорошої системи керування навколишнім середовищем важко точно визначити. З використанням системи керування 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 [182, Міжнародний форум з акредитації (IAF), 2010].

Рушії для впровадження

До рушіїв для впровадження системи керування 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 керування навколишнім середовищем.

Наприклад, усі заводи з виробництва флоат-скла, що належать компаніям AGC Flat Glass Europe, Pilkington/NSG та Saint-Gobain, сертифіковані або наразі проходять сертифікацію за стандартом ISO 14001. Ці компанії входять до складу великих міжнародних груп компаній, які провадять свою діяльність по всьому світу, і тому віддали перевагу міжнародному стандарту ISO 14001, а не Схемі екологічного менеджменту та аудиту (EMAS), яка є специфічно європейською.

Інші європейські установки, які виготовляють тарне скло, скловолокно з безперервних ниток, мінеральну вату, скляні фрити, тощо, сертифіковані за стандартом ISO 14001 або зареєстровані у Схемі екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) (наприклад, Rockwool Denmark, OCV, Saint-Gobain ISOVER, Saint-Gobain Mondego, тощо).

Довідкова література

Регламент Європейської комісії щодо схеми екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) № 1221/2009 [181, Регламент 1221/2009].

Сайт Схеми екологічного менеджменту та аудиту (EMAS) Генерального директорату Європейської комісії з питань навколишнього середовища [180, Генеральний директорат Європейської комісії з питань навколишнього середовища, 2010].

EN ISO 14001: 2004 [179, ISO, 2004].

—

5 ВИСНОВКИ ЩОДО НДТМ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СКЛА

СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Ці висновки щодо НДТМ стосуються видів промислової діяльності, вказаних у Додатку І до Директиви 2010/75/EU, а саме:

- 3.3. Виробництво скла, у тому числі скловолокна, з продуктивністю варіння скла понад 20 тон на добу.
- 3.4. Плавлення мінеральних речовин, у тому числі виробництво мінерального волокна, з продуктивністю варіння скла понад 20 тон на добу.

Ці висновки щодо НДТМ не стосуються таких видів діяльності:

- Виробництво розчинного скла, яке входить до змісту довідкового документа «Великосерійна неорганічно-хімічна промисловість – виробництво твердих та інших речовин» (LVIC-S).
- Виробництво полікристалічного волокна.
- Виробництво дзеркал, яке входить до змісту довідкового документа «Поверхнева обробка за допомогою органічних розчинників» (STS).

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 транспортування сировини
Енергоефективність (ENE)	Загальна енергоефективність
Економічні та міжсередовищні наслідки (ECM)	Економічні та міжсередовищні наслідки застосування технологій
Загальні принципи моніторингу (MON)	Моніторинг викидів та споживання ресурсів

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.

ВИЗНАЧЕННЯ

Для цілей цих висновків щодо НДТМ застосовуються такі визначення:

Термін, що використовується	Визначення
Новий завод	Завод, введений у дію на майданчику установки після публікації цих висновків щодо НДТМ, або повна заміна заводу на існуючій основі установки після публікації цих висновків щодо НДТМ.
Існуючий завод	Завод, який не є новим заводом
Нова піч	Піч, введена у дію на майданчику установки після публікації цих висновків щодо НДТМ, або повний капітальний ремонт печі після публікації цих висновків щодо НДТМ.
Звичайний капітальний ремонт печі	Капітальний ремонт між кампаніями без значної зміни потреб печі або технології, під час якого обов'язка печі не зазнає значних коректив, і габарити печі залишаються, по суті, незмінними. Ремонтуються вогнетривкі конструкції печі та, за необхідності, регенератори шляхом повної або часткової заміни матеріалу.
Повний капітальний ремонт печі	Капітальний ремонт зі значною зміною потреб печі або технології та внесенням значних коректив чи заміною печі і пов'язаного з нею обладнання.

Загальні міркування

Періоди усереднення та опорні умови викидів у повітря

Якщо не зазначено інше, відповідні рівні викидів для найкращих доступних технологій та методів управління (ВРВ НДТМ) у випадку викидів у повітря, наведені у цих висновках щодо НДТМ, вказані для опорних умов, наведених у Таблиці 5.1. Усі значення концентрацій у відхідних газах вказані за стандартних умов: сухий газ, температура 273,15 К, тиск 101,3 кПа.

Для періодичних вимірювань	ВРВ НДТМ означають середнє значення за трьома точковими пробами тривалістю принаймні 30 хвилин кожна; для регенеративних печей період вимірювання повинен охоплювати принаймні дві зміни напрямку полум'я у регенераційних камерах.
Для безперервних вимірювань	ВРВ НДТМ означають середньодобові значення

Таблиця 5.1. Опорні умови для ВРВ НДТМ, що характеризують викиди у повітря

Види діяльності		Одиниця вимірювання	Опорні умови
Діяльність, пов'язана з варінням скла	Традиційна скловарна піч у скловарних агрегатах безперервної дії	мг/м ³ н.у.	8 % кисню за об'ємом
	Традиційна скловарна піч у скловарних агрегатах періодичної дії	мг/м ³ н.у.	13 % кисню за об'ємом
	Киснево-паливні печі	кг/тонну звареного скла	Вираження рівнів викидів, вимірюваних у мг/м ³ н.у., через значення за опорної концентрації кисню не застосовне
	Електричні печі	мг/м ³ н.у. або кг/тонну звареного скла	Вираження рівнів викидів, вимірюваних у мг/м ³ н.у., через значення за опорної концентрації кисню не застосовне
	Фритоварні печі	мг/м ³ н.у. або кг/тонну звареної фрити	Концентрації вказані для 15 % кисню за об'ємом. Якщо використовується газоповітряне горіння, застосовуються ВРВ НДТМ, виражені як концентрації викидів (мг/м ³ н.у.). Якщо використовується киснево-паливне горіння, застосовуються ВРВ НДТМ, виражені як питомі масові викиди (кг/тонну звареної фрити). Якщо використовується повітряно-паливне горіння зі збагаченням киснем, ВРВ НДТМ, виражені як концентрації викидів (мг/м ³ н.у.) або питомі масові викиди (кг/тонну звареної фрити).
	Усі типи печей	кг/тонну звареного скла	Питомі масові викиди вказані на одну тонну звареного скла
Види діяльності, не пов'язані з варінням скла, включно з операціями подальшої обробки	Усі технологічні процеси	мг/м ³ н.у.	Без поправки на кисень
	Усі технологічні процеси	кг/тонну скла	Питомі масові викиди вказані на одну тонну виготовленого скла

Перерахунок на опорну концентрацію кисню

Формула для розрахунку концентрації викидів за опорного рівня кисню (див. Таблицю 5.1) наведена нижче.

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

де:

E_R (мг/м³ н.у.): концентрація викидів з поправкою на опорний вміст кисню O_R

O_R опорний вміст кисню

(об'ємні %):

E_M (мг/м³ н.у.): концентрація викидів у перерахунку на вимірний вміст кисню O_M

O_M вимірний вміст кисню.

(об'ємні %):

Перетворення концентрацій у питомі масові викиди

ВРВ НДТМ, наведені у розділах 5.2 – 5.9 у вигляді питомих масових викидів (кг/тонну звареного скла), базуються на наведеному нижче розрахунку, за винятком киснево-паливних печей та, в обмеженій кількості випадків, електричного варіння скла: у цих випадках ВРВ НДТМ, наведені у кг/тонну звареного скла, визначені за конкретними повідомленими даними.

Процедура розрахунку, що використовується для перетворення концентрацій у питомі масові викиди, наведена нижче.

Питомі масові викиди (кг/тонну звареного скла) = коефіцієнт перетворення × концентрація викидів (мг/м³ н.у.)

де: коефіцієнт перетворення = $(Q/P) \times 10^{-6}$

у якому Q = об'єм відхідних газів у м³ н.у./год.

P = питоме знімання скломаси у тоннах звареного скла/год.

Об'єм відхідних газів (Q) визначається за питомим споживанням енергії, типом палива та окиснювачем (повітря, збагачене киснем повітря та кисень, ступінь чистоти якого залежить від процесу виробництва). Споживання енергії описується складною функцією, змінними якої є (головним чином) тип печі, тип скла та відсоток скляного бою.

Проте на залежність між концентрацією та питомою масовою витратою може впливати ряд чинників, у тому числі:

- тип печі (температура підігрівання повітря, технологія варіння скла);
- тип скла, що виготовляється (потреба в енергії для варіння скла);
- структура енергоресурсів (викопне паливо / електричне форсування);
- тип викопного палива (мазут, газ);
- тип окиснювача (кисень, повітря, збагачене киснем повітря);
- відсоток скляного бою;
- склад шихти;
- вік печі;
- розмір печі.

Для перетворення ВРВ НДТМ з концентрацій у питомі масові викиди використовувалися коефіцієнти перетворення, наведені у Таблиці 5.2.

Коефіцієнти перетворення визначені за даними для енергоефективних печей і стосуються лише повністю повітряно-паливних печей.

Таблиця 5.2. Орієнтовні коефіцієнти для перетворення мг/м³ н.у. в кг/тонну звареного скла за даними для енергоефективних повітряно-паливних печей

Сектори		Коефіцієнти для перетворення мг/м ³ н.у. в кг/тонну звареного скла
Плоске скло		$2,5 \times 10^{-3}$
Тарне скло	Загальний випадок	$1,5 \times 10^{-3}$
	Особливі випадки ⁽¹⁾	Дослідження для кожного окремого випадку (часто $3,0 \times 10^{-3}$)
Скловолокло з безперервних ниток		$4,5 \times 10^{-3}$
Сортове скло	Вапняно-натрієве скло	$2,5 \times 10^{-3}$
	Особливі випадки ⁽²⁾	Дослідження для кожного окремого випадку (від $2,5$ до $>10 \times 10^{-3}$; часто $3,0 \times 10^{-3}$)
Мінеральна вата	Скловата	2×10^{-3}
	Вагранка з кам'яної вати	$2,5 \times 10^{-3}$
Спеціальне скло	Скло для телевізорів (панелі)	3×10^{-3}
	Скло для телевізорів (конуси)	$2,5 \times 10^{-3}$
	Боросилікатне скло (трубки)	4×10^{-3}
	Склокераміка	$6,5 \times 10^{-3}$
	Скло для освітлювальних приладів (вапняно-натрієве)	$2,5 \times 10^{-3}$
Фрити		Дослідження для кожного окремого випадку (у діапазоні $5 - 7,5 \times 10^{-3}$)
⁽¹⁾ Особливі випадки відповідають менш сприятливим випадкам (наприклад, невеликим спеціальним печам з продуктивністю загалом менше 100 тонн/добу та часткою скляного бою менше 30 %). На цю категорію припадає лише 1 чи 2 % виробництва тарного скла.		
⁽²⁾ Особливі випадки відповідають менш сприятливим випадкам та/або виробництву скла, відмінного від вапняно-натрієвого: боросилікатного скла, склокераміки, кришталевого скла та, рідше, свинцевого кришталю.		

Визначення певних забруднювачів повітря

У контексті цих висновків щодо НДТМ та ВРВ НДТМ, наведених у розділах 5.2 – 5.9, застосовуються такі визначення:

NO _x у перерахунку на NO ₂	Сума оксиду азоту (NO) та діоксиду азоту (NO ₂) у перерахунку на NO ₂
SO _x у перерахунку на SO ₂	Сума діоксиду сірки (SO ₂) та триоксиду сірки (SO ₃) у перерахунку на SO ₂
Хлороводень у перерахунку на HCl	Усі газоподібні хлориди у перерахунку на HCl
Фтороводень у перерахунку на HF	Усі газоподібні фториди у перерахунку на HF

Періоди усереднення скидів стічних вод

Якщо не зазначено інше, відповідні рівні викидів для найкращих доступних технологій та методів управління (ВРВ НДТМ) у випадку викидів стічних вод, наведені у цих висновках щодо НДТМ, означають середнє значення узагальненої проби, відібраної за період тривалістю дві години або 24 години.

5.1 Загальні висновки щодо НДТМ для виробництва скла

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок.

Крім загальних НДТМ, наведених у цьому розділі, до галузі застосовуються НДТМ для конкретних технологічних процесів, що містяться в розділах 5.2 – 5.9.

5.1.1 Системи керування навколишнім середовищем

1. НДТМ полягає в тому, щоб реалізувати і дотримуватися системи керування 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 НДТМ для 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 керування навколишнім середовищем запланованим механізмам, і чи правильно вона реалізована та підтримується;
- vi. перевірка системи керування навколишнім середовищем та її відповідності сучасним вимогам, адекватності та дієвості вищим керівництвом;
- vii. застосування екологічно чистіших технологій в міру їх розробки;
- 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.

Застосовність

Обсяг (наприклад, ступінь деталізації) та характер системи керування 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.

5.1.2 Енергоефективність

2. НДТМ полягає в тому, щоб зменшити питоме споживання енергії шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія	Застосовність
i. Оптимізація технологічного процесу шляхом регулювання експлуатаційних параметрів	Технології придатні для загального застосування
ii. Регулярне технічне обслуговування скловарної печі	
iii. Оптимізація конструкції печі та вибір технології варіння скла	Може застосовуватися для нових печей. Для реалізації цієї технології на існуючих печах потрібно провести повний капітальний ремонт печі
iv. Застосування технологій регулювання горіння	Може застосовуватися для повітряно-паливних та киснево-паливних печей
v. Використання більшої кількості скляного бою, якщо він доступний, і якщо це рентабельно та технічно доцільно	Не застосовно до секторів виробництва скловолкна з безперервних ниток, високотемпературного ізоляційного волокна та фрит
vi. Використання котла-утилізатора для регенерації енергії, якщо це технічно доцільно та рентабельно	Може застосовуватися для повітряно-паливних та киснево-паливних печей. Застосовність та рентабельність цієї технології залежить від загального ККД, якого можна досягти, включно з ефективним використанням виробленої пари
vii. Підігрівання шихти та скляного бою, якщо це технічно доцільно та рентабельно	Може застосовуватися для повітряно-паливних та киснево-паливних печей. Зазвичай може застосовуватися лише для варіантів складу шихти, що містять понад 50 % скляного бою

5.1.3 Зберігання та транспортування матеріалів

3. НДТМ полягає в тому, щоб запобігти або, якщо це неможливо, знизити дифузні викиди пилу, що утворюються в результаті зберігання та транспортування твердих матеріалів, шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

I. Зберігання сировини

- i. Зберігати насипні порошкові матеріали у закритих силосах, обладнаних системою зниження викидів пилу (наприклад, рукавним фільтром)
- ii. Зберігати дрібнодисперсні матеріали у закритих контейнерах або у запаяних мішках
- iii. Купи грубозернистих пиляких матеріалів зберігати під накриттям
- iv. Використовувати підмітально-прибиральні машини та технології зволоження матеріалів водою

II. Транспортування сировини

Технологія	Застосовність
i. Для матеріалів, що транспортуються наземним способом, використовувати закриті конвеєри, щоб запобігти втраті матеріалу	Технології придатні для загального застосування
ii. У випадках, коли використовується пневматичне транспортування, застосовувати герметизовану систему, обладнану фільтром, для очищення повітря, що використовувалося для транспортування, перед його викиданням	
iii. Зволоження шихти	Використання цієї технології обмежене несприятливими наслідками для енергоефективності печі. Обмеження можуть накладатися на деякі рецептури шихти, зокрема, у виробництві боросилікатного скла
iv. Створення невеликого від'ємного тиску у печі	Може застосовуватися лише як невід'ємна умова роботи (тобто у скловарних печах для виготовлення фрит), оскільки згубно впливає на енергоефективність печі
v. Використання сировини, яка не призводить до розтріскування при обпалюванні (головним чином доломіт та вапняк). У цих явищах беруть участь матеріали, які «тріскаються» під дією тепла, і відтак потенційно можуть збільшувати викиди пилу	Може застосовуватися з обмеженнями, пов'язаними з доступністю сировини
vi. Використання витяжки, яка відводить гази у систему фільтрів, у технологічних процесах, які з великою ймовірністю будуть супроводжуватися утворенням пилу (наприклад, відкривання мішків, змішування шихти для фрит, утилізація пилу з рукавних фільтрів, скловарні агрегати з холодним склепінням)	Технології придатні для загального застосування
vii. Використання закритих шнекових живильників	
viii. Обгородження завантажувальних кишень	Технологія придатна для загального застосування. Може бути необхідно забезпечити охолодження, щоб уникнути пошкодження обладнання

4. НДТМ полягає в тому, щоб запобігти або, якщо це неможливо, знизити дифузні газоподібні викиди, що утворюються в результаті зберігання та транспортування легкої сировини, шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

- Фарбування баків для безтарного зберігання матеріалів, які зазнають перепадів температур внаслідок нагрівання сонцем, фарбою з низькою здатністю до поглинання сонячного випромінювання.
- Контроль температури у місцях зберігання легкої сировини.
- Ізоляція баків, у яких зберігається легка сировина.
- Керування запасами
- Використання баків з плаваючим дахом для зберігання великих об'ємів легких нафтопродуктів.
- Використання систем транспортування з поверненням парів для транспортування легких рідин (наприклад, з автомобілів-цистерн у баки для зберігання).
- Використання баків з м'яким розширюваним дахом для зберігання рідкої сировини.
- Використання клапанів регулювання тиску / вакуумних клапанів у баках, які повинні витримувати перепади тиску.
- Вживання заходів з видалення викидів (наприклад, адсорбції, абсорбції, конденсації) при зберіганні шкідливих матеріалів.
- Використання глибинного наливання при зберіганні рідин, які схильні пінитися.

5.1.4 Загальні первинні технології

5. НДТМ полягає в тому, щоб знизити споживання енергії та викиди у повітря шляхом здійснення постійного моніторингу експлуатаційних параметрів та планового технічного обслуговування скловарної печі.

Технологія	Застосовність
Технологія складається з ряду операцій моніторингу та технічного обслуговування, які можна використовувати окремо або у належному поєднанні відповідно до типу печі з метою мінімізації наслідків старіння печі, як-от ущільнення печі та блоків пальників, підтримання максимальної ізоляції, контроль усталеного стану полум'я, контроль відношення «повітря-паливо», тощо.	Може застосовуватися для регенеративних, рекуперативних та киснево-паливних печей. Щоб визначити можливість застосування для інших типів печей, необхідно виконати оцінку для конкретної установки

6. НДТМ полягає в тому, щоб ретельно вибирати та контролювати всі речовини та види сировини, які надходять у скловарну піч, з метою зниження або запобігання викидам у повітря шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання.

Технологія	Застосовність
Використання сировини та привізного скляного бою з низьким вмістом домішок (наприклад, металів, хлоридів, фторидів)	Може застосовуватися з обмеженнями, пов'язаними з типом скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини і палива
Використання альтернативних видів сировини (наприклад, менш летких)	
Використання палива з меншим вмістом домішок металів	

7. НДТМ полягає в тому, щоб здійснювати регулярний моніторинг викидів та/або інших значимих параметрів технологічного процесу, у тому числі:

Технологія	Застосовність
i. Безперервний моніторинг критичних параметрів технологічного процесу для забезпечення стабільного протікання технологічного процесу – наприклад, моніторинг температури, подавання палива та витрати повітря	Технології придатні для загального застосування
ii. Регулярний моніторинг параметрів технологічного процесу для запобігання/зниження забруднень – наприклад, моніторинг вмісту O ₂ у газоподібних продуктах згорання для контролю відношення «повітря-паливо».	
iii. Безперервні вимірювання викидів пилу, NO _x та SO ₂ або періодичні вимірювання принаймні двічі на рік, пов'язані з контролем сурогатних параметрів для забезпечення належної роботи очисної системи між вимірюваннями	
iv. Безперервні або регулярні періодичні вимірювання викидів NH ₃ , якщо застосовуються технології селективного каталітичного відновлення (СКВ) або селективного некаталітичного відновлення (СНКВ)	Може застосовуватися для традиційних повітряно-паливних скловарних печей
v. Безперервні або регулярні періодичні вимірювання викидів CO, якщо для зниження викидів NO _x застосовуються первинні технології або хімічне відновлення паливом, або якщо можливе неповне згорання.	
vi. Регулярні періодичні вимірювання викидів HCl, HF, CO та металів, особливо якщо використовується сировина, що містить такі речовини, або можливе неповне згорання	Технології придатні для загального застосування
vii. Безперервний моніторинг сурогатних параметрів для забезпечення належної роботи системи очищення відхідних газів та підтримання належних рівнів викидів між періодичними вимірюваннями. Моніторинг сурогатних параметрів охоплює такі параметри: подавання реагентів, температура, подавання води, напруга, видалення пилу, швидкість обертання вентилятора, тощо.	

8. НДТМ полягає в тому, щоб експлуатувати системи очищення відхідних газів за нормальних умов експлуатації з оптимальною потужністю та експлуатаційною готовністю для запобігання або зниження викидів

Застосовність

Для особливих умов роботи можуть бути визначені спеціальні процедури, зокрема:

- i. під час роботи в режимах пуску та зупинки;
- ii. під час інших особливих режимів роботи, які можуть вплинути на належне функціонування систем (наприклад, планове і позапланове технічне обслуговування та операції очищення печі та/або системи очищення димових газів, або серйозна зміна у виробництві;
- iii. у разі недостатньої витрати димових газів або за температури, яка не дозволяє використовувати систему на повній потужності.

9. НДТМ полягає в тому, щоб обмежити викиди чадного газу (CO) зі скловарної печі при застосуванні первинних технологій або хімічного відновлення паливом для зниження викидів NO_x

Технологія	Застосовність
Первинні технології для зниження викидів NO _x базуються на модифікаціях процесу згорання (наприклад, зменшення відношення «повітря-паливо», ступінчасте спалювання, пальники з низьким виходом NO _x , тощо). Хімічне відновлення паливом полягає у додаванні вуглеводневого палива у потік відхідних газів для зменшення кількості NO _x , що утворюються в печі.	Може застосовуватися для традиційних повітряно-паливних печей.
Збільшення викидів CO внаслідок застосування цих технологій можна обмежити шляхом ретельного контролю експлуатаційних параметрів	

Таблиця 5.3. ВРВ НДТМ для викидів чадного газу зі скловарних печей

Параметр	ВРВ НДТМ
Чадний газ у перерахунку на CO	<100 мг/м ³ н.у.

10. НДТМ полягає в тому, щоб обмежити викиди аміаку (NH₃) при застосуванні технологій селективного каталітичного відновлення (СКВ) або селективного некаталітичного відновлення (СНКВ) для високоефективного зниження викидів NO_x

Технологія	Застосовність
Технологія полягає у встановленні і підтриманні належних умов експлуатації систем очищення відхідних газів на основі СКВ чи СНКВ з метою обмеження викидів аміаку, який не прореагував	Може застосовуватися для скловарних печей, обладнаних системою СКВ чи СНКВ

Таблиця 5.4. ВРВ НДТМ для викидів аміаку при застосуванні технологій СКВ або СНКВ

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾
Аміак у перерахунку на NH ₃	<5 – 30 мг/м ³ н.у.
⁽¹⁾ Вищі рівні відповідають вищим концентраціям NO _x на вході, вищим ступеням відновлення та старінню каталізатора.	

11. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди бору зі скловарної печі у випадку, якщо в рецептурі шихти використовуються сполуки бору, шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Експлуатація фільтрувальної системи за належної температури для посилення відділення сполук бору у твердому стані з урахуванням того, що деякі сполуки борної кислоти можуть бути присутні в димових газах у вигляді газоподібних сполук за температур нижче 200 °C і аж до 60 °C	Можливість застосування на існуючих заводах може бути обмежена технічними обмеженнями, пов'язаними з розташуванням та характеристиками існуючої системи фільтрів
ii. Використання сухого або напівсухого очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Можливість застосування може бути обмежена зниженням ефективності видалення інших газоподібних забруднюючих речовин (SO _x , HCl, HF) внаслідок відкладення сполук бору на поверхні сухого лужного реагенту
iii. Використання мокрого очищення газів	Можливість застосування на існуючих заводах може бути обмежена потребою у спеціальному очищення стічних вод.
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділах 5.10.1, 5.10.4 та 5.10.6.	

Моніторинг

Моніторинг викидів бору повинен здійснюватися згідно зі спеціальною методикою, яка дає змогу вимірювати його вміст як у твердій, так і в газоподібній формі та визначати ефективність видалення цих сполук з димових газів.

5.1.5 Викиди у воду від процесів виробництва скла

12. НДТМ полягає в тому, щоб зменшити споживання води шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія	Застосовність
i. Мінімізація проливання матеріалів та витоків	Технологія придатна для загального застосування
ii. Повторне використання охолоджувальних та очисних вод після продувки	Технологія придатна для загального застосування. Рециркуляція скрубберної води може застосовуватися в більшості систем очищення газів; проте може бути необхідно періодично зливати і замінювати газопромивну рідину
iii. Експлуатація водяної системи з квазізамкненим контуром тією мірою, якою це технічно доцільно та рентабельно	Можливість застосування цієї технології може бути обмежена міркуваннями, пов'язаними з керуванням технікою безпеки у процесі виробництва. Зокрема: <ul style="list-style-type: none"> охолодження за розімкненим циклом може використовуватися, якщо це необхідно з міркувань безпеки (наприклад, аварійні ситуації, коли потрібно охолодити велику кількість скла); вода, використана у деяких спеціальних процесах (наприклад, у ході операцій подальшої обробки в секторі виробництва скловолна з безперервних ниток, для кислотного полірування у секторах виробництва сортового та спеціального скла, тощо), може повністю або частково скидатися в систему очищення стічних вод.

13. НДТМ полягає в тому, щоб зменшити кількість викидів забруднюючих речовин зі скидами стічних вод за допомогою однієї з перелічених нижче систем очищення стічних вод або їх поєднання:

Технологія	Застосовність
i. Стандартні технології контролю забруднень, такі як відстоювання, проціджування, зняття забруднень з поверхні води, нейтралізація, фільтрація, аерація, осадження, коагуляція та флокуляція, тощо. Стандартні технології, передбачені практиками належного виконання робіт, для контролю викидів зі сховищ рідкої сировини та проміжних продуктів, такі як влаштування рубежів локалізації, огляд/випробування баків, захист від переповнення, тощо.	Технології придатні для загального застосування
ii. Системи біологічного очищення, такі як активований мул, біофільтрація, для видалення/розкладання органічних сполук	Можливість застосування обмежена секторами, у яких органічні речовини використовуються в процесі виробництва (наприклад, у секторах виробництва скловолокна з безперервних ниток та мінеральної вати)
iii. Скидання на установки очищення комунально-побутових стічних вод	Може застосовуватися на установках, де необхідно додатково зменшувати кількість забруднюючих речовин
iv. Повторне використання стічних вод за межами виробництва	Можливість застосування загалом обмежена сектором виробництва фрит (можливе повторне використання у керамічній промисловості)

Таблиця 5.5. ВРВ НДТМ для скидів стічних вод від виробництва скла у поверхневій воді

Параметр ⁽¹⁾	Одиниця вимірювання	ВРВ НДТМ ⁽²⁾ (узагальнена проба)
РН	-	6,5 – 9
Загальний вміст зваженої твердої речовини	мг/л	<30
Хімічна потреба в кисні (ХПК)	мг/л	<5 – 130 ⁽³⁾
Сульфати у перерахунку на SO ₄ ²⁻	мг/л	<1000
Фториди у перерахунку на F ⁻	мг/л	<6 ⁽⁴⁾
Загальний вміст вуглеводнів	мг/л	<15 ⁽⁵⁾
Свинець у перерахунку на Pb	мг/л	<0,05 – 0,3 ⁽⁶⁾
Сурма у перерахунку на Sb	мг/л	<0,5
Миш'як у перерахунку на As	мг/л	<0,3
Барій у перерахунку на Ba	мг/л	<3,0
Цинк у перерахунку на Zn	мг/л	<0,5
Мідь у перерахунку на Cu	мг/л	<0,3
Хром у перерахунку на Cr	мг/л	<0,3
Кадмій у перерахунку на Cd	мг/л	<0,05
Олово у перерахунку на Sn	мг/л	<0,5
Нікель у перерахунку на Ni	мг/л	<0,5
Аміак у перерахунку на NH ₄	мг/л	<10
Бор у перерахунку на B	мг/л	<1 – 3
Фенол	мг/л	<1

⁽¹⁾ Значимість забруднюючих речовин, перелічених у таблиці, залежить від сектора скляної промисловості та від різних видів діяльності, що здійснюються на заводі.
⁽²⁾ Рівні вказані для узагальненої проби, відібраної за період тривалістю дві години або 24 години.
⁽³⁾ Для сектора виробництва скловолокна з безперервних ниток ВРВ НДТМ становить <200 мг/л.
⁽⁴⁾ Рівень вказаний для очищеної води, що надходить від видів діяльності, які передбачають кислотне полірування.
⁽⁵⁾ Як правило, загальний вміст вуглеводнів представлений мінеральними маслами.
⁽⁶⁾ Верхнє значення діапазону відповідає операціям подальшої обробки у виробництві свинцевого кришталю.

5.1.6 Відходи від процесів виробництва скла

14. НДТМ полягає в тому, щоб зменшити утворення твердих відходів, які потрібно захоронювати, шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія	Застосовність
i. Переробка відходів шихти, якщо це дозволяють вимоги до якості	Можливість застосування може бути обмежена міркуваннями, пов'язаними з якістю кінцевого скляного продукту
ii. Мінімізація втрат матеріалів під час зберігання та транспортування сировини	Технологія придатна для загального застосування
iii. Переробка зворотного скляного бою, утвореного з забракованої продукції	Загалом не застосовно до секторів виробництва скловолкна з безперервних ниток, високотемпературного ізоляційного волокна та фрит
iv. Переробка пилу у рецептурі шихти, якщо це дозволяють вимоги до якості	Можливість застосування може бути обмежена різними чинниками: <ul style="list-style-type: none"> • вимоги до якості кінцевого скляного продукту • відсоток скляного бою, що використовується у рецептурі шихти • потенційна можливість винесення матеріалів та корозії вогнетривких матеріалів • обмеження, пов'язані з балансом сірки
v. Відновлення цінності твердих відходів та/або шламу шляхом належного використання на самому об'єкті (наприклад, шлам від очищення води) або в інших галузях промисловості	Технологія придатна для загального застосування у секторі сортового скла (для шламу від різання свинцевого кришталю) та у секторі тарного скла (дрібні осколки скла, змішані з маслом) Обмежена можливість застосування в інших секторах виробництва скла з огляду на непередбачуваний склад, забрудненість, малі об'єми та рентабельність
vi. Відновлення цінності відпрацьованих вогнетривких матеріалів для можливого використання в інших галузях промисловості	Можливість застосування обмежена умовами, що накладаються виробниками вогнетривких матеріалів та потенційними кінцевими користувачами
vii. Перетворення відходів у зв'язані цементом брикети для переробки у вагранках з гарячим дуттям, якщо це дозволяють вимоги до якості	Переробка відходів у зв'язані цементом брикети може застосовуватися лише у секторі виробництва кам'яної вати. Слід знайти компроміс між викидами в повітря та утворенням потоку твердих відходів

5.1.7 Шум від процесів виробництва скла

15. НДТМ полягає в тому, щоб знизити шумове випромінювання шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

- Виконати оцінку шумового забруднення навколишнього середовища і скласти належний план керування шумом з урахуванням місцевого навколишнього середовища.
- Обгороджувати шумне обладнання/операції в окремій конструкції/агрегаті.
- Використовувати насипи для екранування джерела шуму.
- Виконувати шумові надвірні роботи у денний час.
- Використовувати шумозахисні стіни або природні бар'єри (дерева, кущі) між установкою та зоною, яку потрібно захистити, залежно від місцевих умов.

5.2 Висновки щодо НДТМ для виробництва тарного скла

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок з виробництва тарного скла.

5.2.1 Викиди пилу зі скловарних печей

16. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди пилу з відхідними газами скловарної печі шляхом застосування системи очищення димових газів, такої як електростатичний фільтр або рукавний фільтр.

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
Системи очищення димових газів складаються з технологій, які застосовуються в кінці виробничого циклу і базуються на фільтруванні всіх матеріалів, які перебувають у твердому стані в точці вимірювання	Технологія придатна для загального застосування
⁽¹⁾ Фільтрувальні системи (тобто електростатичний фільтр, рукавний фільтр) описані у розділі 5.10.1.	

Таблиця 5.6. ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва тарного скла

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Пил	<10 – 20	<0,015 – 0,06
⁽¹⁾ Для визначення нижнього та верхнього значення діапазону використовувалися коефіцієнти перетворення, що дорівнювали $1,5 \times 10^{-3}$ та 3×10^{-3} відповідно.		

5.2.2 Оксиди азоту (NO_x) зі скловарних печей

17. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

I. первинні технології, такі як:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Модифікації процесу згорання	
(a) Зменшення відношення «повітря-паливо»	Може застосовуватися для традиційних повітряно-паливних печей. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(b) Знижена температура повітря, що подається для згорання	Може застосовуватися лише за певних обставин, що залежать від конкретної установки, через зниження ККД печі та збільшення потреби у паливі (тобто використання рекуперативних печей замість регенеративних печей)
(c) Ступінчасте спалювання: • Ступінчасте подавання повітря • Ступінчасте подавання палива	Ступінчасте подавання палива у більшості традиційних повітряно-паливних печей. Можливість застосування ступінчастого подавання повітря дуже обмежена через його технічну складність
(d) Рециркуляція димових газів	Можливість застосування цієї технології обмежена використанням спеціальних пальників з автоматичною рециркуляцією відхідних газів

(e) Пальники з низьким виходом NO _x	Технологія придатна для загального застосування. Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти, загалом нижчі у випадку застосування технології в газових печах з поперечним полум'ям через технічні обмеження та меншу експлуатаційну гнучкість печі. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(f) Вибір палива	Можливість застосування обмежена умовами, пов'язаними з доступністю різних типів палива, на які може впливати енергетична політика країни-члена ЄС
ii. Спеціальна конструкція печі	Можливість застосування обмежена рецептурами шихти, які містять велику частку привізного скляного бою (>70 %). Застосування можливе лише у ході повного капітального ремонту скловарної печі. Форма печі (довга та вузька) може накладати обмеження, пов'язані з виробничою площею
iii. Електричне варіння скла	Не застосовно для виробництв скла у великих об'ємах (>300 тонн/добу). Не застосовно для виробництв, на яких знімання скломаси повинно варіюватися в широких межах. Реалізація можлива лише у ході повного капітального ремонту печі
iv. Киснево-паливне варіння скла	Максимальні вигоди для навколишнього середовища досягаються у випадках, коли технологія застосовується під час повного капітального ремонту печі
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.	

II. вторинні технології, такі як:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	Для застосування може бути необхідно модернізувати систему зниження викидів пилу, щоб гарантувати концентрацію пилу нижче 10 – 15 мг/м ³ н.у., та передбачити систему знесірчення для видалення викидів SO _x . З огляду на оптимальне вікно робочих температур, застосування можливе лише у разі використання електростатичних фільтрів. Технологія, як правило, не використовується з системою рукавних фільтрів, оскільки через їх низьку робочу температуру, в межах 180 – 200 °C, відхідні гази потрібно повторно нагрівати. Для реалізації технології може бути потрібна значна доступна виробнича площа
ii. Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)	Технологія може застосовуватися для рекуперативних печей. Дуже обмежена можливість застосування для традиційних регенеративних печей, у яких важко досягти належного температурного вікна, або ж воно не дозволяє добре змішати димові гази з реагентом. Технологія може бути застосовною для нових регенеративних печей, обладнаних секційними регенераторами; проте температурне вікно при цьому важко підтримувати, оскільки між камерами полум'я міняє свій напрямок, а це призводить до циклічної зміни температури
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.	

Таблиця 5.7. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі виробництва тарного скла

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
NO _x у перерахунку на NO ₂	Модифікації згорання, спеціальні конструкції печі ⁽²⁾ ⁽³⁾	500 – 800	0,75 – 1,2
	Електричне варіння скла	<100	<0,3
	Киснево-паливне варіння скла ⁽⁴⁾	Не застосовно	<0,5 – 0,8
	Вторинні технології	<500	<0,75
⁽¹⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 для загальних випадків ($1,5 \times 10^{-3}$), за винятком електричного варіння скла (особливі випадки: 3×10^{-3}). ⁽²⁾ Нижче значення відповідає використанню спеціальних конструкцій печей, якщо це застосовно. ⁽³⁾ Ці значення слід переглянути у випадку звичайного чи повного капітального ремонту скловарної печі. ⁽⁴⁾ Досяжні рівні залежать від якості доступного природного газу та кисню (вміст азоту).			

18. Якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати, та/або у скловарній печі потрібно підтримувати спеціальні окисні умови горіння для забезпечення якості кінцевого продукту, НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x шляхом мінімізації використання цих видів сировини у поєднанні з первинними або вторинними технологіями

ВРВ НДТМ викладені у Таблиці 5.7.

Для випадків, коли нітрати використовуються в рецептурі шихти протягом коротких кампаній, або для скловарних печей потужністю <100 т/добу, ВРВ НДТМ викладені у Таблиці 5.8.

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
Первинні технології: <ul style="list-style-type: none"> Мінімізація використання нітратів у рецептурі шихти Нітрати використовуються у виробництві дуже високоякісної продукції (тобто флаконної продукції, пляшок для парфумів і тари для косметики). Ефективними альтернативними матеріалами є сульфати, оксиди миш'яку, оксид церію. Альтернативою використанню нітратів є застосування модифікацій технологічного процесу (наприклад, спеціальних окисних умов горіння).	Можливість заміни нітратів у рецептурі шихти може бути обмежена великими витратами та/або більшим впливом альтернативних матеріалів на навколишнє середовище
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.	

Таблиця 5.8. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі тарного скла, якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати, та/або присутні спеціальні окисні умови горіння, у випадку коротких кампаній або скловарних печей потужністю <100 т/добу

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
NO _x у перерахунку на NO ₂	Первинні технології	<1000	<3
⁽¹⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 для особливих випадків (3×10^{-3}).			

5.2.3 Оксиди сірки (SO_x) зі скловарних печей

19. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди SO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування
ii. Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти та оптимізація балансу сірки	Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з вимогами до якості кінцевого скляного продукту. Для застосування оптимізації балансу сірки необхідно знайти компроміс між видаленням викидів SO _x та керуванням твердими відходами (відфільтрованим пилом). Ефективність зниження викидів SO _x залежить від ступеня утримання сполук сірки у склі, який може суттєво варіюватися залежно від типу скла
iii. Використання палива з низьким вмістом сірки	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з доступністю палива з низьким вмістом сірки, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.3.

Таблиця 5.9. ВРВ НДТМ для викидів SO_x зі скловарної печі у секторі виробництва тарного скла

Параметр	Паливо	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾ ⁽²⁾	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽³⁾
SO _x у перерахунку на SO ₂	Природний газ	<200 – 500	<0,3 – 0,75
	Мазут ⁽⁴⁾	<500 – 1200	<0,75 – 1,8

⁽¹⁾ Для спеціальних типів кольорового скла (наприклад, зелених видів скла, зварених у відновлювальних умовах) може бути необхідно виконати дослідження балансу сірки з міркувань, пов'язаних із досяжними рівнями викидів. Вказаних у таблиці значень може бути важко досягти у поєднанні з переробкою відфільтрованого пилу та певним ступенем переробки привізного скляного бою.

⁽²⁾ Нижчі рівні відповідають умовам, коли зниження викидів SO_x має вищий пріоритет, ніж зменшення утворення твердих відходів у вигляді відфільтрованого пилу, насиченого сульфатами.

⁽³⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 для загальних випадків ($1,5 \times 10^{-3}$).

⁽⁴⁾ Відповідні рівні викидів вказані для випадку використання мазуту з 1 % сірки у поєднанні з вторинними технологіями зниження викидів.

5.2.4 Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей

20. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди HCl та HF зі скловарної печі (можливо, об'єднані з димовими газами від операцій нанесення покриття на вході лера) шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з типом скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини
ii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.4.

Таблиця 5.10. ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва тарного скла

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Хлороводень у перерахунку на HCl ⁽²⁾	<10 – 20	<0,02 – 0,03
Фтороводень у перерахунку на HF	<1 – 5	<0,001 – 0,008
⁽¹⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення для загальних випадків, вказаний у Таблиці 5.2 ($1,5 \times 10^{-3}$). ⁽²⁾ Вищі рівні відповідають одночасному очищенню димових газів від операцій нанесення покриття на вході лера.		

5.2.5 Метали зі скловарних печей

21. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди металів зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾		Застосовність
i.	Вибір сировини з низьким вмістом металів для рецептури шихти	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з типом скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини
ii.	Мінімізація використання металевих сполук у рецептурі шихти, якщо скло потрібно забарвлювати та знебарвлювати з огляду на вимоги споживача до якості скла	
iii.	Застосування фільтрувальної системи (рукавного фільтра чи електростатичного фільтра)	Технології придатні для загального застосування
iv.	Застосування сухого або напівсухого очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.5.		

Таблиця 5.11. ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва тарного скла

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽⁴⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 – 1 ⁽⁵⁾	<0,3 – 1,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 – 5	<1,5 – 7,5 x 10 ⁻³
⁽¹⁾ Рівні означають сумарний вміст металів, присутніх у димових газах як у твердій, так і в газоподібній фазі. ⁽²⁾ Нижчі рівні – це ВРВ НДТМ для випадку, коли сполуки металів не використовуються в рецептурі шихти умисно. ⁽³⁾ Вищі рівні відповідають випадкам, коли метали використовуються для забарвлення або знебарвлення скла, або коли димові гази від операцій нанесення покриття на вході лера обробляються разом з викидами зі скловарної печі. ⁽⁴⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення для загальних випадків, вказаний у Таблиці 5.2 ($1,5 \times 10^{-3}$). ⁽⁵⁾ У особливих випадках, коли виготовляється високоякісний флінт, для знебарвлення якого потрібна більша кількість селену (залежно від сировини), повідомляються більші значення – до 3 мг/м ³ н.у.		

5.2.6 Викиди від операцій подальшої обробки

22. У випадках, коли для операцій нанесення покриття на вході лера використовуються сполуки олова, оловоорганічні сполуки або сполуки титану, НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія	Застосовність
i. Мінімізація втрат продукту, що використовується як покриття, шляхом забезпечення належної герметизації системи нанесення покриття і влаштування ефективного витяжного ковпака. Належна конструкція та герметизація системи нанесення покриття життєво важливі для мінімізації втрат продукту, який не прореагував, шляхом його винесення у повітря	Технологія придатна для загального застосування
ii. Об'єднання димових газів від операцій нанесення покриття з відхідними газами скловарної печі або з повітрям, яке подається для згорання в піч, якщо застосовується вторинна система очищення (фільтр та сухий або напівсухий скруббер). Залежно від хімічної сумісності, відхідні гази від операцій нанесення покриття можуть бути об'єднані з іншими димовими газами перед очищенням. Можуть застосовуватися такі два варіанти: <ul style="list-style-type: none"> • об'єднання з димовими газами від скловарної печі перед вторинною системою зниження викидів (сухе або напівсухе очищення газів плюс фільтрувальна система); • об'єднання з повітрям, що подається для згорання, перед входом у регенератор, з наступним очищенням відхідних газів, утворених у процесі варіння скла, за допомогою вторинної системи зниження викидів (сухе або напівсухе очищення газів + фільтрувальна система). 	Об'єднання з димовими газами від скловарної течі придатне для загального застосування. На об'єднання з повітрям, що подається для згорання, можуть накладатися технічні обмеження, зумовлені деяким можливим впливом на хімічний склад скла та матеріали регенератора
iii. Застосування вторинної технології – наприклад, мокре очищення газів, сухе очищення газів плюс фільтрування ⁽¹⁾	Технології придатні для загального застосування

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділах 5.10.4 та 5.10.7.

Таблиця 5.12. ВРВ НДТМ для викидів у повітря від операцій нанесення покриття на вході лера у секторі тарного скла, якщо димові гази від операцій подальшої обробки очищаються окремо

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
Пил	<10
Сполуки титану у перерахунку на Ti	<5
Сполуки олова, у тому числі оловоорганічні сполуки, у перерахунку на Sn	<5
Хлороводень у перерахунку на HCl	<30

23. У випадках, коли для операцій поверхневої обробки використовується SO₃, НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди SO_x шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація втрат продукту шляхом забезпечення належної герметизації системи нанесення покриття Належна конструкція та технічне обслуговування системи нанесення покриття життєво важливі для мінімізації втрат продукту, який не прореагував, шляхом його винесення у повітря	Технології придатні для загального застосування
ii. Застосування вторинної технології – наприклад, мокре очищення газів	
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.6.	

Таблиця 5.13. ВРВ НДТМ для викидів SO_x від операцій подальшої обробки у секторі тарного скла, якщо для операцій поверхневої обробки використовується SO₃, у випадку окремого очищення

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
SO _x у перерахунку на SO ₂	<100 – 200

5.3 Висновки щодо НДТМ для виробництва плоского скла

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок з виробництва плоского скла.

5.3.1 Викиди пилу зі скловарних печей

24. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди пилу з відхідними газами скловарної печі шляхом застосування електростатичного фільтра або системи рукавних фільтрів

Ці технології описані у розділі 5.10.1.

Таблиця 5.14. ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі плоского скла

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла (¹)
Пил	<10 – 20	<0,025 – 0,05
(¹) Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 ($2,5 \times 10^{-3}$).		

5.3.2 Оксиди азоту (NO_x) зі скловарних печей

25. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

I. первинні технології, такі як:

Технологія (¹)	Застосовність
i. Модифікації процесу згорання	
(a) Зменшення відношення «повітря-паливо»	Може застосовуватися для традиційних повітряно-паливних печей. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(b) Знижена температура повітря, що подається для згорання	Може застосовуватися лише у печах малої потужності для виробництва спеціалізованого плоского скла та за певних обставин, що залежать від конкретної установки, через зниження ККД печі та збільшення потреби у паливі (тобто використання рекуперативних печей замість регенеративних печей)
(c) Ступінчасте спалювання: ◦ Ступінчасте подавання повітря ◦ Ступінчасте подавання палива	Ступінчасте подавання палива у більшості традиційних повітряно-паливних печей. Можливість застосування ступінчастого подавання повітря дуже обмежена через його технічну складність
(d) Рециркуляція димових газів	Можливість застосування цієї технології обмежена використанням спеціальних пальників з автоматичною рециркуляцією відхідних газів
(e) Пальники з низьким виходом NO _x	Технологія придатна для загального застосування. Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти, загалом нижчі у випадку застосування технології в газових печах з поперечним полум'ям через технічні обмеження та меншу експлуатаційну гнучкість печі. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(f) Вибір палива	Можливість застосування обмежена умовами, пов'язаними з доступністю різних типів палива, на які може впливати енергетична політика країни-члена ЄС

ii. Процес Fenix Базується на поєднанні ряду первинних технологій, націлених на оптимізацію згорання у регенеративних печах з поперечним полум'ям для виробництва флоат-скла. Його основні особливості такі: <ul style="list-style-type: none"> ◦ зменшення кількості надлишкового повітря ◦ придушення появи гарячих точок і забезпечення рівномірності температур полум'я ◦ кероване змішування палива і повітря 	Може застосовуватися лише у регенеративних печах з поперечним полум'ям. Може застосовуватися у нових печах. Щоб реалізувати технологію в існуючій печі, її потрібно безпосередньо інтегрувати під час проєктування та будівництва печі у ході повного капітального ремонту печі
iii. Киснево-паливне варіння скла	Максимальні вигоди для навколишнього середовища досягаються у випадках, коли технологія застосовується під час повного капітального ремонту печі
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.	

II. вторинні технології, такі як:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Хімічне відновлення паливом	Може застосовуватися у регенеративних печах. Можливість застосування обмежена підвищеним споживанням палива і відповідними екологічними та економічними наслідками
ii. Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	Для застосування може бути необхідно модернізувати систему зниження викидів пилу, щоб гарантувати концентрацію пилу нижче 10 – 15 мг/м ³ н.у., та передбачити систему знесірчення для видалення викидів SO _x З огляду на оптимальне вікно робочих температур, застосування можливе лише у разі використання електростатичних фільтрів. Технологія, як правило, не використовується з системою рукавних фільтрів, оскільки через їх низьку робочу температуру, в межах 180 – 200 °C, відхідні гази потрібно повторно нагрівати. Для реалізації технології може бути потрібна значна доступна виробнича площа
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.	

Таблиця 5.15. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі виробництва плоского скла

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
NO _x у перерахунку на NO ₂	Модифікації процесу згорання, процес Fenix ⁽³⁾	700 – 800	1,75 – 2,0
	Киснево-паливне варіння скла ⁽⁴⁾	Не застосовне	<1,25 – 2,0
	Вторинні технології ⁽⁵⁾	400 – 700	1,0 – 1,75
⁽¹⁾ Вищі рівні викидів очікуються у випадках, коли у виробництві спеціальних видів скла іноді використовуються нітрати. ⁽²⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 (2,5 × 10 ⁻³). ⁽³⁾ Нижчі значення діапазону відповідають застосуванню процесу Fenix. ⁽⁴⁾ Досяжні рівні залежать від якості доступного природного газу та кисню (вміст азоту). ⁽⁵⁾ Вищі значення діапазону відповідають існуючим установкам до настання звичайного або повного капітального ремонту скловарної печі. Нижчі значення відповідають новішим/модернізованим заводам.			

26. Якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати, НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x шляхом мінімізації використання цих видів сировини у поєднанні з первинними або вторинними технологіями. Якщо застосовуються вторинні технології, застосовними є ВРВ НДТМ, наведені у Таблиці 5.15.

Для випадків, коли нітрати використовуються в рецептурі шихти для виробництва спеціальних видів скла протягом обмеженої кількості коротких кампаній, ВРВ НДТМ викладені у Таблиці 5.16.

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
Первинні технології: Мінімізація використання нітратів у рецептурі шихти Нітрати застосовуються у спеціальних випадках виробництва (тобто для виробництва кольорового скла). Ефективними альтернативними матеріалами є сульфати, оксиди миш'яку, оксид церію	Можливість заміни нітратів у рецептурі шихти може бути обмежена великими витратами та/або більшим впливом альтернативних матеріалів на навколишнє середовище
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.	

Таблиця 5.16. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі плоского скла, якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати для виробництва спеціальних видів скла протягом обмеженої кількості коротких кампаній

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
NO_x у перерахунку на NO_2	Первинні технології	<1200	<3
⁽¹⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 для особливих випадків ($2,5 \times 10^{-3}$).			

5.3.3 Оксиди сірки (SO_x) зі скловарних печей

27. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди SO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування
ii. Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти та оптимізація балансу сірки	Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з вимогами до якості кінцевого скляного продукту. Для застосування оптимізації балансу сірки необхідно знайти компроміс між видаленням викидів SO_x та керуванням твердими відходами (відфільтрованим пилом).
iii. Використання палива з низьким вмістом сірки	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з доступністю палива з низьким вмістом сірки, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.3.	

Таблиця 5.17. ВРВ НДТМ для викидів SO_x зі скловарної печі у секторі виробництва плоского скла

Параметр	Паливо	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
SO _x у перерахунку на SO ₂	Природний газ	<300 – 500	<0,75 – 1,25
	Мазут ⁽³⁾ ⁽⁴⁾	500 – 1300	1,25 – 3,25

⁽¹⁾ Нижчі рівні відповідають умовам, коли зниження викидів SO_x має вищий пріоритет, ніж зменшення утворення твердих відходів у вигляді відфільтрованого пилю, насиченого сульфатами.

⁽²⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 (2,5 × 10⁻³).

⁽³⁾ Відповідні рівні викидів вказані для випадку використання мазуту з 1 % сірки у поєднанні з вторинними технологіями зниження викидів.

⁽⁴⁾ Для великих печей, у яких виготовляється плоске скло, може бути необхідно виконати дослідження балансу сірки з міркувань, пов'язаних із досяжними рівнями викидів. Вказаних у таблиці значень може бути важко досягти у поєднанні з переробкою відфільтрованого пилю.

5.3.4 Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей

28. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди HCl та HF зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з типом скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини
ii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.4.

Таблиця 5.18. ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва плоского скла

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Хлороводень у перерахунку на HCl ⁽²⁾	<10 – 25	<0,025 – 0,0625
Фтороводень у перерахунку на HF	<1 – 4	<0,0025 – 0,010

⁽¹⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 (2,5 × 10⁻³).

⁽²⁾ Вищі значення діапазону відповідають випадку переробки відфільтрованого пилю у рецептурі шихти.

5.3.5 Метали зі скловарних печей

29. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди металів зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом металів для рецептури шихти	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з типом скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини.
ii. Застосування фільтрувальної системи	Технологія придатна для загального застосування
iii. Застосування сухого або напівсухого очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	
⁽¹⁾ Ці технології описані в розділі 5.10.5.	

Таблиця 5.19. ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва плоского скла, за винятком видів скла, забарвлених селеном

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 – 1	<0,5 – 2,5 × 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 – 5	<2,5 – 12,5 × 10 ⁻³

⁽¹⁾ Діапазони означають сумарний вміст металів, присутніх у димових газах як у твердій, так і в газоподібній фазі.
⁽²⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 (2,5 × 10⁻³).

30. Якщо для забарвлення скла використовуються сполуки селену, НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди селену зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація випаровування селену зі складу шихти шляхом вибору сировини з вищою ефективністю утримання у склі та зниженою інтенсивністю переходу в леткий стан	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з типом скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини
ii. Застосування фільтрувальної системи	Технологія придатна для загального застосування
iii. Застосування сухого або напівсухого очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.5.

Таблиця 5.20. ВРВ НДТМ для викидів селену зі скловарної печі у секторі виробництва плоского скла при виробництві кольорового скла

Параметр	ВРВ НДТМ ^{(1) (2)}	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽³⁾
Сполуки селену у перерахунку на Se	1 – 3	2,5 – 7,5 × 10 ⁻³

⁽¹⁾ Значення означають сумарний вміст селену, присутнього у димових газах як у твердій, так і в газоподібній фазі.
⁽²⁾ Нижчі рівні відповідають умовам, коли зниження викидів Se має вищий пріоритет, ніж зменшення утворення твердих відходів у вигляді відфільтрованого пилу. У цьому випадку застосовується велике стехіометричне відношення (реагент / забруднююча речовина) і утворюється значний потік твердих відходів.
⁽³⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 (2,5 × 10⁻³).

5.3.6 Викиди від операцій подальшої обробки

31. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди у повітря від операцій подальшої обробки шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація втрат продуктів, що наносяться на плоске скло як покриття, шляхом забезпечення належної герметизації системи нанесення покриття	Технології придатні для загального застосування
ii. Мінімізація втрат SO ₂ з відпалювального лера шляхом експлуатації системи керування оптимальним чином	
iii. Об'єднання викидів SO ₂ від лера з відхідними газами скловарної печі, якщо це технічно можна реалізувати, і якщо застосовується вторинна система очищення (фільтр та сухий або напівсухий скруббер)	
iv. Застосування вторинної технології – наприклад, мокре очищення газів або сухе очищення газів та фільтрування	Технології придатні для загального застосування. Вибір технології та ефективність її роботи залежить від складу відхідних газів на вході.
⁽¹⁾ Вторинні системи очищення описані у розділах 5.10.3 та 5.10.6.	

Таблиця 5.21. ВРВ НДТМ для викидів у повітря від операцій подальшої обробки в секторі плоского скла, якщо вони обробляються окремо

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
Пил	<15 – 20
Хлороводень у перерахунку на HCl	<10
Фтороводень у перерахунку на HF	<1 – 5
SO _x у перерахунку на SO ₂	<200
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5

5.4 Висновки щодо НДТМ для виробництва скловолокна з безперервних ниток

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок для виробництва скловолокна з безперервних ниток.

5.4.1 Викиди пилу зі скловарних печей

ВРВ НДТМ, наведені у цьому розділі для пилу, стосуються всіх матеріалів, які перебувають у твердому стані в точці вимірювання, у тому числі твердих сполук бору. Газоподібні сполуки бору в точці вимірювання не враховуються.

32. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди пилу з відхідними газами скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Зменшення кількості летких сполук шляхом модифікації сировини Вибір рецептур шихти без сполук бору або з низьким вмістом бору – це первинний захід зі зниження викидів пилу, які утворюються головним чином внаслідок переходу речовин у леткий стан. Основним компонентом твердих часток, що викидаються зі скловарної печі, є бор	Застосування цієї технології обмежене правами власності, оскільки рецептури шихти, які не містять бору або містять малу кількість бору, захищені патентом
ii. Фільтрувальна система: електростатичний фільтр або рукавний фільтр	Технологія придатна для загального застосування. Максимальні вигоди для навколишнього середовища досягаються у випадках застосування технології на нових заводах, коли можна без обмежень вибрати розташування та характеристики фільтра
iii. Система мокрого очищення газів	Застосування на існуючих заводах може обмежуватися технічними вимогами, тобто потребою у спеціальній установці очищення стічних вод.
⁽¹⁾ Вторинні системи очищення описані у розділах 5.10.1 та 5.10.7.	

Таблиця 5.22. ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
Пил	<10 – 20	<0,045 – 0,09
⁽¹⁾ Значення на рівнях <30 мг/м ³ н.у. (<0,14 кг/тонну звареного скла) були повідомлені для безборних рецептур із застосуванням первинних технологій.		
⁽²⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$).		

5.4.2 Оксиди азоту (NO_x) зі скловарних печей

33. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Модифікації процесу згорання	
(a) Зменшення відношення «повітря-паливо»	Може застосовуватися для традиційних повітряно-паливних печей. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(b) Знижена температура повітря, що подається для згорання	Може застосовуватися для традиційних повітряно-паливних печей з урахуванням обмежень, пов'язаних з енергоефективністю печі та збільшенням потреби у паливі. Більшість печей вже рекуперативного типу.
(c) Ступінчасте спалювання: ° Ступінчасте подавання повітря ° Ступінчасте подавання палива	Ступінчасте подавання палива у більшості повітряно-паливних, киснево-паливних печей. Можливість застосування ступінчастого подавання повітря дуже обмежена через його технічну складність
(d) Рециркуляція димових газів	Можливість застосування цієї технології обмежена використанням спеціальних пальників з автоматичною рециркуляцією відхідних газів
(e) Пальники з низьким виходом NO _x	Технологія придатна для загального застосування. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(f) Вибір палива	Можливість застосування обмежена умовами, пов'язаними з доступністю різних типів палива, на які може впливати енергетична політика країни-члена ЄС
ii. Киснево-паливне варіння скла	Максимальні вигоди для навколишнього середовища досягаються у випадках, коли технологія застосовується під час повного капітального ремонту печі
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.	

Таблиця 5.23. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тону звареного скла
NO _x у перерахунку на NO ₂	Модифікації процесу згорання	<600 – 1000	<2,7 – 4,5 ⁽¹⁾
	Киснево-паливне варіння скла ⁽²⁾	Не застосовно	<0,5 – 1,5
⁽¹⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 (4,5 × 10 ⁻³).			
⁽²⁾ Досяжні рівні залежать від якості доступного природного газу та кисню (вміст азоту).			

5.4.3 Оксиди сірки (SO_x) зі скловарних печей

34. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди SO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти та оптимізація балансу сірки	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з вимогами до якості кінцевого скляного продукту. Для застосування оптимізації балансу сірки необхідно знайти компроміс між видаленням викидів SO _x та керуванням твердими відходами (відфільтрованим пилом), які потрібно захоронювати.
ii. Використання палива з низьким вмістом сірки	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з доступністю палива з низьким вмістом сірки, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС
iii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування. Присутність високих концентрацій сполук бору в димових газах може обмежити ефективність зниження викидів за допомогою реагенту, що використовується в системах сухого або напівсухого очищення газів
iv. Використання мокрого очищення газів	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням технічних обмежень, тобто потреби у спеціальній установці очищення стічних вод
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділах 5.10.3 та 5.10.6.	

Таблиця 5.24. ВРВ НДТМ для викидів SO_x зі скловарної печі у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток

Параметр	Паливо	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
SO _x у перерахунку на SO ₂	Природний газ ⁽³⁾	<200 – 800	<0,9 – 3,6
	Мазут ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾	<500 – 1000	<2,25 – 4,5
⁽¹⁾ Вищі значення діапазону відповідають випадку використання сульфатів у рецептурі шихти для освітлення скла. ⁽²⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$). ⁽³⁾ Для киснево-паливних печей із застосуванням мокрого очищення газів повідомлений ВРВ НДТМ становить <0,1 кг/тонну звареного скла SO _x у перерахунку на SO ₂ . ⁽⁴⁾ Відповідні рівні викидів вказані для випадку використання мазуту з 1 % сірки у поєднанні з вторинними технологіями зниження викидів. ⁽⁵⁾ Нижчі рівні відповідають умовам, коли зниження викидів SO _x має вищий пріоритет, ніж зменшення утворення твердих відходів у вигляді відфільтрованого пилу, насиченого сульфатами. У цьому випадку нижчі рівні відповідають випадку використання рукавного фільтра.			

5.4.4 Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей

35. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди HCl та HF зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з рецептурою шихти та доступністю сировини
ii. Мінімізація вмісту фтору у рецептурі шихти Викиди фтору з процесу варіння скла можна мінімізувати таким чином: <ul style="list-style-type: none"> мінімізація/зменшення кількості сполук фтору (наприклад, флюориту) у рецептурі шихти до мінімального рівня, за якого буде забезпечуватися належна якість кінцевого продукту. Сполуки фтору використовуються для оптимізації процесу варіння скла, для полегшення волокнуутворення та мінімізації обривів ниток. заміна сполук фтору альтернативними матеріалами (наприклад, сульфатами). 	Можливість заміни сполук фтору альтернативними матеріалами обмежена вимогами до якості продукції
iii. сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування
iv. мокре очищення газів	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням технічних обмежень, тобто потреби у спеціальній установці очищення стічних вод.
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділах 5.10.4 та 5.10.6.	

Таблиця 5.25. ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва скловолкна з безперервних ниток

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Хлороводень у перерахунку на HCl	<10	<0,05
Фтороводень у перерахунку на HF ⁽²⁾	<5 – 15	<0,02 – 0,07
⁽¹⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$).		
⁽²⁾ Вищі значення діапазону відповідають випадку використання сполук фтору у рецептурі шихти.		

5.4.5 Метали зі скловарних печей

36. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди металів зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом металів для рецептури шихти	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з доступністю сировини
ii. Застосування сухого або напівсухого очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування
iii. Застосування мокрого очищення газів	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням технічних обмежень, тобто потреби у спеціальній установці очищення стічних вод.
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділах 5.10.5 та 5.10.6.	

Таблиця 5.26. ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва скловолокна з безперервних ниток

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 – 1	<0,9 – 4,5 × 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 – 3	<4,5 – 13,5 × 10 ⁻³

⁽¹⁾ Рівні означають сумарний вміст металів, присутніх у димових газах як у твердій, так і в газоподібній фазі.
⁽²⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 (4,5 × 10⁻³).

5.4.6 Викиди від операцій подальшої обробки

37. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди від операцій подальшої обробки шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Системи мокрого очищення газів	Технології придатні для загального застосування з метою очищення відхідних газів, що утворюються у процесі формування (нанесення покриття на волокно) або у процесах додаткової обробки, у яких використовується в'язуча речовина, котру потрібно ствердити або висушити
ii. Мокрий електростатичний фільтр	
iii. Фільтрувальна система (рукавний фільтр)	Технологія придатна для загального застосування з метою очищення відхідних газів, що утворюються у ході операцій різання та розмелювання продукції

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділах 5.10.7 та 5.10.8.

Таблиця 5.27. ВРВ НДТМ для викидів від операцій подальшої обробки у секторі виробництва скла з безперервних ниток, якщо вони обробляються окремо

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
Викиди від формування та нанесення покриття	
Пил	<5 – 20
Формальдегід	<10
Аміак	<30
Загальний вміст летких органічних сполук у перерахунку на С	<20
Викиди від різання та розмелювання	
Пил	<5 – 20

5.5 Висновки щодо НДТМ для виробництва сортового скла

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок з виробництва сортового скла.

5.5.1 Викиди пилу зі скловарних печей

38. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди пилу з відхідними газами скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Зменшення кількості летких сполук шляхом модифікації сировини. Рецептура шихти може містити дуже леткі компоненти (наприклад, бор, фториди), які роблять значний внесок в утворення викидів пилу зі скловарної печі	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з типом скла, що виготовляється, та доступністю видів сировини, якими можна замінити ці компоненти
ii. Електричне варіння скла	Не застосовно для виробництв скла у великих об'ємах (>300 тонн/добу). Не застосовно для виробництв, на яких знімання скломаси повинно варіюватися в широких межах. Реалізація можлива лише у ході повного капітального ремонту печі
iii. Киснево-паливне варіння скла	Максимальні вигоди для навколишнього середовища досягаються у випадках, коли технологія застосовується під час повного капітального ремонту печі
iv. Фільтрувальна система: електростатичний фільтр або рукавний фільтр	Технології придатні для загального застосування
v. Система мокрого очищення газів	Може застосовуватися лише в окремих випадках – зокрема, для електричних скловарних печей, у яких об'єми димових газів та викиди пилу загалом малі і пов'язані з винесенням речовин, присутніх у рецептурі шихти

⁽¹⁾Ці технології описані у розділах 5.10.5 та 5.10.7.

Таблиця 5.28. ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тону звареного скла ⁽¹⁾
Пил	<10 – 20 ⁽²⁾	<0,03 – 0,06
	<1 – 10 ⁽³⁾	<0,003 – 0,03

⁽¹⁾Застосовано коефіцієнт перетворення 3×10^{-3} (див. Таблицю 5.2). Проте для спеціальних виробництв може застосовуватися коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.
⁽²⁾Повідомляються міркування щодо рентабельності досягнення ВРВ НДТМ у випадку печей потужністю <80 т/добу, у яких виготовляється вапняно-натрієве скло.
⁽³⁾Цей ВРВ НДТМ стосується рецептур шихти, що містять у значних кількостях компоненти, які відповідають критеріям шкідливих речовин згідно з Регламентом Європейської комісії 1272/2008.

5.5.2 Оксиди азоту (NO_x) зі скловарних печей

39. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

I. первинні технології, такі як:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Модифікації процесу згорання	
(a) Зменшення відношення «повітря-паливо»	Може застосовуватися для традиційних повітряно-паливних печей. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(b) Знижена температура повітря, що подається для згорання	Може застосовуватися лише за певних обставин, що залежать від конкретної установки, через зниження ККД печі та збільшення потреби у паливі (тобто використання рекуперативних печей замість регенеративних печей)
(c) Ступінчасте спалювання: • Ступінчасте подавання повітря • Ступінчасте подавання палива	Ступінчасте подавання палива у більшості традиційних повітряно-паливних печей. Можливість застосування ступінчастого подавання повітря дуже обмежена через його технічну складність
(d) Рециркуляція димових газів	Можливість застосування цієї технології обмежена використанням спеціальних пальників з автоматичною рециркуляцією відхідних газів
(e) Пальники з низьким виходом NO _x	Технологія придатна для загального застосування. Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти, загалом нижчі у випадку застосування технології в газових печах з поперечним полум'ям через технічні обмеження та меншу експлуатаційну гнучкість печі. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(f) Вибір палива	Можливість застосування обмежена умовами, пов'язаними з доступністю різних типів палива, на які може впливати енергетична політика країни-члена ЄС
ii. Спеціальна конструкція печі	Можливість застосування обмежена рецептурами шихти, які містять велику частку привізного скляного бою (>70 %). Застосування можливе лише у ході повного капітального ремонту скловарної печі. Форма печі (довга та вузька) може накладати обмеження, пов'язані з виробничою площею
iii. Електричне варіння скла	Не застосовно для виробництва скла у великих об'ємах (>300 тонн/добу). Не застосовно для виробництва, на яких знімання скломаси повинно варіюватися в широких межах. Реалізація можлива лише у ході повного капітального ремонту печі
iv. Киснево-паливне варіння скла	Максимальні вигоди для навколишнього середовища досягаються у випадках, коли технологія застосовується під час повного капітального ремонту печі

⁽¹⁾Ці технології описані у розділі 5.10.2.

Таблиця 5.29. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
NO _x у перерахунку на NO ₂	Модифікації згорання, спеціальні конструкції печі	<500 – 1000	<1,25 – 2,5
	Електричне варіння скла	<100	<0,3
	Киснево-паливне варіння скла ⁽²⁾	Не застосовно	<0,5 – 1,5

⁽¹⁾Для випадків модифікацій згорання та спеціальних конструкцій печей застосовано коефіцієнт перетворення $2,5 \times 10^{-3}$, а для випадку електричного варіння скла застосовано коефіцієнт перетворення 3×10^{-3} (див. Таблицю 5.2). Проте для спеціальних виробництв може застосовуватися коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.

⁽²⁾Досяжні рівні залежать від якості доступного природного газу та кисню (вміст азоту).

40. Якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати, НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x шляхом мінімізації використання цих видів сировини у поєднанні з первинними або вторинними технологіями.

ВРВ НДТМ викладені у Таблиці 5.29.

Для випадків, коли нітрати використовуються в рецептурі шихти протягом обмеженої кількості коротких кампаній, або для скловарних печей потужністю <100 т/добу, у яких виготовляються спеціальні типи вапняно-натрієвого скла (прозоре/надпрозоре скло або кольорове скло, забарвлене селеном) та інші спеціальні види скла (тобто боросилікатне скло, склокераміка, матове скло, кришталеве скло та свинцевий криштал), ВРВ НДТМ викладені у Таблиці 5.30.

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
<p>Первинні технології:</p> <ul style="list-style-type: none"> Мінімізація використання нітратів у рецептурі шихти <p>Нітрати використовуються у виробництві дуже високоякісної продукції, коли виготовляється скло високого ступеня безбарвності (прозоре) або спеціальні види скла. Ефективними альтернативними матеріалами є сульфати, оксиди миш'яку, оксид церію</p>	<p>Можливість заміни нітратів у рецептурі шихти може бути обмежена великими витратами та/або більшим впливом альтернативних матеріалів на навколишнє середовище</p>
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.	

Таблиця 5.30. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі сортового скла, якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати протягом обмеженої кількості коротких кампаній, або у випадку скловарних печей потужністю <100 т/добу, у яких виготовляються спеціальні типи вапняно-натрієвого скла (прозоре/надпрозоре скло або кольорове скло, забарвлене селеном) та інші спеціальні види скла (тобто боросилікатне скло, склокераміка, матове скло, кришталеве скло та свинцевий криштал)

Параметр	Тип печі	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла
NO_x у перерахунку на NO_2	Традиційні повітряно-паливні печі	$<500 - 1500$	$<1,25 - 3,75$ ⁽¹⁾
	Електричне варіння скла	$<300 - 500$	$<8 - 10$
⁽¹⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення, вказаний у Таблиці 5.2 для вапняно-натрієвого скла ($2,5 \times 10^{-3}$).			

5.5.3 Оксиди сірки (SO_x) зі скловарних печей

41. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди SO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти та оптимізація балансу сірки	<p>Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з вимогами до якості кінцевого скляного продукту.</p> <p>Для застосування оптимізації балансу сірки необхідно знайти компроміс між видаленням викидів SO_x та керуванням твердими відходами (відфільтрованим пилом).</p>
ii. Використання палива з низьким вмістом сірки	<p>Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з доступністю палива з низьких вмістом сірки, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС</p>
iii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	<p>Технологія придатна для загального застосування</p>
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.3.	

Таблиця 5.31. ВРВ НДТМ для викидів SO_x зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла

Параметр	Паливо / Технологія варіння скла	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
SO _x у перерахунку на SO ₂	Природний газ	<200 – 300	<0,5 – 0,75
	Мазут ⁽²⁾	<1000	<2,5
	Електричне варіння скла	<100	<0,25
⁽¹⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення 2,5 x 10 ⁻³ (див. Таблицю 5.2). Проте для спеціальних виробництв може застосовуватися коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.			
⁽²⁾ Рівні вказані для випадку використання мазуту з 1 % сірки у поєднанні з вторинними технологіями зниження викидів.			

5.5.4 Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей

42. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди HCl та HF зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з рецептурою шихти для типу скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини
ii. Мінімізація вмісту фтору в рецептурі шихти та оптимізація масового балансу фтору Викиди фтору з процесу варіння скла можна мінімізувати шляхом мінімізації/зменшення кількості сполук фтору (наприклад, флюориту) у рецептурі шихти до мінімального рівня, за якого буде забезпечуватися належна якість кінцевого продукту. Сполуки фтору додаються до рецептури шихти для надання склу непрозорого або матового вигляду	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з вимогами до якості кінцевого продукту.
iii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування
iv. Мокре очищення газів	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням технічних обмежень, тобто потреби у спеціальній установці очищення стічних вод. Можливість застосування цієї технології може обмежуватися великими витратами, питаннями очищення стічних вод, у тому числі обмеженнями на переробку шламу або твердих залишків від очищення води
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділах 5.10.4 та 5.10.6.	

Таблиця 5.32. ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Хлороводень у перерахунку на HCl ⁽²⁾ ⁽³⁾	<10 – 20	<0,03 – 0,06
Фтороводень у перерахунку на HF ⁽⁴⁾	<1 – 5	<0,003 – 0,015

⁽¹⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення 3×10^{-3} (див. Таблицю 5.2). Проте для спеціальних виробництв може застосовуватися коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.

⁽²⁾ Нижчі рівні відповідають випадку використання електричного варіння скла.

⁽³⁾ У випадках, коли в якості освітлювачів використовуються KCl або NaCl, ВРВ НДТМ становить <30 мг/м³ н.у. або <0,09 кг/тонну звареного скла.

⁽⁴⁾ Нижчі рівні відповідають випадку використання електричного варіння скла. Вищі рівні відповідають випадкам виробництва матового скла, переробки відфільтрованого пилю або випадкам, коли у рецептурі шихти використовується велика кількість привізного скляного бою.

5.5.5 Метали зі скловарних печей

43. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди металів зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом металів для рецептури шихти	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з типом скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини
ii. Мінімізація використання сполук металів у рецептурі шихти шляхом вибору належної сировини у випадках, коли скло потрібно забарвлювати та знебарвлювати, або коли склу надаються спеціальні властивості	У випадку виробництва кришталевого скла та свинцевого кришталю на мінімізацію сполук металів у рецептурі шихти накладаються обмеження, визначені Директивою 69/493/ЕЕС, яка класифікує кінцеві скляні продукти за хімічним складом.
iii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.5.

Таблиця 5.33. ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла, за винятком видів скла, для знебарвлення яких використовується селен

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 – 1	<0,6 – 3×10^{-3}
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 – 5	<3 – 15×10^{-3}

⁽¹⁾ Рівні означають сумарний вміст металів, присутніх у димових газах як у твердій, так і в газоподібній фазі.

⁽²⁾ Застосовано коефіцієнт перетворення 3×10^{-3} (див. Таблицю 5.2). Проте для спеціальних виробництв може застосовуватися коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.

44. Якщо для знебарвлення скла використовуються сполуки селену, НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди селену зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація використання сполук селену у рецептурі шихти шляхом вибору належної сировини	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з типом скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини
ii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування

⁽¹⁾Ці технології описані у розділі 5.10.5.

Таблиця 5.34. ВРВ НДТМ для викидів селену зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла, якщо для знебарвлення скла використовуються сполуки селену

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
Сполуки селену у перерахунку на Se	<1	<3 x 10 ⁻³

⁽¹⁾Значення означають сумарний вміст селену, присутнього у димових газах як у твердій, так і в газоподібній фазі.
⁽²⁾Застосовано коефіцієнт перетворення 3 x 10⁻³ (див. Таблицю 5.2). Проте для спеціальних виробництв може застосовуватися коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.

45. Якщо для виготовлення свинцевого кришталю використовуються сполуки свинцю, НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди свинцю зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Електричне варіння скла	Не застосовно для виробництв скла у великих об'ємах (>300 тонн/добу). Не застосовно для виробництв, на яких знімання скломаси повинно варіюватися в широких межах. Реалізація можлива лише у ході повного капітального ремонту печі
ii. Рукавний фільтр	Технологія придатна для загального застосування
iii. Електростатичний фільтр (електростатичний пиловловлювач)	
iv. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	

⁽¹⁾Ця технологія описані у розділах 5.10.1 та 5.10.5.

Таблиця 5.35. ВРВ НДТМ для викидів свинцю зі скловарної печі у секторі виробництва сортового скла, якщо для виробництва свинцевого кришталю використовуються сполуки свинцю

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
Сполуки свинцю у перерахунку на Pb	<0,5 – 1	<1 – 3 x 10 ⁻³

⁽¹⁾Значення означають сумарний вміст свинцю, присутнього у димових газах як у твердій, так і в газоподібній фазі.
⁽²⁾Застосовано коефіцієнт перетворення 3 x 10⁻³ (див. Таблицю 5.2). Проте для спеціальних виробництв може застосовуватися коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.

5.5.6 Викиди від операцій подальшої обробки

46. Для пилях операцій подальшої обробки НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди пилу та металів шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Виконання пилях операцій (наприклад, різання, шліфування, полірування) під рідиною	Технології придатні для загального застосування
ii. Застосування системи рукавних фільтрів	
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.8.	

Таблиця 5.36. ВРВ НДТМ для викидів у повітря від пилях операцій подальшої обробки у секторі сортового скла, якщо вони обробляються окремо

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
Пил	<1 – 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI}) ⁽¹⁾	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn) ⁽¹⁾	<1 – 5
Сполуки свинцю у перерахунку на Pb ⁽²⁾	<1 – 1,5
⁽¹⁾ Рівні означають сумарний вміст металів, присутніх у відхідних газах.	
⁽²⁾ Рівні відповідають операціям подальшої обробки свинцевого кришталю.	

47. Для процесів кислотного полірування НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди HF шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація втрат продукту, що використовується для полірування, шляхом забезпечення належної герметизації системи нанесення покриття	Технології придатні для загального застосування
ii. Застосування вторинної технології – наприклад, мокре очищення газів	
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.6.	

Таблиця 5.37. ВРВ НДТМ для викидів HF від процесів кислотного полірування у секторі сортового скла, якщо вони обробляються окремо

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
Фтороводень у перерахунку на HF	<5

5.6 Висновки щодо НДТМ для виробництва спеціального скла

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок з виробництва спеціального скла.

5.6.1 Викиди пилу зі скловарних печей

48. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди пилу з відхідними газами скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Зменшення кількості летких сполук шляхом модифікації сировини Рецептура шихти може містити дуже леткі компоненти (наприклад, бор, фториди), які є основними складовими пилу, що викидається зі скловарної печі	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, накладених потрібною якістю продукту, що виготовляється
ii. Електричне варіння скла	Не застосовно для виробництв скла у великих об'ємах (>300 тонн/добу) Не застосовно для виробництв, на яких знімання скломаси повинно варіюватися в широких межах. Реалізація можлива лише у ході повного капітального ремонту печі
iii. Фільтрувальна система: електростатичний фільтр або рукавний фільтр	Технологія придатна для загального застосування
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.1.	

Таблиця 5.38. ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва спеціального скла

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Пил	<10 – 20	<0,03 – 0,13
	<1 – 10 ⁽²⁾	<0,003 – 0,065
⁽¹⁾ Для визначення нижнього та верхнього значення діапазону ВРВ НДТМ використані коефіцієнти перетворення $2,5 \times 10^{-3}$ та $6,5 \times 10^{-3}$ (див. Таблицю 5.2); деякі значення апроксимовані. Проте, залежно від типу скла, що виготовляється, потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку (див. Таблицю 5.2).		
⁽²⁾ ВРВ НДТМ стосуються рецептур шихти, що містять у значних кількостях компоненти, які відповідають критеріям шкідливих речовин згідно з Регламентом Європейської комісії 1272/2008.		

5.6.2 Оксиди азоту (NO_x) зі словарних печей

49. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x зі словарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

I. первинні технології, такі як:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Модифікації процесу згорання	
(a) Зменшення відношення «повітря-паливо»	Може застосовуватися для традиційних повітряно-паливних печей. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(b) Знижена температура повітря, що подається для згорання	Може застосовуватися лише за певних обставин, що залежать від конкретної установки, через зниження ККД печі та збільшення потреби у паливі (тобто використання рекуперативних печей замість регенеративних печей)
(c) Ступінчасте спалювання: • Ступінчасте подавання повітря • Ступінчасте подавання палива	Ступінчасте подавання палива у більшості традиційних повітряно-паливних печей. Можливість застосування ступінчастого подавання повітря дуже обмежена через його технічну складність
(d) Рециркуляція димових газів	Можливість застосування цієї технології обмежена використанням спеціальних пальників з автоматичною рециркуляцією відхідних газів
(e) Пальники з низьким виходом NO _x	Технологія придатна для загального застосування. Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти, загалом нижчі у випадку застосування технології в газових печах з поперечним полум'ям через технічні обмеження та меншу експлуатаційну гнучкість печі. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(f) Вибір палива	Можливість застосування обмежена умовами, пов'язаними з доступністю різних типів палива, на які може впливати енергетична політика країни-члена ЄС
ii. Електричне варіння скла	Не застосовно для виробництва скла у великих об'ємах (>300 тонн/добу). Не застосовно для виробництва, на яких знімання скломаси повинно варіюватися в широких межах. Реалізація можлива лише у ході повного капітального ремонту печі
iii. Киснево-паливне варіння скла	Максимальні вигоди для навколишнього середовища досягаються у випадках, коли технологія застосовується під час повного капітального ремонту печі

⁽¹⁾Ці технології описані у розділі 5.10.2.

II. вторинні технології, такі як:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	Для застосування може бути необхідно модернізувати систему зниження викидів пилу, щоб гарантувати концентрацію пилу нижче 10 – 15 мг/м ³ н.у., та передбачити систему знеіріння для видалення викидів SO _x . З огляду на оптимальне вікно робочих температур, застосування можливе лише у разі використання електростатичних фільтрів. Технологія, як правило, не використовується з системою рукавних фільтрів, оскільки через їх низьку робочу температуру, в межах 180 – 200 °C, відхідні гази потрібно повторно нагрівати. Для реалізації технології може бути потрібна значна доступна виробнича площа
ii. Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)	Дуже обмежена можливість застосування для традиційних регенеративних печей, у яких важко досягти належного температурного вікна, або ж воно не дозволяє добре змішати димові гази з реагентом. Технологія може бути застосовною для нових регенеративних печей, обладнаних секційними регенераторами; проте температурне вікно при цьому важко підтримувати, оскільки між камерами полум'я міняє свій напрямок, а це призводить до циклічної зміни температури

⁽¹⁾Ці технології описані у розділі 5.10.2.

Таблиця 5.39. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі виробництва спеціального скла

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
NO _x у перерахунку на NO ₂	Модифікації процесу згорання	600 – 800	1,5 – 3,2
	Електричне варіння скла	<100	<0,25 – 0,4
	Киснево-паливне варіння скла ⁽²⁾ ⁽³⁾	Не застосовно	<1 – 3
	Вторинні технології	<500	<1 – 3

⁽¹⁾ Для визначення нижнього та верхнього значення діапазону ВРВ НДТМ використані коефіцієнти перетворення $2,5 \times 10^{-3}$ та 4×10^{-3} (див. Таблицю 5.2); деякі значення апроксимовані. Проте, залежно від типу виробництва, потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку (див. Таблицю 5.2).
⁽²⁾ Вищі значення відповідають спеціальному виробництву боросилікатних скляних трубок фармацевтичного призначення.
⁽³⁾ Досяжні рівні залежать від якості доступного природного газу та кисню (вміст азоту).

50. Якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати, НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x шляхом мінімізації використання цих видів сировини у поєднанні з первинними або вторинними технологіями

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
<p>Первинні технології</p> <ul style="list-style-type: none"> Мінімізація використання нітратів у рецептурі шихти <p>Нітрати використовуються у виробництві дуже високоякісної продукції, коли скло повинно мати спеціальні властивості. Ефективними альтернативними матеріалами є сульфати, оксиди миш'яку, оксид церію</p>	<p>Можливість заміни нітратів у рецептурі шихти може бути обмежена великими витратами та/або більшим впливом альтернативних матеріалів на навколишнє середовище</p>

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.

Таблиця 5.40. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі спеціального скла, якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
NO _x у перерахунку на NO ₂	Мінімізація кількості нітратів, що вносяться в рецептуру шихти, у поєднанні з первинними або вторинними технологіями	<500 – 1000	<1 – 6

⁽¹⁾ Нижчі рівні відповідають випадку використання електричного варіння скла.
⁽²⁾ Для визначення нижнього та верхнього значення діапазону ВРВ НДТМ використані коефіцієнти перетворення $2,5 \times 10^{-3}$ та $6,5 \times 10^{-3}$ відповідно; значення апроксимовані. Залежно від типу виробництва, може бути потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку (див. Таблицю 5.2).

5.6.3 Оксиди сірки (SO_x) зі скловарних печей

51. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди SO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти та оптимізація балансу сірки	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з вимогами до якості кінцевого скляного продукту
ii. Використання палива з низьким вмістом сірки	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з доступністю палива з низьким вмістом сірки, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС
iii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування

⁽¹⁾Ці технології описані у розділі 5.10.3.

Таблиця 5.41. ВРВ НДТМ для викидів SO_x зі скловарної печі у секторі виробництва спеціального скла

Параметр	Паливо / Технологія варіння скла	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
SO _x у перерахунку на SO ₂	Природний газ, електричне варіння скла ⁽²⁾	<30 – 200	<0,08 – 0,5
	Мазут ⁽³⁾	500 – 800	1,25 – 2

⁽¹⁾Діапазони вказані з урахуванням змінних балансів сірки, що відповідають типу скла, яке виготовляється.

⁽²⁾Використовується коефіцієнт перетворення $2,5 \times 10^{-3}$ (див. Таблицю 5.2). Проте, залежно від типу виробництва, може бути потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.

⁽³⁾Нижчі рівні відповідають випадку використання електричного варіння скла та рецептур шихти без сульфатів.

⁽⁴⁾Відповідні рівні викидів вказані для випадку використання мазуту з 1 % сірки у поєднанні з вторинними технологіями зниження викидів.

5.6.4 Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей

52. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди HCl та HF зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з рецептурою шихти для типу скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини
ii. Мінімізація вмісту сполук фтору та/або хлору в рецептурі шихти та оптимізація масового балансу фтору та/або хлору Сполуки фтору використовуються для надання певних властивостей спеціальному склу (тобто з метою виготовлення непрозорого скла для освітлювальних приладів, оптичного скла). Сполуки хлору можуть використовуватися як освітлювачі у виробництві боросилікатного скла	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з вимогами до якості кінцевого продукту.
iii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування

⁽¹⁾Ці технології описані у розділі 5.10.4.

Таблиця 5.42. ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва спеціального скла

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Хлороводень у перерахунку на HCl ⁽²⁾	<10 – 20	<0,03 – 0,05
Фтороводень у перерахунку на HF	<1 – 5	<0,003 – 0,04 ⁽³⁾
⁽¹⁾ Використовується коефіцієнт перетворення $2,5 \times 10^{-3}$ (див. Таблицю 5.2); деякі значення апроксимовані. Залежно від типу виробництва, може бути потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.		
⁽²⁾ Вищі рівні відповідають випадку використання матеріалів, які містять хлор, у рецептурі шихти.		
⁽³⁾ Верхнє значення діапазону визначене за повідомленими даними для конкретних випадків.		

5.6.5 Метали зі скловарних печей

53. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди металів зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом металів для рецептури шихти	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з типом скла, який виготовляється на установці, та доступністю видів сировини
ii. Мінімізація використання сполук металів у рецептурі шихти шляхом вибору належної сировини у випадках, коли скло потрібно забарвлювати та знебарвлювати, або коли склу надаються спеціальні властивості	Технології придатні для загального застосування
iii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.5.	

Таблиця 5.43. ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва спеціального скла

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾ ⁽²⁾	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽³⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,1 – 1	<0,3 – 3×10^{-3}
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 – 5	<3 – 15×10^{-3}
⁽¹⁾ Рівні означають сумарний вміст металів, присутніх у димових газах як у твердій, так і в газоподібній фазі.		
⁽²⁾ Нижчі рівні – це ВРВ НДТМ для випадку, коли сполуки металів не використовуються в рецептурі шихти умисно.		
⁽³⁾ Використовується коефіцієнт перетворення $2,5 \times 10^{-3}$ (див. Таблицю 5.2); деякі значення, вказані у таблиці, апроксимовані. Залежно від типу виробництва, може бути потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.		

5.6.6 Викиди від операцій подальшої обробки

54. Для пилких операцій подальшої обробки НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди пилу та металів шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Виконання пилких операцій (наприклад, різання, шліфування, полірування) під рідиною	Технології придатні для загального застосування
ii. Застосування системи рукавних фільтрів	
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.8.	

Таблиця 5.44. ВРВ НДТМ для викидів пилу та металів від операцій подальшої обробки у секторі спеціального скла, якщо вони обробляються окремо

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
Пил	1 – 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI}) ⁽¹⁾	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn) ⁽¹⁾	<1 – 5

⁽¹⁾ Рівні означають сумарний вміст металів, присутніх у відхідних газах.

55. Для процесів кислотного полірування НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди HF шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Опис
i. Мінімізація втрат продукту, що використовується для полірування, шляхом забезпечення належної герметизації системи нанесення покриття	Технології придатні для загального застосування
ii. Застосування вторинної технології – наприклад, мокре очищення газів	

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.6.

Таблиця 5.45. ВРВ НДТМ для викидів HF від процесів кислотного полірування у секторі спеціального скла

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
Фтороводень у перерахунку на HF	<5

5.7 Висновки щодо НДТМ для виробництва мінеральної вати

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок з виробництва мінеральної вати.

5.7.1 Викиди пилу зі скловарних печей

56. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди пилу з відхідними газами скловарної печі шляхом застосування електростатичного фільтра або системи рукавних фільтрів

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
Фільтрувальна система: електростатичний фільтр або рукавний фільтр	Технологія придатна для загального застосування. Електростатичні фільтри непридатні для застосування у вагранках для виробництва кам'яної вати через ризик вибуху внаслідок займання чадного газу, що утворюється в печі
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.1.	

Таблиця 5.46. ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва мінеральної вати

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Пил	<10 – 20	<0,02 – 0,050
⁽¹⁾ Для визначення нижнього та верхнього значення діапазону ВРВ НДТМ використані коефіцієнти перетворення 2×10^{-3} та $2,5 \times 10^{-3}$ (див. Таблицю 5.2), аби охопити виробництво як скловати, так і кам'яної вати.		

5.7.2 Оксиди азоту (NO_x) зі скловарних печей

57. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Модифікації процесу згорання	
a) Зменшення відношення «повітря-паливо»	Може застосовуватися для традиційних повітряно-паливних печей. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
b) Знижена температура повітря, що подається для згорання	Може застосовуватися лише за певних обставин, що залежать від конкретної установки, через зниження ККД печі та збільшення потреби у паливі (тобто використання рекуперативних печей замість регенеративних печей)
c) Ступінчасте спалювання: <ul style="list-style-type: none"> Ступінчасте подавання повітря Ступінчасте подавання палива 	Ступінчасте подавання палива у більшості традиційних повітряно-паливних печей. Можливість застосування ступінчастого подавання повітря дуже обмежена через його технічну складність
d) Рециркуляція димових газів	Можливість застосування цієї технології обмежена використанням спеціальних пальників з автоматичною рециркуляцією відхідних газів
e) Пальники з низьким виходом NO _x	Технологія придатна для загального застосування. Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти, загалом нижчі у випадку застосування технології в газових печах з поперечним полум'ям через технічні обмеження та меншу експлуатаційну гнучкість печі. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
f) Вибір палива	Можливість застосування обмежена умовами, пов'язаними з доступністю різних типів палива, на які може впливати енергетична політика країни-члена ЄС
ii. Електричне варіння скла	Не застосовно для виробництв скла у великих об'ємах (>300 тонн/добу). Не застосовно для виробництв, на яких знімання скломаси повинно варіюватися в широких межах. Реалізація можлива лише у ході повного капітального ремонту печі
iii. Киснево-паливне варіння скла	Максимальні вигоди для навколишнього середовища досягаються у випадках, коли технологія застосовується під час повного капітального ремонту печі
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.	

Таблиця 5.47. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі виробництва мінеральної вати

Параметр	Продукт	Технологія варіння скла	ВРВ НДТМ	
			мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
NO _x у перерахунку на NO ₂	Скловата	Повітряно-паливні та електричні печі	<200 – 500	<0,4 – 1,0
		Киснево-паливне варіння скла ⁽²⁾	Не застосовно	<0,5
	Кам'яна вата	Усі типи печей	<400 – 500	<1,0 – 1,25

⁽¹⁾ Використовуються коефіцієнти перетворення 2×10^{-3} для скловати та $2,5 \times 10^{-3}$ для кам'яної вати (див. Таблицю 5.2).

⁽²⁾ Досяжні рівні залежать від якості доступного природного газу та кисню (вміст азоту).

58. Якщо у рецептурі шихти для виробництва скловати використовуються нітрати, НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація використання нітратів у рецептурі шихти Нітрати застосовуються як окиснювач у рецептурах шихти з великою часткою привізного скляного бою для компенсації присутності органічних матеріалів, що містяться у скляному бої	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з вимогами до якості кінцевого продукту.
ii. Електричне варіння скла	Технологія придатна для загального застосування. Реалізація електричного варіння скла можлива лише у ході повного капітального ремонту печі
iii. Киснево-паливне варіння скла	Технологія придатна для загального застосування. Максимальні вигоди для навколишнього середовища досягаються у випадках, коли технологія застосовується під час повного капітального ремонту печі

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.

Таблиця 5.48. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у виробництві скловати, якщо у рецептурі шихти використовуються нітрати

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
NO _x у перерахунку на NO ₂	Мінімізація кількості нітратів, що вносяться в рецептуру шихти, у поєднанні з первинними технологіями	<500 – 700	<1,0 – 1,4 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Використовується коефіцієнт перетворення 2×10^{-3} (див. Таблицю 5.2).

⁽²⁾ Нижчі значення діапазонів відповідають застосуванню киснево-паливного варіння скла.

5.7.3 Оксиди сірки (SO_x) зі скловарних печей

59. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди SO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти та оптимізація балансу сірки	У виробництві скловати технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з доступністю сировини з низьким вмістом сірки – зокрема, привізного скляного бою. Великі частки привізного скляного бою у рецептурі шихти обмежують можливість оптимізації балансу сірки через нерівномірність вмісту сірки. У виробництві кам'яної вати для оптимізації балансу сірки може бути необхідно знайти компроміс між видаленням викидів SO _x з димових газів та керуванням твердими відходами, які утворюються в результаті очищення димових газів (відфільтрований пил) та/або у процесі волокноутворення, і які можуть перероблятися шляхом повернення в рецептуру шихти (цементні брикети) або можуть потребувати захоронення
ii. Використання палива з низьким вмістом сірки	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з доступністю палива з низьких вмістом сірки, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС
iii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Електростатичні фільтри непридатні для застосування у вагранках для виробництва кам'яної вати (див. НДТМ 56)
iv. Використання мокрого очищення газів	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням технічних обмежень, тобто потреби у спеціальній установці очищення стічних вод

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділах 5.10.3 та 5.10.6.

Таблиця 5.49. ВРВ НДТМ для викидів SO_x зі скловарної печі у секторі виробництва мінеральної вати

Параметр	Продукт / Умови	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
SO _x у перерахунку на SO ₂	Скловата		
	Газові та електричні печі ⁽²⁾	<50 – 150	<0,1 – 0,3
	Кам'яна вата		
	Газові та електричні печі	<350	<0,9
	Вагранки, без переробки брикетів або шлаку ⁽³⁾	<400	<1,0
	Вагранки, з переробкою цементних брикетів або шлаку ⁽⁴⁾	<1400	<3,5

⁽¹⁾ Використовуються коефіцієнти перетворення 2×10^{-3} для скловати та $2,5 \times 10^{-3}$ для кам'яної вати (див. Таблицю 5.2).

⁽²⁾ Нижчі значення діапазонів відповідають випадку використання електричного варіння скла. Вищі значення відповідають високим ступеням переробки скляного бою.

⁽³⁾ ВРВ НДТМ відповідають умовам, коли зниження викидів SO_x має вищий пріоритет, ніж зменшення утворення твердих відходів.

⁽⁴⁾ Якщо зменшення утворення відходів має вищий пріоритет, ніж зниження викидів SO_x, можуть очікуватися вищі значення викидів. Досяжні рівні слід визначати за балансом сірки.

5.7.4 Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей

60. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди HCl та HF зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Опис
i. Вибір сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з рецептурою шихти та доступністю сировини
ii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Електростатичні фільтри непридатні для застосування у вагранках для виробництва кам'яної вати (див. НДТМ 56)

⁽¹⁾Ці технології описані у розділі 5.10.4.

Таблиця 5.50. ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва мінеральної вати

Параметр	Продукт	ВРВ НДТМ	
		мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Хлороводень у перерахунку на HCl	Скловата	<5 – 10	<0,01 – 0,02
	Кам'яна вата	<10 – 30	<0,025 – 0,075
Фтороводень у перерахунку на HF	Усі види продукції	<1 – 5	<0,002 – 0,013 ⁽²⁾

⁽¹⁾Використовуються коефіцієнти перетворення 2×10^{-3} для скловати та $2,5 \times 10^{-3}$ для кам'яної вати (див. Таблицю 5.2).

⁽²⁾Для визначення нижнього та верхнього значення діапазону ВРВ НДТМ використані коефіцієнти перетворення 2×10^{-3} та $2,5 \times 10^{-3}$ (див. Таблицю 5.2).

5.7.5 Сірководень (H₂S) зі скловарних печей для виробництва кам'яної вати

61. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди H₂S зі скловарної печі шляхом застосування системи спалювання відхідних газів для окиснення сірководню до SO₂

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
Система спалювання відхідних газів	Технологія придатна для загального застосування у вагранках для виробництва кам'яної вати

⁽¹⁾Ці технології описані у розділі 5.10.9.

Таблиця 5.51. ВРВ НДТМ для викидів H₂S зі скловарної печі у виробництві кам'яної вати

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Сірководень у перерахунку на H ₂ S	<2	<0,005

⁽¹⁾Для кам'яної вати застосовується коефіцієнт перетворення $2,5 \times 10^{-3}$ (див. Таблицю 5.2).

5.7.6 Метали зі словарних печей

62. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди металів зі словарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом металів для рецептури шихти	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з доступністю сировини. У виробництві скловати використання марганцю як окиснювача у рецептурі шихти залежить від кількості та якості привізного скляного бою, що використовується у рецептурі шихти, і може бути відповідним чином мінімізоване
ii. Застосування фільтрувальної системи	Електростатичні фільтри непридатні для застосування у вагранках для виробництва кам'яної вати (див. НДТМ 56)

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.5.

Таблиця 5.52. ВРВ НДТМ для викидів металів зі словарної печі у секторі виробництва мінеральної вати

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 – 1 ⁽³⁾	<0,4 – 2,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 – 2 ⁽³⁾	<2 – 5 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Діапазони означають сумарний вміст металів, присутніх у димових газах як у твердих, так і в газоподібній фазі.

⁽²⁾ Для визначення нижнього та верхнього значення діапазону ВРВ НДТМ використані коефіцієнти перетворення 2 x 10⁻³ та 2,5 x 10⁻³ (див. Таблицю 5.2).

⁽³⁾ Вищі значення відповідають випадку використання вагранок для виробництва кам'яної вати.

5.7.7 Викиди від операцій подальшої обробки

63. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди від операцій подальшої обробки шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Ударні сопла та циклони Технологія полягає у видаленні твердих часток та крапель з відхідних газів за рахунок ударів бризок / зіткнень, а також у видаленні газоподібних сполук за рахунок часткової абсорбції водою. У роботі ударних сопел зазвичай використовується технологічна вода. Рециркульована технологічна вода фільтрується перед повторним застосуванням	Технологія придатна для загального застосування у секторі виробництва мінеральної вати, особливо у процесах виробництва скловати для очищення викидів із зони формування (нанесення покриття на волокно). Можливість її застосування у процесах виробництва кам'яної вати обмежена, оскільки вона може несприятливо вплинути на інші технології зниження викидів, що використовуються.
ii. Мокрі скрубери	Технологія придатна для загального застосування з метою очищення відхідних газів, що утворюються у процесі формування (нанесення покриття на волокно), або об'єднаних відхідних газів (формування плюс стверджування)
iii. Мокрі електростатичні фільтри	Технологія придатна для загального застосування з метою очищення відхідних газів, що утворюються у процесі формування (нанесення покриття на волокно) чи у стверджувальних печах, або об'єднаних відхідних газів (формування плюс стверджування)

iv. Фільтри з кам'яної вати	Може застосовуватися головним чином у процесах виробництва кам'яної вати для очищення відхідних газів, що надходять із зони формування та/або стверджувальних печей
Фільтр виконаний у вигляді сталеві чи бетонної конструкції, у якій змонтовані плити кам'яної вати, що виконують функцію фільтрувального матеріалу. Фільтрувальний матеріал потрібно періодично чистити або замінювати. Фільтр підходить для очищення відхідних газів з високим вмістом вологи та клейких твердих часток	
v. Спалювання відхідних газів	Технологія придатна для загального застосування з метою очищення відхідних газів від стверджувальних печей, зокрема, у процесах виробництва кам'яної вати. Застосування для очищення об'єднаних відхідних газів (формування плюс ствердження) економічно не вигідне через великий об'єм, низьку концентрацію та низьку температуру відхідних газів
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділах 5.10.7 та 5.10.9.	

Таблиця 5.53. ВРВ НДТМ для викидів у повітря від операцій подальшої обробки у секторі виробництва мінеральної вати, якщо вони обробляються окремо

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну готової продукції
Зона формування – Об'єднані викиди від формування та ствердження – Об'єднані викиди від формування, ствердження та охолодження		
Загальний вміст твердих часток	<20 – 50	-
Фенол	<5 – 10	-
Формальдегід	<2 – 5	-
Аміак	30 – 60	-
Аміни	<3	-
Загальний вміст летких органічних сполук у перерахунку на С	10 – 30	-
Викиди зі стверджувальної печі ⁽¹⁾ ⁽²⁾		
Загальний вміст твердих часток	<5 – 30	<0,2
Фенол	<2 – 5	<0,03
Формальдегід	<2 – 5	<0,03
Аміак	<20 – 60	<0,4
Аміни	<2	<0,01
Загальний вміст летких органічних сполук у перерахунку на С	<10	<0,065
NO _x у перерахунку на NO ₂	<100 – 200	<1
⁽¹⁾ Рівні викидів, виражені у кг/тонну готової продукції, не залежать ні від товщини мата мінеральної вати, що виготовляється, ні від вкрай високих концентрацій або розбавлення димових газів. Застосовується коефіцієнт перетворення 6,5 x 10 ⁻³ .		
⁽²⁾ Якщо виготовляються види мінеральної вати високої щільності або з високим вмістом в'язучої речовини, відповідні рівні викидів для технологій, перелічених у якості НДТМ для цього сектора, можуть бути значно вищими, ніж ці ВРВ НДТМ. Якщо ці типи продукції становлять більшу частину об'єму виробництва на даній установці, слід розглянути можливість застосування інших технологій.		

5.8 Висновки щодо НДТМ для виробництва високотемпературного ізоляційного волокна (ВТІВ)

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок з виробництва ВТІВ.

5.8.1 Викиди пилу від процесу варіння скла та операцій подальшої обробки

64. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди пилу з відхідними газами скловарної печі шляхом застосування фільтрувальної системи.

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
Фільтрувальна система зазвичай виконана у вигляді рукавного фільтра	Технологія придатна для загального застосування
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.1.	

Таблиця 5.54. ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва ВТІВ

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ
		мг/м ³ н.у.
Пил	Очищення димових газів за допомогою фільтрувальних систем	<5 – 20 ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Значення відповідають випадку використання системи рукавних фільтрів.		

65. Для пилких операцій подальшої обробки НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
<p>i. Мінімізація втрат продукту шляхом забезпечення належної герметизації виробничої лінії, якщо це технічно можливо.</p> <p>Потенційними джерелами викидів пилу та волокон є:</p> <ul style="list-style-type: none">• волокноутворення та збирання• формування мата (зшивання у голкопробивну тканину)• випалювання мастила• різання, обрізання країв та пакування готової продукції <p>Належна конструкція, герметизація та технічне обслуговування систем подальшої обробки життєво важливі для мінімізації втрат продукту шляхом його винесення у повітря</p>	Технології придатні для загального застосування
<p>ii. Різання, обрізання країв та пакування під вакуумом шляхом застосування ефективної витяжної системи у поєднанні з рукавним фільтром.</p> <p>На робочому місці (тобто на різальній машині, у картонній коробці для пакування) створюється від’ємний тиск для відсмоктування твердих часток і волокнистих залишків та їх транспортування до рукавного фільтра</p>	
<p>iii. Застосування системи рукавних фільтрів ⁽¹⁾</p> <p>Відхідні гази від операцій подальшої обробки (наприклад, волокноутворення, формування мата, випалювання мастила) транспортуються в очисну систему, виконану у вигляді рукавного фільтра</p>	
⁽¹⁾ Ці технології описані в розділі 5.10.1.	

Таблиця 5.55. ВРВ НДТМ для викидів від пилкових операцій подальшої обробки у секторі виробництва ВТІВ, якщо вони обробляються окремо

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
Пил ⁽¹⁾	1 – 5

⁽¹⁾ Найнижче значення діапазону відповідає викидам алюмосилікатного скловолокна / вогнетривкого керамічного волокна (ASW/RCF).

5.8.2 Оксиди азоту (NO_x) від процесу варіння скла та операцій подальшої обробки

66. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x з печі для випалювання мастила шляхом застосування регулювання та/або модифікацій процесу згорання

Технологія	Застосовність
Регулювання та/або модифікації процесу згорання Технології для зменшення утворення викидів термічних NO _x передбачають регулювання таких основних параметрів процесу згорання: <ul style="list-style-type: none"> • відношення «повітря-паливо» (вміст кисню в зоні реакції); • температура полум'я; • час перебування у високотемпературній зоні. Належне регулювання процесу згорання забезпечує створення таких умов, які будуть найменш сприятливими для утворення NO _x	Технологія придатна для загального застосування

Таблиця 5.56. ВРВ НДТМ для викидів NO_x з печі для випалювання мастила у секторі виробництва ВТІВ

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ
		мг/м ³ н.у.
NO _x у перерахунку на NO ₂	Регулювання та/або модифікації процесу згорання	100 – 200

5.8.3 Оксиди сірки (SO_x) від процесу варіння скла та операцій подальшої обробки

67. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди SO_x зі скловарних печей та від операцій подальшої обробки шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом сірки для рецептури шихти	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з доступністю сировини
ii. Використання палива з низьким вмістом сірки	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з доступністю палива з низьким вмістом сірки, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС

⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.3.

Таблиця 5.57. ВРВ НДТМ для викидів SO_x зі скловарних печей та від операцій подальшої обробки у секторі виробництва ВТІВ

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ
		мг/м ³ н.у.
SO _x у перерахунку на SO ₂	Первинні технології	<50

5.8.4 Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей

68. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди HCl та HF зі скловарної печі шляхом вибору сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
Вибір сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти	Технологія придатна для загального застосування
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.4.	

Таблиця 5.58. ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва ВТІВ

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
Хлороводень у перерахунку на HCl	<10
Фтороводень у перерахунку на HF	<5

5.8.5 Метали зі скловарних печей та від операцій подальшої обробки

69. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди металів зі скловарної печі та/або від операцій подальшої обробки шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾		Застосовність	
i.	Вибір сировини з низьким вмістом металів для рецептури шихти	Технології придатні для загального застосування	
ii.	Застосування фільтрувальної системи		
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.5.			

Таблиця 5.59. ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі та/або від операцій подальшої обробки у секторі виробництва ВТІВ

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾
	мг/м ³ н.у.
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5
⁽¹⁾ Рівні означають сумарний вміст металів, присутніх у димових газах як у твердій, так і в газоподібній фазі.	

5.8.6 Леткі органічні сполуки від операцій подальшої обробки

70. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди летких органічних сполук (ЛОС) із печі для випалювання мастила шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
<p>i. Регулювання процесу згорання, у тому числі моніторинг відповідних викидів СО.</p> <p>Технологія полягає у регулюванні параметрів процесу згорання (наприклад, вмісту кисню в зоні реакції, температури полум'я) для забезпечення повного згорання органічних компонентів (тобто поліетиленгліколю) у відхідних газах. Моніторинг викидів чадного газу дає змогу контролювати присутність органічних матеріалів, які не згоріли</p>	Технологія придатна для загального застосування
ii. Спалювання відхідних газів	Можливість застосування цих технологій може бути обмежена їх рентабельністю через малі об'єми відхідних газів та концентрації ЛОС
iii. Мокрі скрубери	
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділах 5.10.6 та 5.10.9.	

Таблиця 5.60. ВРВ НДТМ для викидів ЛОС із печі для випалювання мастила у секторі виробництва ВТІВ, якщо вони обробляються окремо

Параметр	НДТМ	ВРВ НДТМ
		мг/м ³ н.у.
Леткі органічні сполуки у перерахунку на С	Первинні та/або вторинні технології	10 – 20

5.9 Висновки щодо НДТМ для виробництва фрит

Якщо не зазначено інше, наведені у цьому розділі висновки щодо НДТМ можуть застосовуватися до всіх установок з виробництва фрит.

5.9.1 Викиди пилу зі скловарних печей

71. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди пилу з відхідними газами скловарної печі шляхом застосування електростатичного фільтра або системи рукавних фільтрів

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
Фільтрувальна система: електростатичний фільтр або рукавний фільтр	Технологія придатна для загального застосування
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.1.	

Таблиця 5.61. ВРВ НДТМ для викидів пилу зі скловарної печі у секторі виробництва фрит

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Пил	<10 – 20	<0,05 – 0,15
⁽¹⁾ Для визначення нижнього та верхнього значення діапазону ВРВ НДТМ використані коефіцієнти перетворення 5×10^{-3} та $7,5 \times 10^{-3}$ (див. Таблицю 5.2). Проте, залежно від типу згорання, може бути потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку.		

5.9.2 Оксиди азоту (NO_x) зі скловарних печей

72. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди NO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Мінімізація використання нітратів у рецептурі шихти У виробництві фрит нітрати використовуються в рецептурі шихти багатьох видів продукції для отримання необхідних характеристик	Можливість заміни нітратів у рецептурі шихти може бути обмежена великими витратами та/або більшим впливом альтернативних матеріалів на навколишнє середовище та/або вимогами до якості кінцевого продукту
ii. Зменшення кількості повітря, що підсмоктується в піч Ця технологія полягає у запобіганні потраплянню повітря в піч шляхом ущільнення блоків пальників, живильника для подавання шихти та всіх інших отворів скловарної печі	Технологія придатна для загального застосування
iii. Модифікації процесу згорання	
(a) Зменшення відношення «повітря-паливо»	Може застосовуватися для традиційних повітряно-паливних печей. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(b) Знижена температура повітря, що подається для згорання	Може застосовуватися лише за певних обставин, що залежать від конкретної установки, через зниження ККД печі та збільшення потреби у паливі
(c) Ступінчасте спалювання: <ul style="list-style-type: none"> Ступінчасте подавання повітря Ступінчасте подавання палива 	Ступінчасте подавання палива у більшості традиційних повітряно-паливних печей. Можливість застосування ступінчастого подавання повітря дуже обмежена через його технічну складність

(d) Рециркуляція димових газів	Можливість застосування цієї технології обмежена використанням спеціальних пальників з автоматичною рециркуляцією відхідних газів
(e) Пальники з низьким виходом NO _x	Технологія придатна для загального застосування. Вигоди у повному об'ємі досягаються, якщо технологія реалізується у ході звичайного чи повного капітального ремонту печі у поєднанні з оптимальною конструкцією та геометрією печі
(f) Вибір палива	Можливість застосування обмежена умовами, пов'язаними з доступністю різних типів палива, на які може впливати енергетична політика країни-члена ЄС
iv. Киснево-паливне варіння скла	Максимальні вигоди для навколишнього середовища досягаються у випадках, коли технологія застосовується під час повного капітального ремонту печі
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.2.	

Таблиця 5.62. ВРВ НДТМ для викидів NO_x зі скловарної печі у секторі виробництва фрит

ВРВ НДТМ ⁽¹⁾				
Параметр	НДТМ	Умови експлуатації	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
NO _x у перерахунку на NO ₂	Первинні технології	Киснево-паливне горіння, без нітратів ⁽³⁾	Не застосовно	<2,5 – 5
		Киснево-паливне горіння, з використанням нітратів	Не застосовно	5 – 10
		Повітряно-паливне згорання, згорання палива у збагаченому киснем повітрі, без нітратів	500 – 1000	2,5 – 7,5
		Повітряно-паливне згорання, згорання палива у збагаченому киснем повітрі, з використанням нітратів	<1600	<12

⁽¹⁾ Діапазони вказані з урахуванням об'єднання димових газів від печей, у яких застосовуються різні технології варіння скла та виготовляються різноманітні типи фрит, з використанням нітратів у рецептурах шихти або без них, які можуть відводитися у єдину димову трубу, і це виключає можливість охарактеризування кожної технології варіння скла, що застосовується, та різних видів продукції.

⁽²⁾ Для визначення нижнього та верхнього значення діапазону використовувалися коефіцієнти перетворення 5×10^{-3} та $7,5 \times 10^{-3}$. Проте, залежно від типу згорання, може бути потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку (див. Таблицю 5.2).

⁽³⁾ Досяжні рівні залежать від якості доступного природного газу та кисню (вміст азоту).

5.9.3 Оксиди сірки (SO_x) зі скловарних печей

73. НДТМ полягає в тому, щоб контролювати викиди SO_x зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом сірки для рецептури шихти	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з доступністю сировини
ii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування
iii. Використання палива з низьким вмістом сірки	Можливість застосування може бути обмежена умовами, пов'язаними з доступністю палива з низьким вмістом сірки, яка може залежати від енергетичної політики конкретної країни-члена ЄС
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.3.	

Таблиця 5.63. ВРВ НДТМ для викидів SO_x зі скловарної печі у секторі виробництва фрит

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
SO _x у перерахунку на SO ₂	<50 – 200	<0,25 – 1,5
⁽¹⁾ Використовуються коефіцієнти перетворення 5×10^{-3} та $7,5 \times 10^{-3}$; проте значення, вказані у таблиці, могли бути апроксимовані. Залежно від типу згорання, може бути потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку (див. Таблицю 5.2).		

5.9.4 Хлороводень (HCl) та фтороводень (HF) зі скловарних печей

74. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди HCl та HF зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з рецептурою шихти та доступністю сировини
ii. Мінімізація вмісту сполук фтору в рецептурі шихти, якщо вони застосовуються для забезпечення потрібної якості кінцевого продукту Сполуки фтору використовуються для надання фритам певних властивостей (тобто термічної та хімічної стійкості)	Мінімізація вмісту або заміна сполук фтору альтернативними матеріалами обмежена вимогами до якості продукції
iii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Технологія придатна для загального застосування
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.4.	

Таблиця 5.64. ВРВ НДТМ для викидів HCl та HF зі скловарної печі у секторі виробництва фрит

Параметр	ВРВ НДТМ	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽¹⁾
Хлороводень у перерахунку на HCl	<10	<0,05
Фтороводень у перерахунку на HF	<5	<0,03
⁽¹⁾ Використовується коефіцієнт перетворення 5×10^{-3} ; деякі значення апроксимовані. Залежно від типу згорання, може бути потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку (див. Таблицю 5.2).		

5.9.5 Метали зі скловарних печей

75. НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди металів зі скловарної печі шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
i. Вибір сировини з низьким вмістом металів для рецептури шихти	Технологія придатна для загального застосування з урахуванням обмежень, пов'язаних з типом фрити, що виготовляється на установці, та доступністю сировини
ii. Мінімізація використання сполук металів у рецептурі шихти в тих випадках, коли фрити необхідно забарвити або надати їй інші спеціальні властивості	Технології придатні для загального застосування
iii. Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.5.	

Таблиця 5.65. ВРВ НДТМ для викидів металів зі скловарної печі у секторі виробництва фрит

Параметр	ВРВ НДТМ ⁽¹⁾	
	мг/м ³ н.у.	кг/тонну звареного скла ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1	<7,5 × 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5	<37 × 10 ⁻³

⁽¹⁾ Рівні означають сумарний вміст металів, присутніх у димових газах як у твердій, так і в газоподібній фазі.
⁽²⁾ Застосовується коефіцієнт перетворення 7,5 × 10⁻³. Залежно від типу згорання, може бути потрібно застосовувати коефіцієнт перетворення для конкретного випадку (див. Таблицю 5.2).

5.9.6 Викиди від операцій подальшої обробки

76. Для пилких операцій подальшої обробки НДТМ полягає в тому, щоб знизити викиди шляхом застосування однієї з перелічених нижче технологій або їх поєднання:

Технологія ⁽¹⁾	Застосовність
<p>i. Застосування технологій мокрого помелу</p> <p>Технологія полягає у розмелюванні фрити до бажаного гранулометричного складу з достатньої кількості рідини для утворення шламу. Цей процес зазвичай здійснюється в кульових млинах з глиноземними кулями у присутності води</p>	Технології придатні для загального застосування
<p>ii. Виконання операцій сухого помелу пакування сухої продукції під ефективною витяжною системою у поєднанні з рукавним фільтром</p> <p>У помельному обладнанні або на робочому місці, де здійснюється пакування, створюється від'ємний тиск для відведення викидів пилу до рукавного фільтра</p>	
<p>iii. Застосування фільтрувальної системи</p>	
⁽¹⁾ Ці технології описані у розділі 5.10.1.	

Таблиця 5.66. ВРВ НДТМ для викидів у повітря від операцій подальшої обробки у секторі виробництва фрит, якщо вони обробляються окремо

Параметр	ВРВ НДТМ
	мг/м ³ н.у.
Пил	5 – 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1 ⁽¹⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Рівні означають сумарний вміст металів, присутніх у відхідних газах.

Словник термінів.

5.10 Опис технологій

5.10.1 Викиди пилу

Технологія	Опис
Електростатичний фільтр (електростатичний пиловловлювач)	Електростатичні фільтри працюють таким чином, що частки набувають заряду і відділяються під впливом електростатичного поля. Електростатичні фільтри здатні працювати в дуже широкому діапазоні умов
Рукавний фільтр	Рукавні фільтри виготовляються з пористої тканини або повстяної тканини, крізь яку пропускаються гази для видалення з них часток. Для використання рукавних фільтрів необхідно вибрати тканину, яка буде підходити для характеристик відхідних газів та максимальної робочої температури

Зменшення кількості летких сполук шляхом модифікації сировини	Рецептура шихти може містити дуже леткі компоненти (наприклад, сполуки бору), які можна замінити або мінімізувати їх вміст для зниження викидів пилу, що утворюються головним чином внаслідок переходу в леткий стан
Електричне варіння скла	Технологія полягає у використанні скловарної печі, у якій енергія підводиться за рахунок нагрівання опором. У печах з холодним склепінням (у яких електроди зазвичай вставляються знизу печі) шар шихти вкриває поверхню розплаву, у результаті чого компоненти шихти (тобто сполуки свинцю) набагато менше переходять у леткий стан

5.10.2 Викиди NO_x

Технологія	Опис
Модифікації процесу згорання	
i. Зменшення відношення «повітря-паливо»	Технологія базується головним чином на таких особливостях: <ul style="list-style-type: none"> • мінімізація протікання повітря в піч; • ретельне регулювання повітря, що використовується для згорання; • модифікована конструкція камери згорання в печі.
ii. Знижена температура повітря, що подається для згорання	Використання рекуперативних печей замість регенеративних печей призводить до зниження температури підігрівання повітря, а відтак до зменшення температури полум'я. Проте це супроводжується зменшенням ККД печі (зменшенням питомого знімання скломаси), зменшенням паливного ККД та збільшенням потреби у паливі, а отже, потенційно може призвести до збільшення викидів (кг/тонну скла)
iii. Ступінчасте спалювання	<ul style="list-style-type: none"> • Ступінчасте подавання повітря полягає в тому, щоб організувати субстехіометричне горіння палива і додати решту повітря або кисню в піч для забезпечення повного згорання. • Ступінчасте подавання палива полягає в тому, що у горловині вльоту запалюється низькоімпульсне полум'я (близько 10 % загальної енергії), а вторинне полум'я покриває кореневу частину первинного полум'я, знижуючи температуру в його ядрі.
iv. Рециркуляція димових газів	Полягає у повторному вприскуванні відхідних газів з печі у полум'я для зменшення вмісту кисню, а отже, температури полум'я. Використання спеціальних пальників передбачає внутрішню рециркуляцію газоподібних продуктів згорання, які охолоджують кореневу частину полум'я і зменшують вміст кисню у найгарячішій частині полум'я.
v. Пальники з низьким виходом NO _x	Ця технологія базується на принципах зниження пікових температур полум'я зі сповільненим, але повним згоранням і посиленням теплообміну (збільшенням тепловіддачі полум'я). Вона може впроваджуватися у рамках модифікації конструкції камери згорання печі
vi. Вибір палива	Як правило, викиди NO _x з мазутних печей менші, ніж з газових печей, завдяки кращому коефіцієнту тепловіддачі та нижчим температурам полум'я

Спеціальна конструкція печі	<p>Піч рекуперативного типу з різними особливостями, які дають змогу працювати з нижчими температурами полум'я. Її основні особливості такі:</p> <ul style="list-style-type: none"> • пальники спеціального типу (кількість та розташування); • модифікована геометрія печі (висота та розмір); • двоступеневе підігрівання сировини відхідними газами, що проходять над сировиною, яка входить у піч, та підігрівач привізного скляного бою, що встановлений після рекуператора і використовується для підігрівання повітря, яке подається для згорання.
Електричне варіння скла	<p>Технологія полягає у використанні скловарної печі, у якій енергія підводиться за рахунок нагрівання опором. Її основні особливості такі:</p> <ul style="list-style-type: none"> • електроди зазвичай вставляються знизу печі (холодне склепіння); • у рецептурі шихти для електричних печей з холодним склепінням часто потрібні нітрати з метою забезпечення необхідних окисних умов для стабільного, безпечного та ефективного процесу виробництва.
Киснево-паливне варіння скла	<p>Ця технологія полягає в заміні повітря, що подається для згорання, киснем (з чистотою >90 %): це виключає/зменшує утворення термічних оксидів азоту NO_x з азоту, що потрапляє в піч. Залишковий вміст азоту в печі залежить від чистоти постаченого кисню, від якості палива (% N_2 у природному газі) та від кількості повітря, що потенційно може потрапляти в піч</p>
Хімічне відновлення паливом	<p>Технологія базується на вприскуванні викопного палива у відхідні гази з хімічним відновленням NO_x до N_2 за допомогою ряду реакцій. У процесі 3R паливо (природний газ або мазут) вприскується на вхід регенератора. Технологія розрахована на використання у регенеративних печах</p>
Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	<p>Технологія полягає в тому, щоб відновити NO_x до азоту в каталітичному шарі за допомогою реакції з аміаком (зазвичай у вигляді водного розчину) за оптимальної робочої температури близько 300 – 450 °C.</p> <p>Може застосовуватися один або два шари каталізатора. Більше зниження рівнів NO_x досягається за допомогою більшої кількості каталізатора (два шари)</p>
Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)	<p>Технологія полягає в тому, щоб відновити NO_x до азоту в каталітичному шарі за допомогою реакції з аміаком або сечовиною за високої температури.</p> <p>Вікно робочих температур необхідно підтримувати в межах від 900 до 1050 °C</p>
Мінімізація використання нітратів у рецептурі шихти	<p>Мінімізація кількості нітратів використовується для зниження викидів NO_x, що утворюються внаслідок розкладання цих видів сировини при їх додаванні у якості окиснювача для дуже високоякісної продукції, яка повинна виготовлятися зі скла високого ступеня безбарвності (прозорого), або для інших видів скла з метою надання їм потрібних властивостей. Можуть застосовуватися такі варіанти:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Зменшення вмісту нітратів у рецептурі шихти до мінімального рівня, сумісного з вимогами до продукції та варіння скла. • Заміна нітратів альтернативними матеріалами. Ефективними альтернативами є сульфати, оксиди миш'яку, оксид церію. • Застосування модифікацій технологічного процесу (наприклад, створення спеціальних окисних умов згорання).

5.10.3 Викиди SO_x

Технологія	Опис
Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Сухий порошок або суспензія/розчин лужного реагенту вводиться у потік відхідних газів і розсіюється в ньому. Матеріал реагує з газоподібними сполуками сірки, утворюючи тверду речовину, яку потрібно видалити шляхом фільтрування (за допомогою рукавного фільтра або електростатичного фільтра). Як правило, використання реакційної башти підвищує ефективність видалення забруднень системою очищення газів
Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти та оптимізація балансу сірки	Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти застосовується для зниження викидів SO _x , що утворюються в результаті розкладання сірковмісної сировини (зазвичай сульфатів), що використовується у якості освітлювача. Ефективність зниження викидів SO _x залежить від ступеня утримання сполук сірки у склі, який може суттєво варіюватися залежно від типу скла, та від оптимізації балансу сірки
Використання палива з низьким вмістом сірки	Використання природного газу або мазуту з низьким вмістом сірки знижує кількість викидів SO _x , що утворюються внаслідок окиснення сірки, яка міститься в паливі, під час згорання

5.10.4 Викиди HCl, HF

Технологія	Опис
Вибір сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти	Технологія полягає у ретельному виборі сировини, яка може містити хлориди та фториди у вигляді домішок (наприклад, синтетична кальцинована сода, доломіт, привізний скляний бій, повернений у процес відфільтрований піл), для зниження викидів HCl та HF, що утворюються внаслідок розкладання цих матеріалів у процесі варіння скла, в місці їх утворення
Мінімізація вмісту сполук фтору та/або хлору в рецептурі шихти та оптимізація масового балансу фтору та/або хлору	Викиди фтору та/або хлору з процесу варіння скла можна мінімізувати шляхом мінімізації/зменшення кількості цих речовин у рецептурі шихти до мінімального рівня, за якого буде забезпечуватися належна якість кінцевого продукту. Сполуки фтору (наприклад, флюорит, кріоліт, фторсилікат) використовуються для надання певних властивостей спеціальному склу (наприклад, непрозорому склу, оптичному склу). Сполуки хлору можуть використовуватися як освітлювачі
Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Сухий порошок або суспензія/розчин лужного реагенту вводиться у потік відхідних газів і розсіюється в ньому. Матеріал реагує з газоподібними хлоридами та фторидами, утворюючи тверду речовину, яку потрібно видалити шляхом фільтрування (за допомогою електростатичного фільтра або рукавного фільтра).

5.10.5 Викиди металів

Технологія	Опис
Вибір сировини з низьким вмістом металів для рецептури шихти	Технологія полягає у ретельному виборі сировини для шихти, яка може містити метали у вигляді домішок (наприклад, привізний скляний бій), для зниження викидів металів, що утворюються внаслідок розкладання цих матеріалів у процесі варіння скла, в місці їх утворення
Мінімізація використання металевих сполук у рецептурі шихти, якщо скло потрібно забарвлювати та знебарвлювати з огляду на вимоги споживача до якості скла	Викиди металів з процесу варіння скла можна мінімізувати таким чином: <ul style="list-style-type: none"> • мінімізація кількості сполук металів у рецептурі шихти (наприклад, сполук заліза, хрому, кобальту, міді, марганцю) при виробництві кольорових видів скла; • мінімізація кількості сполук селену та оксиду церію, що використовуються у якості знебарвлювачів для виробництва прозорого скла.

Мінімізація використання сполук селену у рецептурі шихти шляхом вибору належної сировини	Викиди селену з процесу варіння скла можна мінімізувати таким чином: <ul style="list-style-type: none"> • мінімізація/зменшення кількості селену у рецептурі шихти до мінімального рівня, сумісного з вимогами до продукції; • вибір селенової сировини з нижчою леткістю для послаблення переходу в леткий стан у процесі варіння скла.
Застосування фільтрувальної системи	Системи зниження викидів пилу (рукавний фільтр та електростатичний фільтр) здатні знижувати викиди як пилу, так і металів, оскільки викиди металів з процесів варіння скла у повітря великою мірою містяться у твердих частках. Проте для деяких металів, які утворюють надзвичайно леткі сполуки (наприклад, селен), ефективність видалення може суттєво змінюватися залежно від температури фільтрування
Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Викиди газоподібних металів можна значно зменшити за допомогою технології сухого чи напівсухого очищення газів з використанням лужного реагенту. Лужний реагент реагує з газоподібними сполуками, утворюючи тверду речовину, яку потрібно видалити шляхом фільтрування (за допомогою рукавного фільтра або електростатичного фільтра).

5.10.6 Об'єднані газоподібні викиди (наприклад, SO_x, HCl, HF, сполуки бору)

Технологія	Опис
Мокре очищення газів	У процесі мокрого очищення газів газоподібні сполуки розчиняються у належній рідині (водному або лужному розчині). Після виходу з мокрого скрубера димові гази насичуються водою, і перед викиданням димових газів з них необхідно відділити краплі. Отриману в результаті рідину необхідно очистити у процесі обробки стічних вод, а нерозчинна речовина збирається шляхом відстоювання або фільтрування

5.10.7 Об'єднані викиди (тверді + газоподібні)

Технологія	Опис
Мокре очищення газів	<p>У процесі мокрого очищення газів (за допомогою належної рідини: водного чи лужного розчину) можна досягти одночасного видалення твердих та газоподібних сполук. Проектні критерії для видалення твердих часток та газів різні; тому проектування цих систем часто є компромісом між двома варіантами.</p> <p>Отриману в результаті рідину необхідно очистити у процесі обробки стічних вод, а нерозчинна речовина (тверді викиди та продукти хімічних реакцій) збирається шляхом відстоювання або фільтрування.</p> <p>У секторах виробництва мінеральної вати та скловолокна з безперервних ниток найбільш поширені такі системи:</p> <ul style="list-style-type: none"> • скрубери з ущільненим шаром, перед якими встановлені ударні сопла; • скрубери з трубою Вентурі.
Мокрий електростатичний фільтр	Технологія полягає у використанні електростатичного фільтра, у якому уловлений матеріал видаляється з осаджувальних пластин шляхом промивання належною рідиною, зазвичай водою. Зазвичай встановлюється певний механізм для видалення крапель води з відхідних газів перед їх викиданням (краплевловлювач чи останнє сухе поле)

5.10.8 Викиди від операцій різання, шліфування, полірування

Технологія	Опис
Виконання пиляких операцій (наприклад, різання, шліфування, полірування) під рідиною	Вода зазвичай використовується як охолоджувальна рідина для операцій різання, шліфування і полірування та для запобігання викидам пилу. Може бути необхідно передбачити витяжну систему, обладнану тумановловлювачем
Застосування системи рукавних фільтрів	Використання рукавних фільтрів підходить для зниження викидів як пилу, так і металів, оскільки операції подальшої обробки великою мірою містяться у твердих частках
Мінімізація втрат продукту, що використовується для полірування, шляхом забезпечення належної герметизації системи нанесення покриття	Кислотне полірування здійснюється шляхом занурення скляних виробів у полірувальну ванну з фтороводнової та сірчаної кислоти. Викиди парів можна мінімізувати шляхом належного проектування та технічного обслуговування системи нанесення покриття з метою мінімізації втрат
Застосування вторинної технології – наприклад, мокре очищення газів	Мокре очищення газів водою використовується для очищення відхідних газів, з огляду на кислотний характер викидів та високу розчинність газоподібних забруднюючих речовин, які потрібно видалити

5.10.9 Викиди H₂S, ЛОС

Технологія	Опис
Спалювання відхідних газів	<p>Технологія полягає у використанні системи допалювання, яка окиснює сірководень (що утворюється під дією сильних відновлювальних умов у скловарній печі) до діоксиду сірки, а чадний газ – до вуглекислого газу.</p> <p>Леткі органічні сполуки термічно спалюються, у результаті чого вони окиснюються до вуглекислого газу, води та інших продуктів згорання (наприклад, NO_x, SO_x)</p>

5.10.10 Викиди пилу

Технологія	Опис
Електростатичний фільтр (електростатичний пиловловлювач)	Електростатичні фільтри працюють таким чином, що частки набувають заряду і відділяються під впливом електростатичного поля. Електростатичні фільтри здатні працювати в дуже широкому діапазоні умов
Рукавний фільтр	<p>Рукавні фільтри виготовляються з пористої тканиної або повстяної тканини, крізь яку пропускаються гази для видалення з них часток.</p> <p>Для використання рукавних фільтрів необхідно вибрати тканину, яка буде підходити для характеристик відхідних газів та максимальної робочої температури</p>
Зменшення кількості летких сполук шляхом модифікації сировини	Рецептура шихти може містити дуже леткі компоненти (наприклад, сполуки бору), які можна замінити або мінімізувати їх вміст для зниження викидів пилу, що утворюються головним чином внаслідок переходу в леткий стан
Електричне варіння скла	<p>Технологія полягає у використанні скловарної печі, у якій енергія підводиться за рахунок нагрівання опором.</p> <p>У печах з холодним склепінням (у яких електроди зазвичай вставляються знизу печі) шар шихти вкриває поверхню розплаву, у результаті чого компоненти шихти (тобто сполуки свинцю) набагато менше переходять у леткий стан</p>

5.10.11 Викиди NO_x

Технологія	Опис
Модифікації процесу згорання	
(a) Зменшення відношення «повітря-паливо»	Технологія базується головним чином на таких особливостях: <ul style="list-style-type: none"> мінімізація протікання повітря в піч; ретельне регулювання повітря, що використовується для згорання; модифікована конструкція камери згорання в печі.
(b) Знижена температура повітря, що подається для згорання	Використання рекуперативних печей замість регенеративних печей призводить до зниження температури підігрівання повітря, а відтак до зменшення температури полум'я. Проте це супроводжується зменшенням ККД печі (зменшенням питомого знімання скломаси), зменшенням паливного ККД та збільшенням потреби у паливі, а отже, потенційно може призвести до збільшення викидів (кг/тонну скла)
(c) Ступінчасте спалювання	<ul style="list-style-type: none"> Ступінчасте подавання повітря полягає в тому, щоб організувати субстехіометричне горіння палива і додати решту повітря або кисню в піч для забезпечення повного згорання. Ступінчасте подавання палива полягає в тому, що у горловині вльоту запалюється низькоімпульсне полум'я (близько 10 % загальної енергії), а вторинне полум'я покриває кореневу частину первинного полум'я, знижуючи температуру в його ядрі.
(d) Рециркуляція димових газів	Полягає у повторному вприскуванні відхідних газів з печі у полум'я для зменшення вмісту кисню, а отже, температури полум'я. Використання спеціальних пальників передбачає внутрішню рециркуляцію газоподібних продуктів згорання, які охолоджують кореневу частину полум'я і зменшують вміст кисню у найгарячішій частині полум'я.
(e) Пальники з низьким виходом NO _x	Ця технологія базується на принципах зниження пікових температур полум'я зі сповільненням, але повним згоранням і посиленням теплообміну (збільшенням тепловіддачі полум'я). Вона може впроваджуватися у рамках модифікації конструкції камери згорання печі
(f) Вибір палива	Як правило, викиди NO _x з мазутних печей менші, ніж з газових печей, завдяки кращому коефіцієнту тепловіддачі та нижчим температурам полум'я
Спеціальна конструкція печі	Піч рекуперативного типу з різними особливостями, які дають змогу працювати з нижчими температурами полум'я. Її основні особливості такі: <ul style="list-style-type: none"> пальники спеціального типу (кількість та розташування); модифікована геометрія печі (висота та розмір); двоступеневе підігрівання сировини відхідними газами, що проходять над сировиною, яка входить у піч, та підігрівач привізного скляного бою, що встановлений після рекуператора і використовується для підігрівання повітря, яке подається для згорання.
Електричне варіння скла	Технологія полягає у використанні скловарної печі, у якій енергія підводиться за рахунок нагрівання опором. Її основні особливості такі: <ul style="list-style-type: none"> електроди зазвичай вставляються знизу печі (холодне склепіння); у рецептурі шихти для електричних печей з холодним склепінням часто потрібні нітрати з метою забезпечення необхідних окисних умов для стабільного, безпечного та ефективного процесу виробництва.
Киснево-паливне варіння скла	Ця технологія полягає в заміні повітря, що подається для згорання, киснем (з чистотою >90 %): це виключає/зменшує утворення термічних оксидів азоту NO _x з азоту, що потрапляє в піч. Залишковий вміст азоту в печі залежить від чистоти постаченого кисню, від якості палива (% N ₂ у природному газі) та від кількості повітря, що потенційно може потрапляти в піч
Хімічне відновлення паливом	Технологія базується на вприскуванні вихідного палива у відхідні гази з хімічним відновленням NO _x до N ₂ за допомогою ряду реакцій. У процесі 3R паливо (природний газ або мазут) вприскується на вхід регенератора. Технологія розрахована на використання у регенеративних печах
Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	Технологія полягає в тому, щоб відновити NO _x до азоту в каталітичному шарі за допомогою реакції з аміаком (зазвичай у вигляді водного розчину) за оптимальної робочої температури близько 300 – 450 °C. Може застосовуватися один або два шари каталізатора. Більше зниження рівнів NO _x досягається за допомогою більшої кількості каталізатора (два шари)
Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)	Технологія полягає в тому, щоб відновити NO _x до азоту в каталітичному шарі за допомогою реакції з аміаком або сечовиною за високої температури. Вікно робочих температур необхідно підтримувати в межах від 900 до 1050 °C
Мінімізація використання нітратів у рецептурі шихти	Мінімізація кількості нітратів використовується для зниження викидів NO _x , що утворюються внаслідок розкладання цих видів сировини при їх додаванні у якості окиснювача для дуже високоякісної продукції, яка повинна виготовлятися зі скла високого ступеня безбарвності (прозорого), або для інших видів скла з метою надання їм потрібних властивостей. Можуть застосовуватися такі варіанти: <ul style="list-style-type: none"> Зменшення вмісту нітратів у рецептурі шихти до мінімального рівня, сумісного з вимогами до продукції та варіння скла. Заміна нітратів альтернативними матеріалами. Ефективними альтернативами є сульфати, оксиди миш'яку, оксид церію. Застосування модифікацій технологічного процесу (наприклад, створення спеціальних окисних умов згорання).

5.10.12 Викиди SO_x

Технологія	Опис
Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Сухий порошок або суспензія/розчин лужного реагенту вводиться у потік відхідних газів і розсіюється в ньому. Матеріал реагує з газоподібними сполуками сірки, утворюючи тверду речовину, яку потрібно видалити шляхом фільтрування (за допомогою рукавного фільтра або електростатичного фільтра). Як правило, використання реакційної башти підвищує ефективність видалення забруднень системою очищення газів
Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти та оптимізація балансу сірки	Мінімізація вмісту сірки в рецептурі шихти застосовується для зниження викидів SO _x , що утворюються в результаті розкладання сірковмісної сировини (зазвичай сульфатів), що використовується у якості освітлювача. Ефективність зниження викидів SO _x залежить від ступеня утримання сполук сірки у склі, який може суттєво варіюватися залежно від типу скла, та від оптимізації балансу сірки
Використання палива з низьким вмістом сірки	Використання природного газу або мазуту з низьким вмістом сірки знижує кількість викидів SO _x , що утворюються внаслідок окиснення сірки, яка міститься в паливі, під час згорання

5.10.13 Викиди HCl, HF

Технологія	Опис
Вибір сировини з низьким вмістом хлору та фтору для рецептури шихти	Технологія полягає у ретельному виборі сировини, яка може містити хлориди та фториди у вигляді домішок (наприклад, синтетична кальцинована сода, доломіт, привізний скляний бій, повернений у процес відфільтрований піл), для зниження викидів HCl та HF, що утворюються внаслідок розкладання цих матеріалів у процесі варіння скла, в місці їх утворення
Мінімізація вмісту сполук фтору та/або хлору в рецептурі шихти та оптимізація масового балансу фтору та/або хлору	Викиди фтору та/або хлору з процесу варіння скла можна мінімізувати шляхом мінімізації/зменшення кількості цих речовин у рецептурі шихти до мінімального рівня, за якого буде забезпечуватися належна якість кінцевого продукту. Сполуки фтору (наприклад, флюорит, кріоліт, фторсилікат) використовуються для надання певних властивостей спеціальному склу (наприклад, непрозорому склу, оптичному склу). Сполуки хлору можуть використовуватися як освітлювачі
Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Сухий порошок або суспензія/розчин лужного реагенту вводиться у потік відхідних газів і розсіюється в ньому. Матеріал реагує з газоподібними хлоридами та фторидами, утворюючи тверду речовину, яку потрібно видалити шляхом фільтрування (за допомогою електростатичного фільтра або рукавного фільтра).

5.10.14 Викиди металів

Технологія	Опис
Вибір сировини з низьким вмістом металів для рецептури шихти	Технологія полягає у ретельному виборі сировини для шихти, яка може містити метали у вигляді домішок (наприклад, привізний скляний бій), для зниження викидів металів, що утворюються внаслідок розкладання цих матеріалів у процесі варіння скла, в місці їх утворення
Мінімізація використання металевих сполук у рецептурі шихти, якщо скло потрібно забарвлювати та знебарвлювати з огляду на вимоги споживача до якості скла	Викиди металів з процесу варіння скла можна мінімізувати таким чином: <ul style="list-style-type: none"> • мінімізація кількості сполук металів у рецептурі шихти (наприклад, сполук заліза, хрому, кобальту, міді, марганцю) при виробництві кольорових видів скла; • мінімізація кількості сполук селену та оксиду церію, що використовуються у якості знебарвлювачів для виробництва прозорого скла.

Мінімізація використання сполук селену у рецептурі шихти шляхом вибору належної сировини	Викиди селену з процесу варіння скла можна мінімізувати таким чином: <ul style="list-style-type: none"> • мінімізація/зменшення кількості селену у рецептурі шихти до мінімального рівня, сумісного з вимогами до продукції; • вибір селенової сировини з нижчою леткістю для послаблення переходу в леткий стан у процесі варіння скла.
Застосування фільтрувальної системи	Системи зниження викидів пилу (рукавний фільтр та електростатичний фільтр) здатні знижувати викиди як пилу, так і металів, оскільки викиди металів з процесів варіння скла у повітря великою мірою містяться у твердих частках. Проте для деяких металів, які утворюють надзвичайно леткі сполуки (наприклад, селен), ефективність видалення може суттєво змінюватися залежно від температури фільтрування
Сухе або напівсухе очищення газів у поєднанні з фільтрувальною системою	Викиди газоподібних металів можна значно зменшити за допомогою технології сухого чи напівсухого очищення газів з використанням лужного реагенту. Лужний реагент реагує з газоподібними сполуками, утворюючи тверду речовину, яку потрібно видалити шляхом фільтрування (за допомогою рукавного фільтра або електростатичного фільтра).

5.10.15 Об'єднані газоподібні викиди (наприклад, SO_x, HCl, HF, сполуки бору)

Технологія	Опис
Мокре очищення газів	У процесі мокрого очищення газів газоподібні сполуки розчиняються у належній рідині (водному або лужному розчині). Після виходу з мокрого скрубера димові гази насичуються водою, і перед викиданням димових газів з них необхідно відділити краплі. Отриману в результаті рідину необхідно очистити у процесі обробки стічних вод, а нерозчинна речовина збирається шляхом відстоювання або фільтрування

5.10.16 Об'єднані викиди (тверді + газоподібні)

Технологія	Опис
Мокре очищення газів	<p>У процесі мокрого очищення газів (за допомогою належної рідини: водного чи лужного розчину) можна досягти одночасного видалення твердих та газоподібних сполук. Проектні критерії для видалення твердих часток та газів різні; тому проектування цих систем часто є компромісом між двома варіантами.</p> <p>Отриману в результаті рідину необхідно очистити у процесі обробки стічних вод, а нерозчинна речовина (тверді викиди та продукти хімічних реакцій) збирається шляхом відстоювання або фільтрування.</p> <p>У секторах виробництва мінеральної вати та скловолокна з безперервних ниток найбільш поширені такі системи:</p> <ul style="list-style-type: none"> • скрубери з ущільненим шаром, перед якими встановлені ударні сопла; • скрубери з трубою Вентурі.
Мокрий електростатичний фільтр	Технологія полягає у використанні електростатичного фільтра, у якому уловлений матеріал видаляється з осаджувальних пластин шляхом промивання належною рідиною, зазвичай водою. Зазвичай встановлюється певний механізм для видалення крапель води з відхідних газів перед їх викиданням (краплевлловлювач чи останнє сухе поле)

5.10.17 Викиди від операцій різання, шліфування, полірування

Технологія	Опис
Виконання пилких операцій (наприклад, різання, шліфування, полірування) під рідиною	Вода зазвичай використовується як охолоджувальна рідина для операцій різання, шліфування і полірування та для запобігання викидам пилу. Може бути необхідно передбачити витяжну систему, обладнану тумановловлювачем
Застосування системи рукавних фільтрів	Використання рукавних фільтрів підходить для зниження викидів як пилу, так і металів, оскільки операції подальшої обробки великою мірою містяться у твердих частках
Мінімізація втрат продукту, що використовується для полірування, шляхом забезпечення належної герметизації системи нанесення покриття	Кислотне полірування здійснюється шляхом занурення скляних виробів у полірувальну ванну з фтороводнової та сірчаної кислоти. Викиди парів можна мінімізувати шляхом належного проектування та технічного обслуговування системи нанесення покриття з метою мінімізації втрат
Застосування вторинної технології – наприклад, мокре очищення газів	Мокре очищення газів водою використовується для очищення відхідних газів, з огляду на кислотний характер викидів та високу розчинність газоподібних забруднюючих речовин, які потрібно видалити

5.10.18 Викиди H₂S, ЛОС

Технологія	Опис
Спалювання відхідних газів	<p>Технологія полягає у використанні системи допалювання, яка окиснює сірководень (що утворюється під дією сильних відновлювальних умов у скловарній печі) до діоксиду сірки, а чадний газ – до вуглекислого газу.</p> <p>Леткі органічні сполуки термічно спалюються, у результаті чого вони окиснюються до вуглекислого газу, води та інших продуктів згорання (наприклад, NO_x, SO_x)</p>

6 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Як правило, перспективні технології для скляної промисловості орієнтовані на зменшення великих інвестиційних витрат на скловарну піч (тобто нові технології варіння скла), на заощадження енергії (наприклад, підігрівачі шихти та скляного бою, нова конструкція печі, інноваційні пальники) та на покращення екологічних показників процесу виробництва (наприклад, нові рецептури продукції, регенерація відходів, зниження викидів та підвищення ефективності видалення основних забруднюючих речовин).

Деякі з перспективних технологій, повідомлених у початковому документі BREF за кодом GLS, не виявилися успішними, у той час як інші були повністю розроблені і реалізовані в різних секторах скляної промисловості.

Однією з основних цілей є вдосконалення технологій згорання, націлене на зменшення споживання енергії водночас із мінімізацією викидів NO_x за допомогою первинних заходів. Постійно досліджуються системи регулювання процесу згорання, різні типи пальників і нові конструкції печей, і досягаються значні інновації та вдосконалення, хоча вони й не викладені конкретно у цьому розділі як перспективні технології.

Зокрема, пальники з низьким виходом NO_x у поєднанні з системами регулювання згорання досі невпинно розвиваються з метою оптимізації їх робочих показників з точки зору енергоефективності та зниження забруднень.

6.1 Високотемпературна система згорання Glas Flox®

Опис

Пальник Glas Flox® – це удосконалена технологія варіння скла. Принцип його функціонування базується на внутрішній рециркуляції газоподібних продуктів згорання, які всмоктуються у полум'я під дією низького тиску на вихідному соплі пальника (за рахунок високих швидкостей вбрикування газів через пальники). Рециркульований газ охолоджує кореневу частину полум'я і зменшує вміст кисню у найгарячішій частині полум'я. У порівнянні зі стандартними газовими пальниками, пальники Glas Flox® працюють з більшою швидкістю згорання і забезпечують краще покриття полум'ям ванни скляного розплаву завдяки інтенсивності реакції, а також розширенню зони горіння. Ці властивості забезпечують краще передавання енергії до ванни скломаси. Повне згорання відбувається в області інфрачервоного випромінювання і протікає рівномірно без значних градієнтів температури та теплообміну.

Пальники Glas Flox® працюють зі зниженими температурами полум'я біля форсунок / вихідних сопел пальника, у результаті чого зменшується утворення термічних оксидів азоту NO_x .

Загальні характеристики теплообміну з використанням пальників Glas Flox® та технології спалювання палива Flox у скловарних печах (особливо у рекуперативних печах) потребують додаткової оцінки шляхом вимірювань та математичного моделювання.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Повідомляється про такі переваги, як зниження викидів NO_x приблизно на 50 % та зменшення питомого споживання енергії і, як наслідок, зниження викидів CO_2 .

За найкращого з досягнутих результатів роботи, про які повідомлялося, значення концентрації знизилося до 484 мг/м^3 н.у. викидів NO_x з початкового рівня у 1183 мг/м^3 н.у. при застосуванні традиційної системи згорання.

Застосовність

Ці пальники придатні для застосування лише в рекуперативних скловарних печах.

Рушій для впровадження

Основними рушійми для застосування пальників Glas Flox® є зниження викидів NO_x разом із зменшенням споживання енергії.

Приклади заводів

На сьогодні (у 2010 році) приклад високотемпературної системи згорання Glas Flox® наразі (у 2010 році) працює в Німеччині на виробництві скляних колб для ламп.

Довідкова література

[117, GWI, VDI – Звіт № 1988, 2007]

6.2 Удосконалені підігрівачі скляного бою та шихти

Основні приклади підігрівачів шихти та скляного бою, що використовуються в галузі виробництва скла, описані у розділі 4.8.5, а отже, не вважаються перспективними технологіями. Проте наразі провадяться значні розробки – зокрема, з застосування підігрівання скляного бою та шихти у киснево-паливних печах. Як правило, перехід традиційних печей на киснево-паливне горіння призводить до підвищення продуктивності виробництва та якості скла, зниження викидів NO_x та твердих часток, зменшення споживання енергії та зменшення витрат на капітальний ремонт. Проте додаткові витрати на кисень є значною економічною перешкодою для застосування киснево-паливного горіння у багатьох скловарних печах. Економічна ситуація з переходом на киснево-паливне горіння була б набагато привабливішою, якби можна було регенерувати енергію, що міститься в димових газах (які викидаються з дуже високими температурами – до $1400\text{ }^\circ\text{C}$). Існуючі підігрівачі скляного бою та шихти працюють за температур у діапазоні $500 - 600\text{ }^\circ\text{C}$; таким чином, димові гази охолоджуються за рахунок розбавлення повітрям, внаслідок чого їх об'єм збільшується.

Удосконалені підігрівачі скляного бою та шихти розраховані на роботу з димовими газами, які не були охолоджені або були лише трохи охолоджені. Зокрема, у вдосконаленій системі підігрівання скляного бою та шихти, розробленій компанією Praxair (система BCP), димові гази входять у підігрівач за температур у діапазоні $1200 - 1400\text{ }^\circ\text{C}$.

На час укладання цього документа (2010 рік) існувало два проекти, розроблені різними командами:

- проєкт PRECIOUS, що розробляється компанією Zippe Industrieanlagen GmbH у співпраці з Рейнсько-Вестфальським технічним університетом Аахена (RWTH Aachen University) в рамках програми підтримки Німецького федерального фонду охорони навколишнього середовища (Deutsche Bundesstiftung Umwelt – DBU);
- система PRAXAIR-BCP, що розробляється у Технологічному центрі Praxair.

6.2.1 Проєкт PRECIOUS

Мета проєкту PRECIOUS – забезпечити зниження викидів CO_2 та NO_x шляхом підігрівання скляного бою та/або шихти відхідним теплом киснево-паливної печі. Цю технологію підігрівання теоретично можна реалізувати в будь-якій печі з часткою скляного бою понад 50 %. Випробування цього підігрівача скляного бою та шихти проводяться на киснево-паливній печі, у якій виготовляються скляні колби для ламп. Очікується, що енергоефективність збільшиться приблизно на 20 %. Завершення пілотного проєкту та перенесення технології у великомасштабний проєкт досі триває [153, Німеччина – проєкт Precious, 2007].

6.2.2 Проєкт PRAXAIR-BCP**Опис**

Система, розроблена у проєкті PRAXAIR-BCP, підходить для підігрівання шихти зі скляним боєм і розрахована на використання димових газів з усіх киснево-паливних печей. Основні особливості удосконаленого підігрівача такі:

- опосередкована теплопередача від димових газів до шихти та скляного бою у підігрівачі;
- шихта зі скляним боєм (зворотним та привізним) підігріваються приблизно до $480 - 600\text{ }^\circ\text{C}$;
- димові гази з газокисневої або киснево-мазутної печі не розбавляються або ледве розбавляються холодним повітрям;
- на першому ступені (ділянка опосередкованого теплообміну випромінюванням)

димові гази входять на ділянку без розбавлення, зазвичай з температурою 1200 – 1400 °С;

- органічні сполуки, присутні у привізному скляному бої, повністю видаляються (пари згорають);
- агрегат виконаний у вигляді модульної системи, і його можна адаптувати до потрібного розміру;
- у випадку технічного обслуговування шихта та димові гази можуть рухатися в обхід підігрівача;
- особлива увага звернена на запобігання винесенню шихти в печі шляхом адаптації завантажувачів шихти;
- завдяки спеціальній конструкції підігрівача під час виготовлення бурштинового скла відсутні втрати вуглецю.

Схема удосконаленого підігрівача шихти та скляного бою зображена на Рисунку 6.1, на якому показане розташування ділянки теплообміну випромінюванням (ДТОВ) та необов'язкової ділянки конвективного теплообміну (ДКТО).

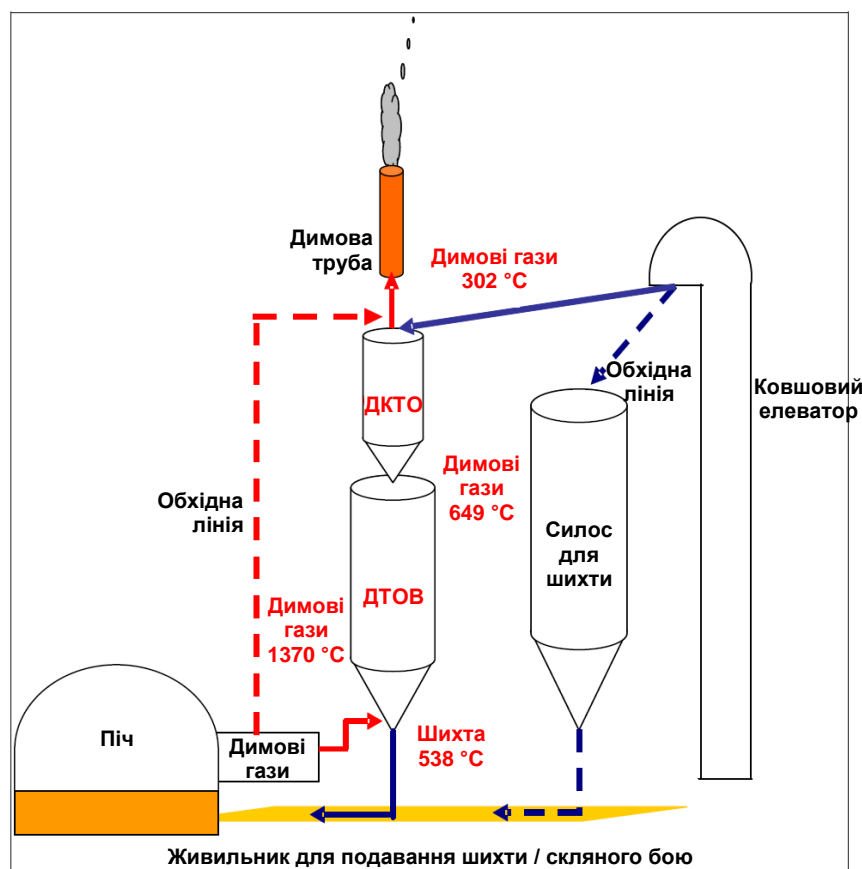


Рисунок 6.1. Схема удосконаленого підігрівача шихти та скляного бою

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Повідомляється про такі (очікувані) переваги, як зниження викидів приблизно на 15 – 30 % (CO_2 , NO_x та твердих часток) у порівнянні з киснево-паливною піччю без підігрівача. Розрахункове зниження споживання енергії становить близько ± 1 ГДж на тону звареного скла у порівнянні з киснево-паливною піччю без підігрівача.

Застосовність

В принципі, технологія удосконаленого підігрівача шихти та скляного бою (ВСП) може застосовуватися майже для всіх типів відношень кількості скляного бою до кількості шихти.

Економіка

Очікується, що застосування технології підігрівача шихти та скляного бою (ВСП) дасть змогу заощадити енергію (15 – 25 %), знизить споживання кисню для згорання і дасть змогу збільшити продуктивність (на 10 – 20 %). Розрахунковий період окупності обладнання становить від 1 до 3 років.

Рушій для впровадження

Основними рушійми для застосування удосконаленого підігрівача шихти та скляного бою є можливість регенерації енергії з димових газів і, як наслідок, зниження споживання енергії, що використовується на виробництві. Додатковим рушієм для реалізації технології є значне зниження безпосередніх та опосередкованих викидів.

Приклади заводів

Система дослідно-промислового масштабу (15 тонн шихти на добу) була випробувана компанією Pghair у 2007 році в місті Тонаванда, штат Нью-Йорк, США, з температурами підігрівання 480 – 535 °C. Наступним кроком у цьому проєкті є розробка більшої системи для застосування у промисловій скловарній печі.

Довідкова література

[147, Кобаяші (Kobayashi) та інші, 2007], [148, Беркенс, 2008]

6.3 Нові рецептури продукції

Існує ряд цікавих розробок, присвячених рецептурам шихти та продукції, які підсумовані нижче.

Новий склад скла для скловолокна з безперервних ниток

Новий склад скла для скловолокна з безперервних ниток розроблений одним виробником. Цей склад скла вирішує проблему двох основних компонентів викидів у повітря, типових для варіння скла Е (алюмоборосилікатного безлугового скла), тобто твердих часток та фторидів. Рецепт шихти не містить бору або добавок фтору. Оскільки зі складу цього скла виключено бор та добавки фторидів, воно важче вариться (вища температура плавлення) та перетворюється у волокно, і це може призвести до деякого збільшення потреби в енергії. Нова рецептура застосовується на промислових установках, а орієнтовані дані про викиди наведені у розділі 3.5 вище та у розділі 4.4.1.1. Рецепт розроблена однією компанією і захищена патентами, тож вона загалом недоступна у секторі.

На сьогодні (у 2010 році) цей тип скловолокна з безперервних ниток виготовляється двома компаніями в Європі, і на нього, напевне, припадає близько чверті чи третини всього об'єму європейського виробництва; тому його не можна вважати перспективною технологією. Проте ця технологія не може вважатися й «доступною», оскільки процес виробництва захищений патентами, а також через те, що про неї наразі доступно дуже мало інформації.

Нова рецептура в'язучої речовини для продукції з мінеральної вати

Виробники мінеральної вати постійно вдосконалюють властивості своєї продукції для зниження впливу на навколишнє середовище та для покращення робочих характеристик продукції.

Деякі виробники виконали значну науково-дослідну роботу з впровадження нових в'язучих речовин, які частково або повністю замінюють фенолформальдегідні в'язучі речовини, що типово використовуються у галузі протягом багатьох років. Кілька патентів вже опубліковано та/або видано.

Нові рецептури базуються:

- на фенолформальдегідних смолах зі значно нижчим вмістом формальдегіду, або
- на інших типах смол, отриманих з рослинних джерел / речовин рослинного походження, або на акрилових смолах, які не містять фенолформальдегіду у своєму складі.

Деякі з цих в'язучих речовин випущені у продаж і доступні на ринку. У інших випадках необхідно повністю оцінити вплив нових рішень, щоб підтвердити їх придатність з точки зору виробництва, характеристик продукції та впливу на навколишнє середовище.

Довідкова література

[174, Позиція EURIMA, 2010], [150, Knauf, 2008]

6.4 Вприскування відходів у процесі виробництва кам'яної вати

Опис

Розрахункова кількість відходів, що утворюється на установках з виробництва кам'яної вати у ЄС, становить від 160 000 до 480 000 тонн на рік. Відходи утворюються головним чином у процесі волокнуутворення, у якому близько 10 – 20 % розплаву не повністю перетворюється у волокно і відбраковується. На лінії виробництва кам'яної вати з річним об'ємом виробництва 20 000 тонн/рік утворюється від 2 000 до 4 000 тонн відходів процесу волокнуутворення на рік.

На час укладання цього документа (2010 рік) єдиною системою, що застосовувалася для повторного використання відходів у процесі варіння скла, було брикетування. У цій системі відходи потрібно розмолоти і змішати з цементом. Використання брикетів супроводжується збільшенням атмосферних викидів, що складаються головним чином з викидів оксиду сірки, зумовлених вмістом сірки в цементі (див. розділ 3.8.2.1).

Технологія вприскування відходів полягає у подаванні тонко подрібненого матеріалу безпосередньо в варильну зону у вагранці для виробництва кам'яної вати. Матеріал вприскується у вигляді сухих відходів виробництва.

Відходи процесу волокнуутворення (корольок) розміром 0 – 6 мм транспортуються у бункер та живильний бак, що знаходиться під тиском. На дні бака передбачений обертовий живильник, який подає невеликі дози матеріалу у три живильні пневмопроводи. На кінцях пневмопроводів встановлені вприскувальні трубки, під'єднані до вагранки біля фурм. Коли в варильну зону у вагранці подається кисень, матеріал проходить крізь вприскувальні трубки. Ці механізми працюють у надзвичайно жорстких умовах. Температура у варильній зоні перевищує 1700 °C; при цьому матеріали, які в неї подаються, тверді та абразивні, і це створює значні напруження у матеріалах конструкції механізмів.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

За допомогою цієї технології можна переробити до 80 – 100 % відходів процесу волокнуутворення; це відповідає зменшенню кількості мінеральної сировини у складі шихти принаймні на 7 %. Ця система також розрахована на роботу з іншими тонко подрібненими видами сировини та твердого палива, як-от мінеральна сировина та кокс.

Застосування вприскування відходів зменшує кількість відходів, що викидаються на полігон, зменшує споживання коксу у процесі варіння скла і, як наслідок, знижує викиди. Викиди оксидів сірки знижуються у порівнянні з процесом переробки відходів шляхом виготовлення з них цементних брикетів, оскільки у рецептуру шихти не додається сірка.

Застосовність

Технологія вприскування відходів може застосовуватися в галузі виробництва кам'яної вати, у якій використовуються вагранки. На час укладання цього документа (2010 рік) вона застосовувалася на двох виробничих лініях, очікуючи подальшої розробки.

Економіка

Інвестиційні витрати на вприскування відходів становлять усього близько 20 % витрат на обладнання для виготовлення брикетів, включно з необхідними будівлями.

Рушій для впровадження

Основним рушієм для реалізації вприскування відходів у виробництві кам'яної вати є мінімізація потоку відходів разом зі зниженням викидів SO_x , якими супроводжується технологія, що нині використовується для переробки відходів (переробка у цементні брикети).

Приклади заводів

Дослідний зразок заводу працює в місті Оулу, Фінляндія, з 2001 року. Повномасштабний дослідно-промисловий завод експлуатується в місті Гесслегольм, Швеція, з 2004 року. Обидва заводи належать групі компаній Paros Group; проект з розробки технології вприскування відходів фінансується в рамках Шостої програми дій з охорони навколишнього середовища на 2001 – 2010 роки.

Довідкова література

<http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index>

[146, EURIMA, 2007]

6.5 Технологія варіння скла з заглибним горінням

Опис

Варіння скла з заглибним горінням (ВЗГ) базується на сегментованому підході до варіння скла, за якого воно здійснюється у кілька етапів для оптимізації плавлення, гомогенізації, освітлення та регенерації тепла.

Очікується, що цей підхід зменшить середній час перебування скляного розплаву в печі на $\geq 80\%$ у порівнянні з одним великим ванним скловарним агрегатом, а це призведе до зменшення витрат на енергію та викидів. Скловарний агрегат на основі ВЗГ – це невелика ванна піч, у якій паливо та окиснювачі подаються для спалювання безпосередньо у ванну матеріалу, що вариться. Газоподібні продукти згорання піднімаються у вигляді бульбашок або течуть крізь ванну скломаси, забезпечуючи високий коефіцієнт теплопередачі та турбулентне перемішування (і винесення). Інтенсивний зсув матеріалу під дією примусової конвекції забезпечує швидке розчинення часток (піску, сировини, що містить глинозем) та рівномірність температури. Розплавлений матеріал, який має однорідний склад, проте все ще містить багато мошки та бульбашок, зливається через лютку біля дна ванни.

На Рисунку 6.2 зображена схема скловарного агрегату з заглибним горінням.

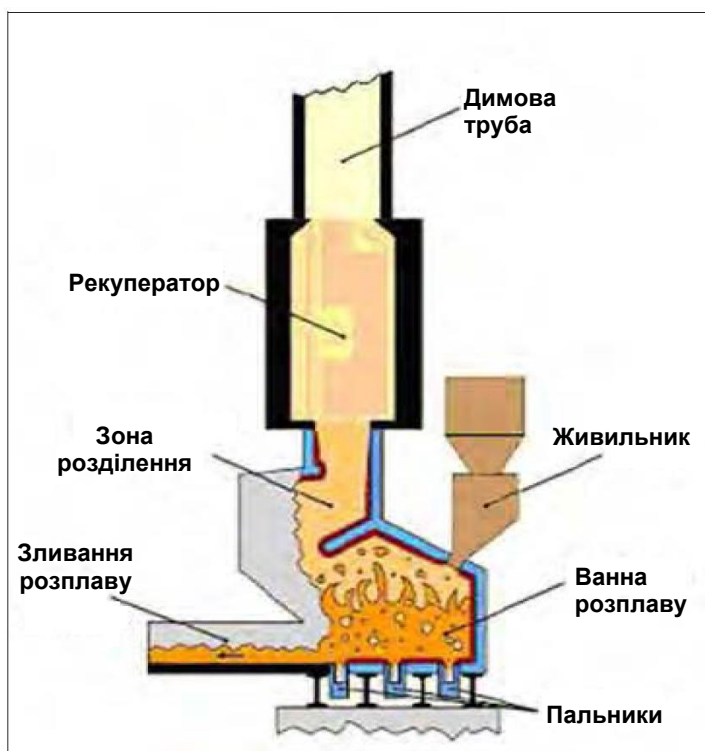


Рисунок 6.2. Схема скловарного агрегату з заглибним горінням

Транспортування та завантаження шихти у скловарний агрегат з заглибним горінням гнучкіше, ніж для традиційних скловарних агрегатів. Транспортно-завантажувальна система може бути простою і недорогою, оскільки скловарний агрегат може приймати матеріали набагато ширшого гранулометричного складу – до 1 см або й більше – не потребуючи складного перемішування сировини. Ця особливість розширює вибір сировини і зменшує трудові витрати на обробку шихти та капітальні витрати.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Загальне розрахункове заощадження енергії становить близько 5 % у порівнянні з найкращою газокисневою ванною піччю у випадку, якщо тепло не регенерується зі стінок скловарного агрегату. Якщо регенерується 20 % втрат енергії через стінки, загальне заощадження енергії може скласти близько 7,5 %.

Очікується, що викиди NO_x знизяться завдяки швидкому охолодженню полум'я у розплаві.

Експлуатаційні параметри

В Україні та Білорусі експлуатується п'ять промислових скловарних агрегатів з заглибним горінням потужністю 75 тонн/добу для виробництва мінеральної вати. Вони працюють з менш ніж 10 % надлишкового повітря і створюють менш ніж 350 мг/м³ н.у. викидів NO_x у перерахунку на 8 % O_2 .

Щоб розширити застосування технології скловарного агрегату на основі ВЗГ, потрібно подолати деякі обмеження, а для цього потрібно внести кілька вдосконалень в існуючі скловарні агрегати. Перший крок полягає в тому, щоб перевести горіння з повітря на кисень, аби зменшити утворення бульбашок у розплаві, і водночас покращити теплообмін та зменшити викиди; завдяки цьому об'єм газів, що проходять крізь розплав, зменшиться на 80 %.

Застосовність

На час укладання цього документа (2010 рік) скловарний агрегат на основі ВЗГ може застосовуватися лише у виробництві мінеральної вати. Передбачається, що дослідно-конструкторські роботи та випробування, які наразі проводяться, дадуть змогу використовувати цю технологію для виробництва ширшого асортименту складів та кольорів скла. Більшість дослідно-конструкторських робіт ведуться головним чином у США Радою в галузі виробництва скла (GMIC) та Інститутом технології газу в місті Дес-Плейнс, штат Іллінойс, США.

Економіка

Технологія скловарного агрегату на основі ВЗГ дасть змогу заощадити мінімум 5 % енергії у порівнянні з традиційним варінням скла. Очікуються заощадження капітальних витрат та трудових витрат на обробку шихти.

Рушій для впровадження

Рушійми для повної розробки та застосування технології ВЗГ є зниження інвестиційних витрат, більша гнучкість у виборі сировини, заощадження енергії та зниження викидів – особливо викидів NO_x .

Приклади заводів

На час укладання цього документа (2010 рік) п'ять промислових скловарних агрегатів працюють на виробництві мінеральної вати в Україні та Білорусі.

Подана заявка на патент. Команда розробників проєкту під керівництвом Інституту технології газу (GTI, Чикаго, США), що складається з шести компаній-виробників скла, працює над скловарними системами «наступного покоління», серед яких є технологія варіння скла з заглибним горінням. З цією метою побудований дослідно-промисловий скловарний агрегат на основі ВЗГ, що виготовляє 1 тону скла на годину і використовується для варіння ряду промислових видів скла за різних умов експлуатації.

Довідкова література

[149, He (Rue) та інші, 2006]

6.6 Очищення димових газів сухим бікарбонатом натрію та хімічне відновлення цінності залишків від очищення газу

Опис

Ця технологія призначена для знесірчення відхідних газів зі скловарних печей. Бікарбонат натрію з високою ефективністю видаляє викиди SO_x (див. розділ 4.4.3.3), у результаті чого утворюється твердий залишок – продукт хімічної реакції між кислотними газами та бікарбонатом натрію. Твердий залишок відділяється від димових газів головним чином за допомогою фільтрувальних систем (електростатичного фільтра чи рукавного фільтра). Основними компонентами залишку є сульфат натрію та карбонат натрію (лужний реагент, який не прореагував). У багатьох випадках твердий залишок можна переробити у скловарній печі, частково замінивши ним освітлювач (зазвичай сульфат натрію), що використовується в рецептурі шихти; проте в деяких випадках цей залишок неможливо переробити безпосередньо в печі.

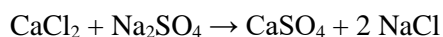
Основні обмеження, що накладаються на повторне використання відфільтрованого пилу, такі:

1. тверді залишки дуже дрібні і схильні з легкістю виноситися або переходити в леткий стан (наприклад, NaCl) і вилітати з печі, внаслідок чого змінюється хімічний склад розплавленої скломаси, і в регенератор надходять великі концентрації NaCl ;
2. хімічний склад твердих залишків може суттєво різнитися за різних умов експлуатації печі, внаслідок чого хімічний склад скла важко контролювати, а це впливає на якість кінцевих продуктів.

Щоб потік відходів пилу не довелося захоронювати на полігоні, залишки обробляють на спеціальному заводі, який зазвичай знаходиться поблизу заводу з виробництва кальцинованої соди.

Обробка полягає у розчиненні твердого залишку в розчині, який містить хлорид кальцію (CaCl_2) (цей розчин доступний на заводі з виробництва кальцинованої соди).

Хімічна реакція така:



Отриманий у результаті шлам фільтрується для відділення твердого сульфату кальцію (CaSO_4). Розчин хлориду натрію (NaCl) обробляється з метою його очищення від решток кальцію та інших іонів. Обидва продукти реакції можна використати повторно.

Сульфат кальцію можна використати у процесі виробництва цементу замість інших покупних матеріалів, що використовуються в шихті. Розчин хлориду натрію можна використати у якості сировини для процесу виробництва кальцинованої соди.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Сухе очищення газів за допомогою бікарбонату натрію забезпечує високу ефективність видалення викидів SO_x . Можливість обробки і повторного використання твердого залишку, що утворюється внаслідок роботи системи очищення газів, є хорошою альтернативою безпосередній переробці відфільтрованого пилу у скловарній печі для виробництві скла, яка не має несприятливих наслідків для якості скла або керування процесом виробництва. Крім того, це запобігає утворенню значного потоку відходів, оскільки дає змогу відновити цінність результуючих продуктів і повторно їх використати.

Міжсередовищні наслідки

Твердий залишок потрібно транспортувати з установок для виробництва скла на обробний завод. У процесі обробки споживається енергія та вода.

Застосовність

Сухе очищення димових газів за допомогою бікарбонату натрію для знесірчення димових газів з наступною обробкою отриманих у результаті твердих залишків може застосовуватися на тих заводах з виробництва скла, де відфільтрований пил неможливо переробити з огляду на вимоги до якості кінцевого скляного продукту або труднощі у керуванні процесом виробництва.

Економіка

Ця технологія наразі випробовується на передпромисловому рівні, і проведені випробування демонструють, що вона буде рентабельною.

Рушій для впровадження

Основним рушієм для реалізації є неможливість переробки твердих залишків від знесірчення димових газів на самому виробництві.

Приклади заводів

Технологія випробовувана у Франції, і наразі досліджуються/плануються спеціальні обробні заводи. Ця технологія придатна до експлуатації на промисловому рівні і застосовується у Франції та Італії для переробки твердих залишків, що утворюються на установках спалювання комунально-побутових відходів, де димові гази очищуються за допомогою бікарбонату натрію (див. Документ BREF для спалювання відходів, розділи 4.6.11.4 та 4.6.11.5).

Довідкова література

[154, Європейська комісія, 2006], [145, Внесок Франції, 2007].

6.7 Застосування керамічних та каталітичних керамічних фільтрів для видалення кількох забруднюючих речовин з технологічних відхідних газів

Опис

Димові гази зі скловарних печей мають підвищені температури, залежно від ступеня регенерації тепла, і несуть у собі суміш твердих та газоподібних забруднюючих речовин (головним чином NO_x та SO_x). Для видалення цих забруднюючих речовин наразі використовується ряд перевірених технологій – окремо або у поєднанні (див. відповідні розділи у частині 4).

Високотемпературні фільтрувальні системи рідко застосовуються у скляній промисловості (див. розділ 4.4.1.5). Перспективні результати продемонстрував новий розроблений тип керамічного фільтра, який може працювати за високих температур.

Використання керамічних фільтрувальних елементів (малої густини) є перспективною технологією для очищення димових газів, що утворюються у скловарних печах. Керамічні фільтри дуже ефективно відділяють пил і добре працюють у поєднанні зі ступенем сухого очищення газів для видалення кислотних газів. Крім того, з огляду на вогнетривкість фільтрувального матеріалу та сприятливу температуру фільтрування, за допомогою цієї технології можна здійснювати каталітичне відновлення викидів NO_x шляхом застосування каталітичних керамічних фільтрів, у яких каталізатор вбудований у керамічні фільтрувальні елементи. Таким чином, основні забруднюючі речовини, що викидаються скловарною піччю, можна одночасно видаляти в одному елементі обладнання.

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Огляд екологічних показників каталітичного керамічного фільтра, що зустрічається на різних типах установок, наведено у Таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Огляд екологічних показників установок з каталітичним керамічним фільтром

Сфера застосування	Масштаб	Площа фільтра (м²)	Температура (°C)	Речовина	Кількість на вході	Кількість на виході
Спалювання	Повний	112	220 – 260	Діоксин	1 – 2 нг/м³ н.у.	<0,01 нг/м³ н.у.
Спалювання	Дослідно-промисловий	56	180	NO _x	450 мг/м³ н.у.	48 мг/м³ н.у.
Спалювання	Дослідно-промисловий	51	280	Діоксин	75 нг/м³ н.у.	0,55 нг/м³ н.у.
Скло	Дослідно-промисловий	56	280	NO _x	1200 мг/м³ н.у.	250 мг/м³ н.у.

Керамічні фільтри гарантовано знижують викиди твердих часток до <10 мг/м³ н.у. На практиці заводи, на яких використовуються керамічні фільтри, за правильної експлуатації досягають концентрацій у <2 мг/м³ н.у.

Повідомлялося про ефективність видалення >90 % для HCl, >80 % для SO_x та близько 80 % для NO_x [113, Процес CerCat від Maguin, 2008].

Міжсередовищні наслідки

У порівнянні з рукавними фільтрами, керамічні фільтри мають більшу вагу, яку потрібно враховувати при технічному проектуванні заводу. Матеріали, що використовуються для побудови конструкції фільтра, повинні бути придатними для роботи за підвищених температур. Як і в інших каталітичних відновлювальних системах для зниження викидів NO_x (СКВ, СНКВ), у каталітичний керамічний фільтр потрібно вприскувати аміак або, якщо температура достатньо висока, сечовину. Зберігання та транспортування аміаку чи сечовини може супроводжуватися леткими викидами і регламентуватися спеціальним законодавством.

Застосовність

Керамічні фільтрувальні елементи доступні на ринку з середини 1980-х років, а у своєму монолітному виконанні – з 1991 року. З того часу вони застосовувалися для виконання ряду завдань, які потребували ефективного фільтрування за високих температур.

Кілька років тому керамічні фільтри були застосовані на традиційній печі для виробництва боросилікатного скла у Великій Британії; ця установка більше не експлуатується.

Керамічні фільтрувальні елементи розраховані на роботу за температур до 900 °C, а каталітичні керамічні фільтри розраховані на роботу за температур до 400 °C: понад цю температуру ефективність каталізатора може знизитися. На практиці більшість систем, що базуються на керамічних фільтрувальних елементах, експлуатуються за температур приблизно до 450 °C максимум – це максимальна температура для конструкцій з вуглецевої сталі на заводі.

Є ряд міркувань щодо ефективного очищення кислотних газів (SO₂, HCl, HF), у тому числі вибір абсорбенту, стехіометричне відношення, температура та доступна тривалість реакції.

Найкращим сорбентом для використання з керамічними фільтрувальними елементами є бікарбонат натрію. У випадках, коли параметри вважаються надто високими для бікарбонату натрію (наприклад, при очищенні газів від HF), також можна застосовувати вапняні абсорбенти.

Якщо фільтр використовується для відновлення NO_x, то склад каталізатора, вбудованого у каталітичні керамічні фільтрувальні елементи, підібраний для роботи з аміаком або сечовиною у якості реагенту.

Економіка

Керамічні фільтрувальні елементи дають змогу поетапно встановлювати обладнання для зниження забруднення. На першому етапі можна встановити фільтр на основі стандартних фільтрувальних елементів для зниження викидів твердих часток і видалення кислотних газів (за допомогою адсорбенту), підтримуючи достатню температуру для майбутнього керування рівнем NO_x.

На другому етапі фільтрувальні елементи можна модернізувати, замінивши їх каталітичними керамічними фільтрувальними елементами для відновлення NO_x , або встановити систему селективного каталітичного відновлення. Найбільш доцільний варіант вибирається з огляду на економічні та технічні міркування. Таке поетапне впровадження дасть змогу уникнути зайвих або передчасних витрат.

Початкові капітальні витрати на систему, що базується на каталітичних керамічних фільтрах, можуть бути значно нижчими, ніж на традиційні альтернативи. У розрахунку річних експлуатаційних витрат слід враховувати витрати на енергію, адсорбент, заміну фільтрувального матеріалу, трудові ресурси та інші чинники. Розрахунки витрат свідчать, що вартість володіння системою каталітичного керамічного фільтра за весь термін служби вигідна у порівнянні з іншими технологіями.

Рушій для впровадження

Можливість видалення суміші забруднюючих речовин за допомогою єдиної системи може бути особливо привабливою, якщо доступна виробнича площа обмежена.

Приклади заводів

Каталітичні керамічні фільтри застосовуються в невеликому масштабі як на повномасштабних, так і на дослідно-промислових заводах. Дослідно-промислові установки налаштовані таким чином, щоб точно відображати фактичні експлуатаційні умови. Одне дослідно-промислове випробування проводилося на європейській лінії з виробництва плоского скла з друком. На дослідному заводі було встановлено 40 фільтрувальних елементів Cerafil TK-3000 XS-1 (довжина 3 м на зовнішній діаметр 150 мм, ефективна площа 1,4 м²). Досягнуте зниження рівнів NO_x склало близько 80 % за температури 280 °C, яка є ідеальною температурою для довготермінового застосування. Випробування на штучне старіння продемонструвало стабільність роботи у довготерміновій перспективі.

Друге експлуатаційне випробування було проведене на європейській лінії з виробництва флоат-скла. Результати поки що недоступні з огляду на конфіденційність.

Було оголошено, що у 2010 році будуть введені в експлуатацію дві промислові установки, у тому числі одна – у секторі сортового скла для виробництва вапняно-натрієвого скла. Їх мета полягає в тому, щоб оцінити цю технологію з технічної та економічної точки зору протягом повної кампанії.

Довідкова література

[151, Madison Filter Ltd., 2008], [113, Процес CerCat від Maguin, 2008]

6.8 Електростатичний фільтр NASU для наночасток

Опис

У галузі виробництва скла для видалення пилу з відхідних газів скловарної печі зазвичай застосовуються такі технології, як електростатичний фільтр (електростатичний пиловловлювач – ЕСП) та рукавний фільтр. Ці технології демонструють хорошу ефективність видалення великих та дрібних часток – навіть з діаметром <2 мкм. Проте дрібні частки (<2 мкм), наддрібні частки (<1 мкм) та наночастки (<0,1 мкм) важче відділити. За своєю аеродинамічною та електростатичною поведінкою частки діаметром понад 0,01 мкм кардинально відрізняються від часток розміром 2 мкм і більше. Частки розміром менше 0,1 мкм мають високу рухливість та менші значення заряду, і для їх видалення потрібен рукавний фільтр зі щільної тканини, який, відповідно, створюватиме більший перепад тиску на лінії димових газів. У випадку традиційних електростатичних фільтрів перепад тиску не буде проблемою, однак агрегат, який слід використовувати, буде великим і порівняно дорогим, оскільки в ньому має бути кілька зарядних зон (багато полів) для заряджання дрібних часток так, щоб вони ефективно видалялися (заряджання полем).

Електростатичний фільтр для наночасток базується на іншій технології заряджання часток (дифузійне заряджання), яка більш ефективна для видалення дрібних часток.

Система складається з двоступеневого пристрою, у якому використовується «пристрій для заряджання струменем зі швидкістю звуку»: всередині цього пристрою утворюються іони, які вдуваються у трубопровід димових газів повітряним потоком зі швидкістю звуку. Схема пристрою для заряджання струменем зі швидкістю звуку представлена на Рисунку 6.3

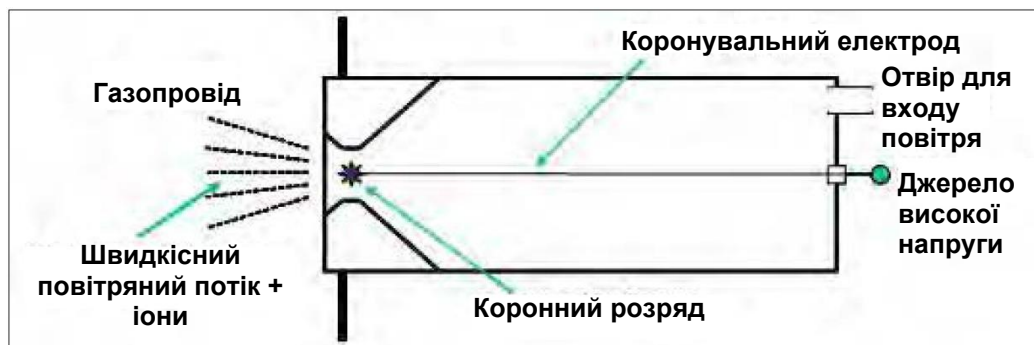


Рисунок 6.3. Схема пристрою для заряджання струменем зі швидкістю звуку

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдасться досягти

Типова ефективність видалення пилу електростатичним фільтром NASU, що складається з одного модульного фільтра, становить 80 – 90 % від загального масового навантаження частками. Якщо використовується кілька полів (два або більше послідовно з'єднаних фільтрувальних агрегатів), теоретично можна досягти ефективності видалення до 95 %. Повідомлені значення ефективності стосуються видалення твердих часток з середнім розміром частки менше 2 мкм.

Експлуатаційні параметри

Система електростатичного фільтра NASU, встановлена на установці з виробництва сортового скла, працює з середньою швидкістю потоку у трубопроводі приблизно у 5,5 м/с. Пристрій для заряджання струменем зі швидкістю звуку не потрібно чистити; на ньому присутня постійна напруга корони, а властивості димових газів не впливають на струм. Пристрій зовсім невеликий і недорогий.

Застосовність

Систему електростатичного фільтра NASU можна застосовувати для відфільтровування дрібних часток у різних сферах застосування, в тому числі для скловарних печей та у системах нанесення покриття на скло.

Економіка

Модульність системи дає змогу з'єднати разом ряд стандартних модулів, щоб створити потік з однаковою витратою у фільтрах різного розміру. Завдяки цій особливості система електростатичного фільтра NASU дуже економічно ефективна. Система потребує невеликих монтажних та експлуатаційних витрат і мінімального технічного обслуговування.

Рушій для впровадження

Основним рушієм для реалізації є потреба в ефективному видаленні наддрібних часток від джерел викидів, а також можливість застосування кількох (10 – 12 або більше) модульних агрегатів залежно від потреби та об'єму відхідних газів.

Приклади заводів

Фільтр був випробуваний на заводі Veneq (Хельсінкі, Фінляндія), де він застосовувався для очищення димових газів від системи нанесення покриття на скло.

Система була випробувана у січні 2009 року на скляному заводі Litala Nuutajärvi: вона обслуговувала дві традиційні горшкові печі для виробництва сортового скла, що опалювалися пальниками на зрідженому нафтовому газі. Фільтр був встановлений на даху будівлі.

Проект NASU ще не завершений. Тривають дослідження на предмет того, чи є ця система доцільним рішенням для промислових цілей.

Довідкова література

[152, Внесок Фінляндії, 2009]

6.9 Скрубер із зарядженою хмарою

Опис

Технологія скрубера з зарядженою хмарою (СЗХ) – це система, у якій забруднюючі речовини, як тверді, так і газоподібні, видаляються шляхом пропускання відхідних газів крізь камеру, у якій міститься ретельно створена «газопромивна хмара» з заряджених водяних крапель великої густини.

Усередині системи хмарної камери мільярди крапель швидко взаємодіють з частками, присутніми у технологічних відхідних газах. Коли частка і крапля наближаються одна до одної на відстань менше 20 мікрон, вони притягуються одна до одної під дією електричних сил, і частка втягується у краплю.

Уловлені частки злипаються у збірнику і відкладаються на дні камери, звідки вони видаляються у вигляді невеликого об'єму шламу. Порівняно очищена вода з верхньої частини збірника рециркулює назад на зарядну решітку, де вона перезаряджається і знову використовується в системі.

Окрім дрібних та наддрібних часток, система СЗХ здатна видаляти розчинні газоподібні забруднюючі речовини (наприклад, SO_2 , HCl , HF , NH_3).

На Рисунку 6.4 зображена схема цієї системи.

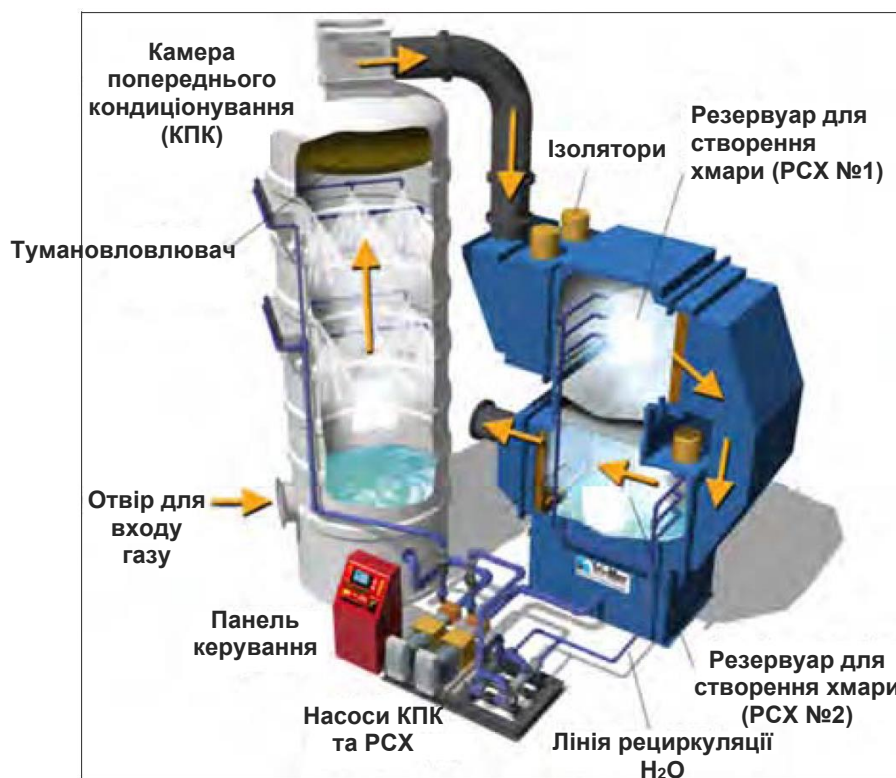


Рисунок 6.4. Схема системи скрубера з зарядженою хмарою

Вигоди для навколишнього середовища, яких вдається досягти

Повідомлялося, що у ході експлуатаційних випробувань на відхідних газах киснево-паливної скловарної печі було зареєстровані такі вигоди для навколишнього середовища: висока ефективність зниження викидів як твердих часток, так і SO_x (з 410 мг/м^3 н.у. до 23 мг/м^3 н.у. та з 770 мг/м^3 н.у. до 1 мг/м^3 н.у.; дані повідомлені для тих же умов, за яких виміряні). Повномасштабна система СЗХ була випробувана на киснево-паливній печі у США; результати поки що недоступні.

Експлуатаційні параметри

Споживання електроенергії при електростатичному заряджанні крапель, за оцінками, значно менше, ніж у системах електростатичних фільтрів.

Перепад тиску у системі СЗХ дуже малий і створюється головним чином тумановловлювачем та з'єднувальними трубопроводами. Повідомляється, що технологія порівняно не зазнає впливу змін у навантаженні частками та вмісті інших компонентів, що створюють навантаження.

Застосовність

Система потенційно може застосовуватися для очищення відхідних газів від скловарних печей усіх типів, проте це потребує підтвердження.

Економіка

На час укладання цього документа (2010 рік) показники витрат були відсутні.

Рушій для впровадження

Система СЗХ потенційно може помітно зменшити потребу у виробничій площі в тих випадках, коли необхідно знижувати викиди як дрібного пилу, так і кислотних газів.

Приклади заводів

На час укладання цього документа (2010 рік) перша повномасштабна установка випробовується у США на киснево-паливній печі.

Довідкова література

[170, Н. Харріс (N. Harris), 2009], [171, Tri-Mer Corporation, 2010]

7 ЗАКЛЮЧНІ ЗАУВАЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МАЙБУТНЬОЇ РОБОТИ

Графік процесу перегляду

Робота над переглядом Довідкового документа з НДТМ для виробництва скла (BREF під кодом GLS) почалася з відновлення діяльності Технічної робочої групи (ТРГ) у лютому 2006 року. Далі, у березні 2006 року, було зроблено запит побажань з наступною підготовкою допоміжного документа, у якому були окреслені побажання членів ТРГ та ключові питання для перегляду цього документа.

Установче засідання з процесу перегляду цього Довідкового документа з НДТМ відбулося у січні 2007 року. ТРГ погодила зберегти структуру існуючого документа і оновити всі розділи, внісши до них додаткову інформацію – зокрема, нові дані про викиди та рівні споживання ресурсів. Була зафіксована потреба у розширенні існуючої інформації щодо операцій подальшої обробки, викидів важких металів, використання скляного бою (доступність, вимоги до якості, тощо). Було вирішено додати інформацію на теми, які не були розглянуті в існуючому документі – зокрема, щодо викидів сполук бору, дифузних та легких викидів.

У ході установчого засідання було порушено питання про конфіденційність даних, які планувалося зібрати для перегляду Довідкового документа з НДТМ, через проблему конкуренції, пов'язану з процедурою розгляду порушень, яка в цей час провадилася Комісією (Генеральною дирекцією з питань конкуренції – DG COMP) проти деяких великих виробників скла. Після консультації з Генеральною дирекцією з питань конкуренції підгрупа ТРГ визначила керівні принципи для збору даних разом з необхідними обмеженнями для уникнення делікатних проблем, пов'язаних з конкуренцією. Ця вимога спричинила певні труднощі у зборі даних про викиди та споживання ресурсів на рівні установки.

Період збору даних та інформації завершився у липні 2007 року. Інформація була підтверджена шляхом відвідувань об'єктів, консультацій з членами ТРГ та критичної перевірки, виконаної EIPPCB.

Перший ескіз Довідкового документа з НДТМ, до якого увійшли частини 1 – 4, був випущений у лютому 2008 року, а період консультацій ТРГ завершився у квітні 2008 року. У травні 2008 року роботу перебрав на себе новий автор, який підготував переглянуту версію першого ескізу, що була випущена у вересні 2008 року. Проміжне засідання ТРГ відбулося у жовтні 2008 року з метою обговорення ряду специфічних тем, на які потрібно було зібрати додаткову інформацію для завершення процесу перегляду.

Другий ескіз переглянутого Довідкового документа з НДТМ включно з частиною 5 (ескізні висновки щодо найкращих доступних технологій та методів управління) та частиною 6 (перспективні технології) був випущений у червні 2009 року (повний документ) з запитом до членів ТРГ надати коментарі щодо переглянутого документа до вересня 2009 року.

Заключне засідання ТРГ було проведене у грудні 2009 року. На час проведення засідання ТРГ складалася з 85 членів, які представляли 20 країн-членів ЄС, зацікавлені промислові організації, Європейську комісію та неурядові організації з охорони навколишнього середовища.

Джерела інформації та інформаційні прогалини

На обмін інформацією з метою перегляду цього Довідкового документа з НДТМ вплинули зазначені вище обмеження, які були зумовлені головним чином питаннями конкуренції. Незважаючи на це, було надано велику кількість корисних документів, і в цей переглянутий документ було додано більш ніж 100 нових посилань. Як і для початкового документа, значна частина інформації була надана для представлення різноманіття восьми різних секторів скляної промисловості і для того, щоб вказати можливість застосування визначених технологій у всіх технологічних процесах та секторах. Для завантаження документів та коментарів, отриманих від членів ТРГ, для забезпечення ефективного обміну інформацією та високого ступеня прозорості систематично використовувалася інформаційна система з НДТМ (BATIS).

Учасниками, які зробили основний внесок в обмін інформацією, були промислові асоціації, які представляли всю скляну промисловість (CPIV) та окремі сектори (FEVE, «Скло для Європи» (Glass for Europe), APFE, «Сортове скло» (Domestic Glass), ESGA, EURIMA, ECFIA, ANFFECC), а також кілька країн-членів ЄС – зокрема, Австрія, Іспанія, Італія, Нідерланди, Німеччина, Португалія та Франція.

Для перегляду частини 4, використовувався ряд документів, які містили дані про викиди з прикладів установок та вичерпну інформацію про витрати та міжсередовищні наслідки, – зокрема, звіти від HVG (Німеччина), Австрії, TNO (надано CPIV) та Entec (надано EURIMA).

Незважаючи на корисність отриманої інформації, було виявлено кілька проблем:

- Дані про викиди та споживання ресурсів регулярно подавалися в узагальненому вигляді.
- Деякі дані про приклади установок були надані з прогалинами – наприклад, не було вказано звітний рік, за який розраховувалися витрати на технології, та довготермінові показники викидів у випадках використання точкових вимірювань.
- Для деяких секторів дані про споживання енергії були надані у вигляді діапазонів (мінімальне та максимальне значення) і не були доповнені значимими параметрами, такими як тип та вік печі і відсоток скляного бою.
- Було виявлено відсутність даних про викиди сполук селену у виробництві кольорового плоского скла, тарного флінту та сортового скла, а також про робочі показники систем очищення газів для видалення викидів.

Рівень згоди під час обміну інформацією

У ході заключного засідання технічної робочої групи та після нього в межах ТРГ було досягнуто згоди щодо документа у цілому. Незгода була висловлена щодо обмеженої кількості ВРВ НДТМ, і два з цих спірних питань були зафіксовані.

У Таблиці 7.1 наведені розбіжності у точках зору, які були висловлені членами ТРГ та зафіксовані.

Таблиця 7.1. Розбіжності у точках зору

Висновок щодо НДТМ	Хто висловив точку зору	Розбіжність у точках зору
№ 17	Португалія, Італія	<p>Дві країни-члени ЄС вважають, що верхнє значення діапазону ВРВ НДТМ, що характеризує застосування модифікацій згорання для зниження викидів NO_x, недосяжний у випадку існуючих установок – зокрема, газових регенеративних печей з поперечним полум'ям. З огляду на дані про приклади установок (див. Стовець 1 у Таблиці 4.15, розділ 4.4.2.1) та значення, наведені в пункті «Експлуатаційні параметри» у розділі 4.4.2.1, ВРВ НДТМ у 800 мг/м³ н.у. (еквівалентний 1,2 кг/тонну звареного скла), визначений як середньодобове значення або середнє значення за період відбору проб, не вважається характеристичним для всіх типів традиційних скловарних печей. У якості досяжного рівня викидів для газових печей з поперечним полум'ям вказані рівні викидів у діапазоні 700 – 1100 мг/м³ н.у. (0,9 – 1,7 кг/тонну звареного скла).</p> <p>На думку двох країн-членів ЄС, вторинні заходи, які можуть вважатися більш ефективним альтернативним НДТМ для досягнення нижчих відповідних рівнів викидів (наприклад, СКВ та СНКВ), ніколи не були реалізовані для печі цього типу через технічні обмеження та її низьку експлуатаційну гнучкість.</p>
№ 19	Європейська асоціація тарного скла	<p>Промислова організація вважає, що верхнього значення діапазонів ВРВ НДТМ для печей, що працюють як на природному газі, так і на мазуті, важко досягти, особливо у разі повної переробки відфільтрованого пилю та використання у рецептурі шихти великих часток привізного скляного бою. Виробництво певних типів скла з фіксованим ступенем окиснення та низьким ступенем утримання сірки у розплаві, що визначають колір скла та інші значимі властивості, загалом супроводжується вищими викидами SO_x у порівнянні зі склом, для якого властивий вищий ступінь утримання сірки. Згідно з даними, повідомленими у розділі 3.3.2.2, Таблиці 3.15 та розділі 4.4.3.3, для газових печей очікуються значення у діапазоні <500 – 800 мг/м³ н.у. (0,75 – 1,2 кг/тонну звареного скла), а для мазутних печей – у діапазоні <1200 – 1500 мг/м³ н.у. (1,8 – 2,3 кг/тонну звареного скла). На думку галузі, досягнення діапазонів ВРВ НДТМ, яких дійшли у висновку, призведе до появи потоку відходів з відфільтрованого пилю і поставить під загрозу переробку скляної упаковки (привізного скляного бою в Європі).</p>

Консультація з Форумом та наступна процедура офіційного прийняття висновків щодо НДТМ

24 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 12-13 вересня 2011 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-друге, 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

Надалі Комісія враховувала висновок Форуму за Статтею 13 IED при підготовці ескізного Виконавчого рішення Комісії, що встановлює висновки щодо НДТМ для виробництва скла.

На своєму засіданні 21 листопада 2011 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.

Рекомендації для майбутньої роботи

У ході обміну інформацією та з огляду на якість його результатів було виявлено ряд сфер, у яких в майбутньому слід далі збирати інформацію: це допоможе визначити застосовність ряду технологій, які враховуються при визначенні НДТМ, уточненні ВРВ НДТМ та інших відповідних рівнів.

Подальша робота у цій сфері допоможе поглибити розуміння міжсередовищних наслідків та потенційних удосконалень робочих показників деяких визначених НДТМ. Нижче наведені рекомендації щодо сфер майбутньої роботи та сфер, які потрібно переглянути при перегляді цього документа.

- Слід зібрати більше даних на рівні установок для оцінки робочих показників визначених технологій. Слід зібрати дані про викиди для всіх відповідних застосованих технологій.
- Разом з даними про викиди слід зібрати більше інформації про методи вимірювання (безперервні чи періодичні вимірювання) – зокрема, про значення межі виявлення та невизначеність.
 - Дані про питоме споживання енергії слід надати у розбитому вигляді для кращого розуміння; слід зібрати детальнішу інформацію на рівні установок (наприклад, відсоток скляного бою, вік печі, тощо).
 - Дані про інвестиційні та експлуатаційні витрати, надані для конкретного заводу, слід пов'язати з іншою значимою інформацією (рік інвестиції, статті показників витрат, тощо).
 - Слід зібрати більше даних про викиди CO.
 - Слід зібрати більше даних про викиди NH₃ при застосування СКВ чи СНКВ – зокрема, ув'язати досяжні рівні викидів NO_x з потенційними міжсередовищними наслідками проскоку аміаку.
 - Слід зібрати дані про викиди сполук бору на рівні установок з огляду на визначення конкретних ВРВ НДТМ для цих сполук. Ця рекомендація особливо актуальна через внесення двох сполук бору (борна кислота, безводний динатрійтетраборат) до переліку речовин-кандидатів у список Особливо небезпечних речовин (SVHC) у рамках дії Європейського регламенту щодо реєстрації, оцінки, санкціонування та обмеження використання хімічних речовин (REACH) 2006/1907/EC.
 - Додатково слід зібрати інформацію та дані про викидів для конкретних заводів у секторах плоского скла і тарного скла для оцінки відповідних міжсередовищних наслідків, пов'язаних з високими рівнями ефективності видалення викидів SO_x та переробки відфільтрованого пилу у рецептурі шихти. Зокрема, слід більш вичерпно дослідити варіанти захоронення пилу на полігонах на противагу вищим викидам SO_x.
 - Для виробництва кам'яної вати слід зібрати додаткові дані про рівні ефективності видалення SO_x та міжсередовищні наслідки, пов'язані з утворенням потоку твердих відходів, на рівні установок. Зокрема, слід доповнити інформацію про переробку твердих відходів шляхом виготовлення з них цементних брикетів та альтернативні шляхи утилізації відфільтрованого пилу. Для виробництва кам'яної вати слід детальніше розглянути дані про викиди летких органічних сполук (ЛОС) від операцій подальшої обробки та інформацію, пов'язану з джерелами та технологіями зниження викидів.
 - Для всіх відповідних секторів (тарне, плоске, сортове та спеціальне скло; мінеральна вата; фрити) слід зібрати дані про викиди NO_x, пов'язані з використанням нітратів у рецептурі шихти. Потрібні як дані про типові викиди для конкретних секторів, так і значення на рівні окремих установок.

- ° Для виробництва фрит слід зібрати додаткові дані про викиди NO_x та інформацію щодо можливих варіантів їх зниження для конкретних заводів з метою кращої оцінки цього сектора.

Рекомендовані теми для майбутніх науково-дослідницьких робіт

Слід дослідити потенційну застосовність деяких доступних технологій для сектора фрит, звернувши особливу увагу на вторинні заходи (у кінці виробничого циклу) зі зниження викидів NO_x (наприклад, СКВ, СНКВ), щоб визначити технічні та економічні обмеження таких технологій.

Для визначення стандартного методу відбору проб та для оцінки належних ВРВ НДТМ буде корисною порівняльна робота з вимірювання твердих та газоподібних викидів сполук бору зі скловарних печей, у яких виготовляється боровмісне скло.

На основі робочих характеристик, які спостерігалися в інших секторах промисловості, було повідомлено, що у випадку застосування СКВ в скляній промисловості теоретично можна досягти нижчих рівнів викидів NO_x . Потрібно дослідити можливість досягнення нижчих рівнів викидів NO_x , особливо у секторі плоского скла.

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).

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 з комплексного запобігання та контролю забруднень (IPPC)

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

Веб-сайт: <http://eippcbjrc.ec.europa.eu>

8 ДОДАТКИ

8.1 Додаток І. Методика оцінки витрат на контроль забруднення повітря та міжсередовищних наслідків

[94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

Скляною промисловістю був наданий довідковий документ, що використовувався для складання більшості висновків про показники витрат і таблиць, представлених у розділах «Економіка» у частині 4. Дані, наведені у частині 4 та в цьому розділі, означають витрати та міжсередовищні наслідки різних технологій, що застосовуються в різних секторах скляної промисловості та для печей різних розмірів з метою контролю забруднень повітря.

У цьому розділі описана методика, яка застосовувалася для оцінки додаткових виробничих витрат, пов'язаних зі встановленням та експлуатацією обладнання для контролю забруднення повітря на заводі з виробництва скла. У цьому розділі також описано розрахунок доданих витрат, пов'язаних із застосуванням модифікацій технологічного процесу (змін у конструкції, переходу на киснево-паливне або електричне варіння скла), що здійснюється в першу чергу з метою зниження рівнів викидів (виражених як концентрації або як абсолютні значення) певних забруднюючих сполук.

Методика розрахунку розроблена Нідерландами з метою стандартизації розрахунку витрат і наслідків заходів, націлених на охорону навколишнього середовища, незалежно від внутрішніх показників витрат, що застосовуються компанією, яка використовує досліджувану технологію (Голландська директива про викиди у повітря – NER (Nederlandse Emissie Richtlijn Lucht), центр знань InfoMil, вересень 2004 року, ISBN 90-776323-01-1) [155, Голландська директива про викиди у повітря (NER), квітень 2003 року].

Представлена у наступних розділах методика, що застосовувалася для розрахунку більшості показників витрат, наведених у частині 4, базується головним чином на підході, встановленому Голландською директивою про викиди у повітря (NER).

Оскільки у скляній промисловості основні викиди зумовлені, як правило, процесом варіння скла, тут розглядаються лише витрати на зниження викидів твердих часток та газоподібних викидів зі скловарних печей.

8.1.1 Витрати, що враховуються в економічній оцінці

Додаткові витрати на системи контролю забруднення повітря (КЗП) складаються з капітальних/інвестиційних витрат на додаткове обладнання або зміни в існуючих установках. Ці витрати розкидані по всьому економічно обґрунтованому терміну служби і розраховуються як капітальні витрати на рік. У цих витратах враховується річна амортизація інвестицій плюс річні витрати на виплату відсотків.

Типові інвестиційні витрати можуть бути, наприклад, такими:

- фільтри, скрубери, обладнання для СКВ, нові пальники, зміни у конструкції печі;
- трубопроводи, під'єднання клапанів до існуючих систем димових газів, додаткові вентилятори чи збільшення потужності вентилятора для компенсації перепаду тиску димових газів на обладнанні (фільтр, система СКВ, скрубер);
- зберігання (силоси) та транспортування відходів – наприклад, зібраного відфільтрованого пилу;
- у випадку систем мокрого очищення газів: система очищення стічних вод та очищення осаду стічних вод;
- технічне проектування та будівництво/зведення обладнання на майданчику;
- транспортування нового обладнання;
- підготовка майданчика: фундаменти, будівлі;
- електропостачання, трансформатори;
- зміни в димових трубах або спорудження додаткової димової труби;
- вартість ліцензій (часто входить у ціну основного обладнання);
- система безперервного моніторингу складу димових газів (NO_x , SO_x , O_2 , пил), необхідна для перевірки робочих характеристик системи КЗП та для виявлення

несправностей (як-от отруєння чи засмічення каталізатора, несправність модулів рукавного фільтра) у роботі КЗП.

К цьому дослідженні відсоткові ставки, які стосуються цих інвестицій, прийняті рівними 6 % річних, а термін списання обладнання прийнятий рівним 10 рокам, з урахуванням середнього терміну служби обладнання КЗП та економічним термінам повного списання вартості для цих типів установок. Для будівель, фундаментів або інших інфраструктурних засобів амортизація рівномірно рознесена на 25 років.

Внесок відсоткової ставки та часу списання у середньорічні витрати на КЗП, приведений до значення за 2007 рік, розраховується за такою формою:

$$\text{Капітальні витрати у євро/рік} = \text{Витрати на обладнання} \times \frac{[\{ (1+I/100)^{ELE} \} / \{ (1+I/100)^{ELE} - 1 \}] \times I/100}{[\{ (1+I/100)^{ELI} \} / \{ (1+I/100)^{ELI} - 1 \}] \times I/100} + \text{Витрати на інфраструктуру} \times \frac{[\{ (1+I/100)^{ELI} \} / \{ (1+I/100)^{ELI} - 1 \}] \times I/100}{[\{ (1+I/100)^{ELI} \} / \{ (1+I/100)^{ELI} - 1 \}] \times I/100}$$

де:

- ELE = час списання обладнання, у роках (значення за замовчуванням: 10 років)
- ELI = час списання інфраструктурних інвестицій, у роках (значення за замовчуванням: 25 років)
- I = річна відсоткова ставка, у % (значення за замовчуванням: 6 %/рік)
- витрати на обладнання = поточна вартість усього придбаного обладнання та встановлення обладнання, плюс виведення з експлуатації за поточною вартістю
- витрати на інфраструктуру = поточна вартість фундаментів, електропостачання, будівель, та іноді витрати на модифікації димової труби.

Експлуатаційні витрати на обладнання для контролю забруднення повітря наведені нижче.

- Додаткове споживання енергії: важливим чинником є електроенергія, що витрачається на виробництво кисню, приведення в дію двигунів вентиляторів та операції, що супроводжуються споживанням стисненого повітря (очищення фільтрів, вприскування абсорбенту у газовий потік, вдування розчину аміаку).
- Хімічні реагенти: розчин аміаку (або сечовини), вапняк або гашене вапно (для скрубєрів), карбонат натрію або бікарбонат натрію.
- Додаткове паливо: наприклад, для компенсації втрати енергоефективності в деяких випадках, або для вприскування вуглеводнів у вихлопні гази при застосуванні процесу 3R.
- Кисень: у разі невеликої потреби (для малих печей) кисень постачається вантажівками. У цьому випадку кисень дорожчий, ніж у разі виробництва кисню в великих кількостях на об'єкті за допомогою криогенної дистиляції або процесів з використанням молекулярного сита (за допомогою системи абсорбції за змінного тиску – PSA або системи вакуумної абсорбції / вакуумної абсорбції за змінного тиску – VSA/VP SA). Деякі компанії-виробники скла можуть забезпечуватися киснем безпосередньо через трубопроводи рідкого кисню, розташовані поблизу. Ціни на кисень можуть варіюватися від 0,05 до 0,15 євро за м³ (чистий кисень), залежно від рівня споживання (необхідного об'єму кисню), умов договору, відстані до місця виробництва кисню та місцевих цін на електроенергію.
- Дозволи на викиди CO₂: додаткове споживання енергії викопного палива, пов'язане з роботою систем КЗП (наприклад, процесу 3R), або відмінності у споживанні енергії викопного палива печами різних типів (киснево-паливне опалювання у порівнянні з повітряно-паливним опалюванням) призводять до зміни об'єму викидів CO₂ і потребують інших дозволів на викиди CO₂ (у цьому дослідженні припускається, що дозвіл на 1 тону викидів CO₂ коштує 20 євро).
- Захоронення відфільтрованого пилу: компанії-виробники скла намагаються повторно використовувати відфільтрований пил у якості сировини для шихти. Проте якщо у системі накопичується неприйнятна кількість сірки чи хлоридів, або в печі виникають проблеми з винесенням дрібнодисперсного пилу, частину відфільтрованого пилу (або іноді весь пил) потрібно захоронити за межами об'єкта. Витрати на захоронення плюс транспортування можуть досягати 400 євро на тону пилу.

- Технічне обслуговування та експлуатація обладнання робочою силою.
- Регулярне калібрування обладнання для моніторингу димових газів.
- Вода, що використовується для миття, напівсухого чи мокрого очищення димових газів або для приготування розчинів аміаку.
- Ремонт
- Заміна модулів каталізатора або модулів рукавних фільтрів з типовим терміном служби 5 років.

Для розрахунку вартості витратних матеріалів та енергії використовувалися такі питомі рівні цін за замовчуванням:

- електроенергія: 0,091 євро на кВт·год. (включно з податками за ставками, що діяли в країнах ЄС-27 станом на 2007 рік), розраховано за цінами на електроенергію для великих промислових споживачів (Євростат: ціни на електроенергію для великих промислових споживачів та ціни на природний газ для великих промислових стандартних споживачів);
- природний газ / мазут: 10,43 євро/ГДж (на основі нижчої теплоти згорання, включно з податками) або 9,41 євро/ГДж брутто;
- ціна на кисень: 0,06 євро за м³ для великих споживачів та 0,10 євро за м³ для малих споживачів;
- модулі каталізатора для систем СКВ: 12 000 євро за м³;
- вода: 2 євро за м³;
- аміак (NH₃): 400 євро за тонну;
- гашене вапно: 175 євро за тонну (високоякісний сорт);
- карбонат натрію: 160 євро за тонну;
- бікарбонат натрію: 210 євро за тонну;
- дозволи на викиди CO₂: 20 євро за тонну CO₂;
- трудові ресурси: 40 000 євро за повний людино-рік (1 680 годин);
- захоронення відходів (якщо необхідно): 400 євро за тонну відходів (хімічні відходи) ([†]).

Наведені вище витрати отримані/розраховані для середньої ситуації у країнах ЄС-27 станом на 2007 рік.

8.1.2 Порівняння витрат на різні технології

У кількох випадках витрати, пов'язані зі зниженням викидів конкретних забруднюючих речовин, неможливо безпосередньо визначити з інвестиційних витрат на обладнання, що використовується в кінці виробничого циклу (таке як скрубери, фільтри або системи СКВ), та відповідних експлуатаційних витрат. Для визначення питомих витрат на зниження викидів (витрати на кг видалених сполук), особливо у випадку застосування первинного заходу, потрібно визначити різницю у собівартості виробництва між традиційним процесом та новим процесом з нижчим рівнем викидів і розрахувати різницю між об'ємами викидів, що утворюються в обох випадках (перед реалізацією НДТМ та після цього).

У якості прикладу розглядається застосування киснево-паливного опалювання у скловарних печах. Загальні витрати на варіння скла, розраховані за період типового терміну служби печі, складаються з витрат на піч та межеве обладнання, витрат на енергію і кисень та виробничих збитків під час поточних чи капітальних ремонтів. Загальні витрати, розділені на загальний об'єм виробництва за цей період, еквівалентні витратам на варіння скла.

Киснево-паливне опалювання вважається первинним заходом (який запобігає утворенню NO_x) і застосовується у Європі та США головним чином для зниження викидів NO_x. У

([†]) Витрати на захоронення дуже залежать від конкретної країни і можуть досягати 400 – 600 євро/тонну відходів. Звісно, питомі витрати можуть змінюватися з часом; рівні деяких цін, таких як вартість палива, дуже мінливі. У різних регіонах Європи можуть спостерігатися дуже різні витрати на електроенергію, робочу силу, захоронення відходів на воду.

результаті переведення скловарної печі з повітряно-паливного (традиційного) опалювання та киснево-паливне опалювання встановлюється інший рівень витрат на варіння тонни скла, який, у свою чергу, приводиться до величини зниження викидів NO_x : отримане значення виражається у євро на тонну зниження викидів NO_x .

Для електричного варіння скла, яке є альтернативним способом зниження викидів за допомогою первинних заходів, різниця між витратами на варіння скла в електричній печі, розрахованими за достатньо тривалий час (наприклад, 10 або 15 років), та витратами на варіння скла у газоповітряній чи повітряно-мазутній печі також приводиться до зниження викидів. Різниця у витратах не приводиться до кількості видалених забруднюючих речовин лише в тих випадках, коли зниження викидів не є основною метою застосування технології.

8.1.3 Показники витрат на контроль забруднення повітря

У цьому дослідженні капітальні витрати та експлуатаційні витрати розраховуються чи оцінюються за даними для існуючих заводів, побудованих до 2007 року, або за найновішими оцінками від постачальників систем КЗП для скляної промисловості. Витрати визначені на основі значень за 2007 рік.

У кількох відповідних випадках – для скловарних печей з виробництва тарного скла, флоат-скла, столового посуду та скловолокна з безперервних ниток – витрати на різні типи обладнання для КЗП пов'язані з потужністю печі (підібране таке обладнання, яке здатне очистити об'єми димових газів, що викидаються з печі) та з типами забруднюючих речовин, які потрібно видаляти.

Наприклад, у випадку печі для виробництва тарного скла, у якій виготовляється 300 тонн звареного скла/добу (у середньому), обладнаної сухим скруббером та рукавним фільтром, загальні річні витрати визначаються з урахуванням витрат на виплату відсотків, амортизації інвестицій та експлуатаційних витрат. Ці витрати можна розділити на загальний річний об'єм виробництва скляного розплаву, щоб оцінити вартість КЗП на тонну звареного скла. Витрати також можна розділити на загальну величину зменшення викидів даної забруднюючої речовини, на яку викиди зменшилися за один рік завдяки застосуванню цього обладнання для КЗП.

Таким чином, витрати на контроль забруднення повітря, наведені у частині 4 та у розділі 8.1.7, можна виразити так, як описано нижче.

- Витрати на тонну звареного скла (у середньому).
- Витрати на кг зниження викидів конкретної забруднюючої речовини, викиди якої знижуються за допомогою НДТМ, що було застосовано. Іноді одна комплексна система КЗП знижує викиди кількох забруднюючих речовин. Наприклад, скруббер у поєднанні з фільтром знижує викиди SO_x та пилу. У цьому випадку чітко визначається розподіл витрат за різними забруднюючими речовинами, викиди яких знижуються, оскільки зниження викидів SO_x на 1 кг не можна вважати еквівалентним зниженню викидів пилу (твердих часток) на 1 кг (див. розділ 8.1.4).
- Загальні річні витрати на інвестиції та експлуатацію.
- Річні витрати на контроль забруднення повітря відносно обороту виробництва скла.
- Річні витрати на контроль забруднення повітря відносно ринкової вартості виготовленого скла.
- Річні витрати на контроль забруднення повітря відносно загальної собівартості виробництва (витрати на варіння скла, формування, енергію, сировину та персонал для заводу з повним циклом виробництва, податки).

У цьому дослідженні визначені загальні річні витрати на КЗП, витрати на тонну звареного скла (питомі витрати) та на кг зниження викидів, і отримані результати наведені в частині 4 та у розділі 8.1.7 для існуючих установок та для нещодавно реалізованих або запланованих установок (2007 – 2008 роки).

8.1.4 Розподіл витрат на КЗП у комбінованих системах між більш ніж однією забруднюючою речовиною

Методика, представлена у Голландській директиві про викиди у повітря (NER), встановлює критерії для розрахунку питомих витрат на застосування систем контролю

забруднення повітря у випадках, коли знижуються викиди кількох забруднюючих речовин, присутніх у димових газах. Витрату на одиницю (тонну) зниження викидів розраховуються для кожного компонента за допомогою вагових коефіцієнтів.

Вагові коефіцієнти зазвичай базуються на граничних значеннях викидів, визначених у загальній Голландській директиві про викиди у повітря (NER – Nederlandse Emissie Richtlijn Lucht, центр знань InfoMil, вересень 2004 року, ISBN 90-7-76323-01-1) [155, Голландська директива про викиди у повітря (NER), квітень 2003 року].

Це означає, що зниження викидів компонента з граничним значенням викидів $X \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$ у Y/X разів важливіше, ніж для іншої забруднюючої речовини з граничним рівнем викидів $Y \text{ мг/м}^3 \text{ н.у.}$

Ваговий коефіцієнт для пилу дорівнює 10, а для SO_x – 0,5, оскільки граничний рівень викидів пилу, виражений у $\text{мг/м}^3 \text{ н.у.}$, у 20 разів менший, ніж граничний рівень викидів SO_x , згідно з загальними правилами Голландської директиви про викиди у повітря (NER).

Приклад:

У цьому дослідженні використовувалася методика, описана у Голландській директиві про викиди у повітря (NER), ваговий коефіцієнт для пилу (W_d) дорівнював 10, а для SO_x (W_s) – 0,5.

Питомі витрати на зниження викидів SO_x розраховані за загальними річними витратами (Q) у євро (капітальними та експлуатаційними) для системи зі ступеня скрубера та фільтра, що застосовується для зниження викидів зі скловарної печі, за зниженням викидів твердих часток у кг за рік (R_d) та зниженням викидів SO_x у кг за рік (R_s).

Питомі витрати на зниження викидів SO_x , у євро на кг зниження викидів $\text{SO}_x = Q \times W_s / (W_s \times R_s + W_d \times R_d)$

Питомі витрати на зниження викидів пилу, у євро на кг зниження викидів пилу $= Q \times W_d / (W_s \times R_s + W_d \times R_d)$

Вагові коефіцієнти, наведені у Голландській директиві про викиди у повітря (NER), такі:

- SO_x (у перерахунку на SO_2): 0,5
- Тверді частки: 10
- NO_x (у перерахунку на NO_2): 0,5.

8.1.5 Міжсередовищні наслідки

Споживання електроенергії, пов'язане з виробництвом кисню, або хімічних реагентів, таких як карбонат натрію, гашене вапно, бікарбонат натрію або інші реагенти, такі як аміак, пов'язане з опосередкованими викидами. Крім того, у випадку додаткового споживання викопного палива внаслідок застосування систем контролю забруднення повітря (наприклад, 3R), утворюються додаткові викиди (головним чином CO_2).

У Таблиці 8.1 наведені типові викиди на кВт·год. електроенергії з електростанцій у ЄС на кВт·год., визначені за даними Довідкового документа з найкращих доступних технологій та методів управління для енергоефективності (ENE), випущеного у червні 2008 року, та за даними про виробництво електроенергії у Європі (у країнах ЄС-27) та викиди з електростанцій за 2005 рік (дані Європейського агентства з охорони довкілля).

У Таблиці 8.1 наведені опосередковані викиди, пов'язані з виробництвом електроенергії, реагентів та хімічних речовин, що використовуються у роботі систем контролю забруднення повітря.

(Також див. Довідковий документ щодо економічних та міжсередовищних наслідків (ЕСМ), липень 2006 року, та Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для енергоефективності (ENE), червень 2008 року) [124, Європейська комісія, 2008], [156, Європейська комісія, 2006].

Таблиця 8.1. Опосередковані викиди, пов'язані зі споживанням хімічних речовин та електроенергії

Хімічна сполука / енергоносіє	Одиниця вимірювання	NO _x	SO _x	CO ₂	NH ₃
		грами	грами	кг	грами
Аміак	тонна	1000	Н/Д	1150	1000
Гашене вапно	тонна	150	Н/Д	800	Н/Д
Карбонат натрію	тонна	529	Н/Д	661	551
Бікарбонат натрію	тонна	330	Н/Д	438	350
Електроенергія	кВт·год.	1,715	6,24	0,683	Н/Д
Кисень	тонна	453	1650	180	Н/Д

Н/Д = немає даних.
 - Викиди вказані на тонну або на кВт·год.
 - Лише викиди під час виробництва, без урахування викидів під час транспортування.

Джерела:

- Дані про електроенергію: від Європейського агентства з охорони довкілля (дані за 2003 рік).
- Дані про аміак: Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва аміаку, кислот та добрив, серпень 2007 року, у рамках Директиви про комплексне запобігання і контроль забруднень (IPPC).
- Дані про карбонат натрію та бікарбонат натрію: Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості – виробництва твердих та інших речовин, серпень 2007 року, у рамках Директиви про комплексне запобігання і контроль забруднень (IPPC).
- Дані про гашене вапно: розраховані для процесу кальцинування вапняку – утворення CO₂ з вапняку плюс споживання енергії викопного палива у кальцинувальній печі (інформація від одного з виробників гашеного вапна у Європі).

8.1.6 Приклад розрахунку витрат

У Таблиці 8.2 наведено приклад витрат, розрахованих за описаною раніше методикою, для системи КЗП, що складається з електростатичного фільтра та скрубера на основі Ca(OH)₂ і застосовується для газової печі з виробництва флотат-скла потужністю 700 тонн на добу.

Таблиця 8.2. Приклад розрахунку витрат (електростатичний фільтр плюс скрубер з Ca(OH)₂) для газової печі з виробництва флотат-скла потужністю 700 тонн/добу

Загальна інформація			
Піч	З поперечним полум'ям	Регенеративна	
Тип скла	Флотат-скло		
Розплавлена склома	700	Тонни/добу	
Потік димових газів, сухий	88 000	м ³ н.у./год./суха речовина	8 % O ₂
Потік димових газів	98 000	м ³ н.у./год./волога речовина	8 % O ₂
Паливо	Газ		
Температура системи зниження викидів	350 – 400	°C	
Капітальні витрати (значення за 2007 рік)			
Витрати на дослідно-конструкторські роботи	180 000	євро	
Витрати на пуск в експлуатацію та навчання	31 000	євро	2 особи/місяць
Система водяного охолодження	75 000	євро	
Інвестиції у трубопроводи та ізоляцію фільтра (електростатичного фільтра)	2 180 000	євро	
Інвестиції у вентилятор	400 000	євро	
Інвестиції у скрубер	250 000	євро	
Інвестиції в інжектор для вапна / Ca(OH) ₂ / соди		євро	Враховано у вартості скрубера
Інвестиції в обладнання для видалення пилу з фільтра	120 000	євро	
Інвестиції у моніторинг пилу та SO _x на фільтрі	65 000	євро	
Інвестиції у зміни в димовій трубі та з'єднаннях	515 200	євро	
Витрати на транспортування деталей обладнання	125 000	євро	
Витрати на виведення з експлуатації (значення за 2007 рік)	145 800	євро	6 % інвестицій у фільтр + скрубер
Усього капітальних витрат	4 087 000	євро	
Інвестиції в електропостачання	340 000	євро	

Фундамент і будівлі, підготовка майданчика	272 500	євро		
Апаратура керування		євро		Враховано в інших статтях витрат
Загальна вартість фундаментних/будівельних робіт	612 500	євро		
Загальні інвестиції	4 699 500	євро		
Відсоткова ставка	6	%		
Термін служби установки	10	Роки		
Капітальні витрати за рік	603 206	євро		
Експлуатаційні витрати				
Абсорбент (гашене вапно)	117 815	євро/рік	3,31	тонни/тонну видаленого SO ₂ (ефективність 35 %)
Електроенергія	239 148	євро/рік	10,29	кВт·год./тонну скла (вентилятори, електростатичний фільтр, апаратура керування)
Стиснене повітря (6 бар)	55 448	євро/рік	400	м ³ н.у./год. стисненого повітря, під тиском 6 бар
Трудові витрати	30 000	євро/рік	0,75	Особи/рік
Калібрування і технічне обслуговування системи моніторингу	10 000	євро/рік		
Заміна тканини фільтра	0	євро/рік		
Захоронення відходів	389 779	євро/рік	974,45	тонни/рік
Вода	67 452	євро/рік	7,7	м ³ /год.
Усього експлуатаційних витрат на рік	909 641	євро		
Усього витрат на рік	1 512 848	євро		
				Питомі витрати
Усього тонн звареного скла	255 500	тонн звареного скла/рік	5,92	євро/тонну звареного скла
Усього тонн нетто скла	229 950	тонни нетто скла/рік	6,58	євро/тонну скляної продукції
Ваговий коефіцієнт, SO ₂	0,5			
Ваговий коефіцієнт, пил	10			
Початковий вміст SO _x	800	мг/м ³ н.у.		
Вміст SO _x після КЗП	536	мг/м ³ н.у.		
Початковий вміст пилу	140	мг/м ³ н.у.		
Вміст пилу після КЗП	5	мг/м ³ н.у.		
Об'ємна витрата димових газів крізь фільтр	88 000	м ³ н.у./год., сухий газ, 8 % O ₂		
Зменшення кількості SO _x (у перерахунку на SO ₂)	203,5	тонни/рік	0,66	євро/кг SO₂
Зменшення кількості пилу	104,1	тонни/рік	13,24	євро/кг пилу
Викиди, пов'язані зі споживанням електроенергії (опосередковані викиди на електростанції)				
NO _x			5,2	тонни/рік
SO _x			19,0	тонни/рік
CO ₂			2082	тонни/рік
Викиди, пов'язані з використанням Са(ОН)₂				
NO _x			0,1	тонни/рік
CO ₂			539	тонни/рік
Джерело: [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]				

8.1.7 Показники витрат на системи КЗП, що застосовуються для скловарних печей

У цьому розділі підсумовані розрахункові витрати на реалізацію різних систем контролю забруднення повітря (КЗП) для скловарних печей.

У Таблиці 8.3 наведені розрахункові витрати на застосування електростатичного фільтра у поєднанні зі ступенем сухого очищення газів, що застосовуються для різних скловарних печей. Дані, наведені у таблиці, стосуються як систем КЗП, що застосовувалися до 2007 року, так і систем, реалізованих у 2007 та 2008 роках. У таблиці вказані загальні інвестиційні витрати (другий стовпець), інвестиційні витрати (амортизація та виплата відсотків) на рік, експлуатаційні витрати та питомі витрати для різних печей у трьох секторах скляної промисловості, з переробкою відфільтрованого пилу або без неї. Також наведені витрати на кг SO_2 або на кг пилу, видаленого з димових газів. Ці витрати залежать від багатьох чинників, і для одного й того ж типу скла та кількості звареного скла в тоннах витрати на очищення газів у скрубєрі та фільтрування можуть бути різними через різні об'єми димових газів, додавання гашеного вапна та вибір розміру обладнання з запасом (для того, щоб система КЗП могла працювати навіть на найвищих рівнях продуктивності).

Припускається, що частина загальних витрат пов'язана з видаленням пилу, а інша частина – зі зниженням викидів SO_x .

У Таблиці 8.4 підсумовані розрахункові витрати на застосування системи контролю забруднення повітря за допомогою рукавного фільтра у поєднанні зі ступенем очищення газів у скрубєрі (сухе та напівсухе очищення газів) для різних секторів скляної промисловості та потужностей печі.

У Таблиці 8.5 наведено огляд різних доступних методів, що застосовуються для видалення SO_x , HF, HCl або сполук бору та сполук селену з димових газів скловарних печей. У ній підсумовані робочі характеристики, переваги, недоліки, граничні умови та витрати, пов'язані з різними технологіями десульфуризації (DeSO_x). Показники витрат вказані на тонну звареного скла і стосуються випадків застосування цих систем на печах для виробництва флоат-скла або тарного скла. Представлено два різні варіанти: з повною переробкою відфільтрованого пилу у рецептурі шихти або з захороненням на полігоні за межами підприємства. Різниця між цими двома значеннями розрахована за типовою вартістю захоронення відфільтрованого пилу. Захоронення плюс транспортування може коштувати плюс 400 євро на тонну пилу. Витрати, вказані у Таблиці 8.5, характеризують середню ситуацію у країнах ЄС-27 (2007 рік). Слід зазначити, що ці витрати можуть відрізнятися у різних країнах-членах ЄС, а також змінюються з часом (наприклад, ціна на енергію дуже мінлива).

У Таблиці 8.6 підсумовані питомі витрати на різні системи КЗП, що застосовуються для комбінованого зниження викидів пилу та SO_x .

Таблиця 8.3. Розрахункові витрати на системи контролю забруднення повітря за допомогою електростатичних фільтрів у поєднанні з сухим очищенням газів, що застосовуються для очищення димових газів скловарних печей

Методи КЗП та умови застосування ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Загальні інвестиційні витрати у євро	Інвестиційні витрати/рік євро	Експлуатаційні витрати у євро/рік	Питомі витрати: євро/тонну звареного скла	Δ пилу тонни/рік	Δ SO _x тонни/рік	Питомі витрати: євро/кг SO ₂	Питомі витрати: євро/кг пилу
Електростатичний фільтр плюс сухий скруббер з Са(ОН)₂								
Печі для виробництва флоат-скла – 500 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу	3 904 240	500 000	376 000	4,8	-78	-153	0,51	10,2
Печі для виробництва флоат-скла – 700 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу	4 700 000	603 200	488 000	4,27	-104	-203	0,48	9,55
Печі для виробництва флоат-скла – 900 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу	5 460 000	700 700	575 000	3,88	-130	-254	0,45	8,93
Печі для виробництва флоат-скла – 500 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	3 904 240	500 000	688 000	6,51	-78	-153	0,69	13,87
Печі для виробництва флоат-скла – 700 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	4 700 000	603 200	896 000	5,87	-104	-203	0,66	13,12
Печі для виробництва флоат-скла – 900 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	5 460 000	700 700	1 080 000	5,44	-130	-254	0,63	12,5
Печі для виробництва флоат-скла – 700 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу та у 1,5 разу більшою кількістю абсорбенту	4 700 000	603 200	1 146 000	6,81	-104	-308	0,73	14,56
Тарне скло – 300 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу (мазутна піч)	2 380 000	310 000	185 000	4,52	-25,6	-86,7	0,84	16,5
Тарне скло – 450 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу (газова піч)	3 170 000	415 000	237 000	3,96	-38	-59	0,8	15,43
Тарне скло – 600 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу (мазутна піч)	3 400 000	443 250	341 000	3,58	-60	-170	0,58	11,4
Тарне скло – 133 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу (мазутна піч), встановлена у 2007 році	3 065 000	404 000	166 000	11,74	-25	-77	0,99	19,9
Тарне скло – 435 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу (газова піч), встановлена у 2007 році	3 850 000	506 000	317 000	5,2	-71	-98	0,54	10,75
Тарне скло – 740 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу (газова піч), встановлена у 2007 році	4 850 000	632 600	440 000	3,96	-98	-135	0,51	10,24
Тарне скло – 1275 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу (газова піч), встановлена у 2007 році	7 000 000	933 500	655 000	3,41	-178	-245	0,41	8,28
Тарне скло – 200 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	2 200 000	288 000	201 000	6,7	-18,7	-40	1,19	23,8
Тарне скло – 300 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (мазутна піч)	2 380 000	311 400	379 000	6,31	-30,8	-86,7	0,98	19,63
Тарне скло – 450 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	3 170 000	415 000	370 000	4,77	-38	-59	0,95	19,1
Тарне скло – 600 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (мазутна піч)	3 400 000	443 250	673 000	5,1	-60	-170	0,81	16,24
Тарне скло – 560 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (газова піч), встановлена у 2007-2008 роках	4 650 000	605 500	580 000	5,8	-59	-103	0,93	18,3
Тарне скло – 560 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (мазутна піч), встановлена у 2007-2008 роках	4 650 000	605 500	897 000	7,36	-67	-233	0,95	19,1

Методи КЗП та умови застосування ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Загальні інвестиції у євро	Інвестиційні витрати/рік євро	Експлуатаційні витрати у євро/рік	Питомі витрати: євро/тонну звареного скла	Δ пилу тонни/рік	Δ SO _x тонни/рік	Питомі витрати: євро/кг SO ₂	Питомі витрати: євро/кг пилу
Електростатичний фільтр плюс сухий скруббер з Ca(OH)₂								
Тарне скло – 133 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (мазутна піч), встановлена у 2007-2008 роках	3 065 000	403 000	322 000	14,96	-27	-76	1,16	23,3
Тарне скло – 435 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (газова піч), встановлена у 2007-2008 роках	3 850 000	505 000	534 500	6,55	-71	-98	0,68	13,7
Тарне скло – 740 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (газова піч), встановлена у 2007-2008 роках	4 850 000	632 600	743 000	5,1	-98	-135	0,66	13,2
Тарне скло – 1275 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (газова піч), встановлена у 2007-2008 роках	7 000 000	933 500	1 194 000	4,57	-178	-245	0,56	11,2
Піч для виробництва столового посуду – 35 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	1 190 000	156 500	57 000	16,7	-4,63	-4,8	2,2	43,9
Піч для виробництва столового посуду – 35 т/добу з переробкою всього відфільтрованого пилу	1 119 000	156 000	43 500	15,65	-4,63	-4,8	2,05	41,1
Піч для виробництва столового посуду – 180 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	1 960 000	256 000	247 000	7,66	-22,7	-56,2	0,99	19,73
Електростатичний фільтр плюс сухий скруббер з NaHCO₃								
Піч для виробництва флоат-скла – 700 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (газова піч)	4 719 500	605 920	1 370 000	7,75	-104	-414	0,79	15,9
Піч для виробництва флоат-скла – 700 т/добу з переробкою всього відфільтрованого пилу (газова піч)	4 719 500	605 920	515 000	4,39	-104	-414	0,49	9,81
Піч для виробництва тарного скла – 300 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу, абсорбція 67 % SO ₂ (мазутна піч)	2 400 000	312 800	600 000	8,33	-30,8	-232	1,07	21,5
Піч для виробництва тарного скла – 300 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу, абсорбція 50 % SO ₂ (мазутна піч)	2 400 000	312 800	491 000	7,38	-30,8	-173	1,02	20,36
⁽¹⁾ т/добу = тонни/добу. ⁽²⁾ Для розрахунку використані такі дані про викиди: <ul style="list-style-type: none"> • пил: типові значення від 10 до 20 мг/м³ н.у., з оптимізованими значеннями від 5 до 10 мг/м³ н.у. • SO₂: типова ефективність видалення з використанням Ca(OH)₂ від 25 до 33 %. Джерело: [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]								

Таблиця 8.4. Розрахункові витрати на системи контролю забруднення повітря за допомогою рукавних фільтрів у поєднанні з сухим очищенням газів, що застосовуються для очищення димових газів скловарних печей

Методи КЗП та умови застосування ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾	Інвестиційні витрати у євро	Інвестиційні витрати/рік євро	Експлуатаційні витрати у євро/рік ⁽¹⁾	Питомі витрати: євро/тонну звареного скла	Δ пилу тонни/рік	Δ SO _x тонни/рік	Питомі витрати: євро/кг SO ₂	Питомі витрати: євро/кг пилу
Рукавний фільтр плюс сухий скруббер								
Флоат-скло – 500 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	2 670 000	344 300	930 000	6,98	-80	-159	0,72	14,42
Тарне скло – 200 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу	1 211 000	158 600	168 000	4,63	-17,2	-19,9	0,9	17,93
Тарне скло – 300 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу	1 435 500	188 400	234 000	3,86	-20,3	-26,5	0,98	19,57
Тарне скло – 450 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу	1 588 300	208 000	268 000	2,9	-35,3	-43,4	0,64	12,72
Тарне скло – 600 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу	1 895 000	249 000	344 000	2,7	-43,3	-53,3	0,64	12,9
Тарне скло – 210 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу, встановлена у 2007 році (газова піч)	1 960 000	260 300	191 000	5,89	-25	-29	0,85	17
Тарне скло – 210 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу, встановлена у 2007 році (мазутна піч)	1 960 000	260 300	227 400	6,36	-28	-87	0,76	15,11
Тарне скло – 270 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу, встановлена у 2008 році (мазутна піч)	3 036 000	406 500	365 000	7,83	-47	-146	0,71	14,21
Тарне скло – 290 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу, встановлена у 2005 році (газова піч)	1 860 000	247 000	235 000	4,55	-28,5	-33	0,8	16
Тарне скло – 200 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	1 211 000	158 600	220 000	5,2	-16	-19,1	1	20,04
Тарне скло – 300 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	1 435 500	188 400	298 000	4,44	-20,5	-23,6	1,04	20,78
Тарне скло – 450 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	1 588 900	208 000	380 000	3,6	-35	-41	0,79	15,74
Тарне скло – 600 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	1 895 000	249 000	488 000	3,37	-45,5	-52,6	0,77	15,3
Тарне скло – 210 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу, встановлена у 2007 році	1 960 000	260 300	271 000	6,93	-25	-29	1	20,1
Тарне скло – 290 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу, встановлена у 2005 році (газова піч)	1 860 000	247 000	326 000	5,41	-28,5	-33	0,95	19
Тарне скло – 290 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу, встановлена у 2005 році (мазутна піч)	1 860 000	247 000	526 000	7,3	-32	-99	1,16	23,14
Піч для виробництва столового посуду – 30 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу	771 000	99 600	64 500	12,85	-5,32	-3,25	1,49	30
Піч для виробництва столового посуду – 30 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу	771 000	99 600	77 200	13,84	-5,32	-3,25	1,61	32,2

Методи КЗП та умови застосування ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾	Інвестиційні витрати у євро	Інвестиційні витрати/рік євро	Експлуатаційні витрати у євро/рік ⁽¹⁾	Питомі витрати: євро/тону звареного скла	Δ пилу тонни/рік	Δ SO _x тонни/рік	Питомі витрати: євро/кг SO ₂	Питомі витрати: євро/кг пилу
Піч для виробництва столового посуду – 180 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу	900 000	115 000	174 000	4,36	-8	-4,3	1,77	35,5
Піч для виробництва столового посуду – 200 т/добу з переробкою відфільтрованого пилу	905 200	120 000	155 000	3,76	-11,4	-6,1	1,17	23,5
Піч для виробництва столового посуду з електричним форсуванням, боросилікатне скло – 150 т/добу	1 150 000	154 000	141 000	5,4	-68			
Печі для виробництва скла Е, киснево-паливні – 100 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (розрахункові значення)	1 224 000	160 000	281 000	11	-34	-39	0,61	12,3
Рукавний фільтр плюс напівсухий скруббер								
Флоат-скло – 500 т/добу без захоронення відфільтрованого пилу, викиди на виході: 400 мг SO _x /м ³ н.у. (газова піч)	4 500 000	586 000	700 420	7,05	-68,3	-285	0,78	15,58
Флоат-скло – 500 т/добу без захоронення відфільтрованого пилу, викиди на виході: 750 мг SO _x /м ³ н.у. (мазутна піч)	4 500 000	586 000	756 860	7,36	-82,6	-655	0,58	11,65
Флоат-скло – 900 т/добу без захоронення відфільтрованого пилу (газова піч)	7 000 345	963 270	947 000	5,82	-122	-508	0,65	12,96
Флоат-скло – 500 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (газова піч)	4 500 000	586 000	1 165 000	9,59	-69,4	-290	1,04	20,88
Флоат-скло – 500 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (мазутна піч)	4 500 000	586 000	1 793 000	13,03	-83,8	-665	1,02	20,3
Флоат-скло – 900 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (газова піч)	7 000 345	963 270	1 774 000	8,33	-121	-508	0,93	18,58
Піч для виробництва тарного скла – 350 т/добу без захоронення відфільтрованого пилу (газова піч)	2 304 500	300 400	377 000	5,3	-23,2	-100,7	1,2	24,02
Піч для виробництва тарного скла – 350 т/добу з захороненням усього відфільтрованого пилу (газова піч)	2 304 500	300 400	535 000	6,54	-23,2	-100,7	1,48	29,62
⁽¹⁾ Витрати на захоронення відфільтрованого пилу прийняті рівними 400 євро/тону. ⁽²⁾ т/добу = тонни/добу. ⁽³⁾ Для розрахунку використані такі дані про викиди: • пил: типові значення від 10 до 20 мг/м ³ н.у. для електростатичного фільтра, з оптимізованими значеннями від 5 до 10 мг/м ³ н.у. • SO ₂ : типова ефективність видалення з використанням Ca(OH) ₂ від 25 до 33 %. Джерело: [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]								

Таблиця 8.5. Порівняння методів видалення SO_x, HCl, HF та інших газоподібних забруднюючих речовин з димових газів скловарних печей

Система очищення газів									
Тип скрубера	Сухий					Напівсухий			Мокрий
Абсорбент	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Некальцинована трона Na ₂ H(CO ₃) ₂ · 2H ₂ O	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Суспензія Ca(OH) ₂	Розчин Na ₂ CO ₃	Розчин Na ₂ CO ₃	Суспензія Ca(OH) ₂
Тип фільтра	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр	Електростатичний фільтр ⁽¹⁾	Електростати чний фільтр ⁽¹⁾	Електростати чний фільтр ⁽¹⁾	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр	Електростатич ний фільтр ⁽¹⁾	
Поширеність у скляній промисловості	Висока	Дуже низька	Дуже низька	Дуже висока	Помірна	Низька	Низька	Низька	Низька
Типовий діапазон температур (°C)	140 – 180	140 – 180	300 – 350	300 – 400	250 – 350	160 – 180	180 – 200	250 – 400	60
Ефективність видалення SO ₂ у % за стехіометричного дозування n=1	Від 10 до 25	75	75 – 90	30 – 40	> 60	Немає	70 – 90		> 90
Склад відфільтрованого пилу ⁽²⁾	CaSO ₃ , CaSO ₄ , CaF ₂ , CaCl ₂ , CaCO ₃ , Ca(OH) ₂ , Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄ , NaCl	Na ₂ SO ₄ , NaCl	CaSO ₄ , CaSO ₃ , CaF ₂ , Ca(OH) ₂	Na ₂ SO ₄ , NaCl	CaSO ₄ , CaSO ₃ , CaF ₂ , Ca(OH) ₂	Na ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₃ , Na ₂ CO ₃ , NaCl	Na ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₃ , Na ₂ CO ₃ , NaCl	CaSO ₄ , CaSO ₃ , CaF ₂
Переваги	Простий процес, лише охолодження димових газів; рукавний фільтр забезпечує видалення пилу та реакцію	Простий процес, лише охолодження димових газів; рукавний фільтр забезпечує видалення пилу та реакцію	Простий процес, лише охолодження димових газів; рукавний фільтр забезпечує видалення пилу та реакцію		Високий ступінь абсорбції HCl та SO _x	Низьке споживання абсорбенту, малі витрати на хімічні реагенти та менші інвестиційні витрати у порівнянні з мокрими скруберами		Хороші показники абсорбції; у разі використання сухого дрібного (розмеленого) порошку соди також можна досягти хорошої ефективності	Низьке споживання абсорбенту, малі витрати на хімічні реагенти
Недоліки	Високе споживання реагентів у випадках, коли потрібна висока ефективність видалення; утворюється велика кількість відфільтрованого пилу	Дорогий реагент	Реагент важко придбати у Європі	Високе споживання реагентів у випадках, коли потрібна висока ефективність видалення; утворюється велика кількість відфільтровано го пилу	Дорогий реагент	Розпилювальна сушарка дорого коштує; дорогі матеріали рукавного фільтра; більші інвестиції у порівнянні з сухим скруберам	Розпилювальна сушарка дорого коштує; дорогі матеріали рукавного фільтра; більші інвестиції у порівнянні з сухим скруберам	Система потребує більшого обсягу технічного обслуговування, ніж сухі скрубери	Повторне нагрівання димових газів перед димовою трубою; утворення комплексу стічних вод та гіпсу і засмічення обладнання; великі інвестиції

Система очищення газів									
Тип скрубера	Сухий					Напівсухий			Мокрий
Абсорбент	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Некальцинована трона Na ₂ H(CO ₃) ₂ · 2H ₂ O	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Суспензія Ca(OH) ₂	Розчин Na ₂ CO ₃	Розчин Na ₂ CO ₃	Суспензія Ca(OH) ₂
Тип фільтра	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр	Електростатичний фільтр ⁽¹⁾	Електростати чний фільтр ⁽¹⁾	Електростати чний фільтр ⁽¹⁾	Рукавний фільтр	Рукавний фільтр	Електростатич ний фільтр ⁽¹⁾	
Важливі параметри	Ефективність роботи покращується за температур, близьких до точки роси; дозування, гранулометричний склад та площа поверхні Ca(OH) ₂ за методом BET	Дозування та гранулометричний склад бікарбонату натрію	Дозування та гранулометричний склад трони <30 мікрон; бажано змішувати з димовими газами	Бажано експлуатувати за вищих температур (>350°C); гранулометричний склад та площа поверхні Ca(OH) ₂ за методом BET	Дозування та гранулометричний склад карбонату натрію; змішування з димовими газами	Дозування вапна	Дозування карбонату натрію	Дозування карбонату натрію	Температура контакту між рідиною та газом; основність суспензії
Витрати на тону звареного скла, з переробкою відфільтрованого пилу (євро/тону)	2,5 – 3	3,5	3,5	3	4	Невідомо	5 – 6	6 – 8 (розрахункове значення)	10 – 16
Витрати на тону звареного скла, без переробки відфільтрованого пилу (євро/тону)	3 – 4	4,5	4,5	3,5	5	Невідомо	7 – 10	8 – 11	12 – 20
Можливість поєднання з системою денітрифікації (DeNO _x)	СКВ неможливо застосовувати без повторного нагрівання газу	СКВ неможливо застосовувати без повторного нагрівання газу	Температура після електростатичного фільтра повинна бути >330°C	Температура після електростатичного фільтра повинна бути >330°C	Температура після електростатичного фільтра повинна бути >330°C	СКВ неможливо застосовувати без повторного нагрівання газу	СКВ неможливо застосовувати без повторного нагрівання газу	Поєднання з СКВ можливе лише у тому разі, якщо електростатичний фільтр працює за температур понад 350 – 360°C	СКВ неможливо застосовувати без повторного нагрівання газу, від 60 до 350 °C

⁽¹⁾ Електростатичний фільтр.

⁽²⁾ Залежно від типу скла; у випадку виробництва флінту можуть утворюватися CaSeO₃, CaSeO₄, Na₂SeO₃ та Na₂SeO₄.

Джерело: [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

Таблиця 8.6. Огляд питомих витрат на різні технології контролю забруднення повітря (КЗП), що застосовуються для зниження викидів пилу та SO_x зі скловарних печей

Зниження викидів пилу + SO _x										
Тип скла	Продуктивність	Електростатичний фільтр + сухий скруббер з Ca(OH) ₂ , переробка відфільтрованого пилу	Електростатичний фільтр + сухий скруббер з Ca(OH) ₂ , захоронення відфільтрованого пилу	Електростатичний фільтр + сухий скруббер з NaHCO ₃ , переробка відфільтрованого пилу	Електростатичний фільтр + сухий скруббер з NaHCO ₃ , захоронення відфільтрованого пилу	Рукавний фільтр + сухий скруббер, переробка відфільтрованого пилу	Рукавний фільтр + сухий скруббер, захоронення відфільтрованого пилу	Рукавний фільтр + напівсухий скруббер, переробка відфільтрованого пилу	Рукавний фільтр + напівсухий скруббер, захоронення відфільтрованого пилу	Мокрий скруббер
	Тонни звареного скла/добу	євро/т скла	євро/т скла	євро/т скла	євро/т скла	євро/т скла	євро/т скла	євро/т скла	євро/т скла	євро/т скла
Флоат-скло	500	4,8	6,51			6		7 – 7,35	9,6 (газ) – 13 (мазут)	
Флоат-скло	700	4,27	5,87	4,39	7,75		6,98			
Флоат-скло	900	3,88	5,44					5,82	8,33	
Тарне скло	100 – 150	11	14							
Тарне скло	200					4,63 – 5,9	4,8 – 7			
Тарне скло (мазутна піч)	200					6,4	9,25			
Тарне скло (мазутна піч)	300 – 350	4,52 – 6	6,31 – 7,5		7,38 – 8,33	3,86 – 5	4,11 – 7,3	5,3	6,54	
Тарне скло	450	3,96 – 5,2	4,77 – 6,5			2,9	3,6			
Тарне скло (мазутна піч)	600	3,58	5,1			2,7	3,37			
Тарне скло (газова піч)	740	4	5,1							
Тарне скло (газова піч)	1240	3,4	4,6							
Тарне скло (мазутна піч)	1240	3,7	6,2							
Столовий посуд	30 – 35	15,65	16,7			12,85	13,84			
Столовий посуд	180 – 200		7,66			3,75 – 4,35				
Скло Е, киснево-паливна піч	100 – 120						11			14,4 – 21,5 (*)
Скло Е, повітряно-паливна піч	100 – 120									15,7 – 20,5 (*)

(*) Вище значення відповідає захороненню відфільтрованого пилу за ціною 400 євро на тонну пилу.

Джерело: [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

Порівняння показників витрат на доступні технології зниження викидів NO_x наведене у наступних таблицях, у яких представлено кілька прикладів для установок з виробництва плоского, тарного та сортового скла, всі з яких виготовляють вапняно-натрієве скло. Також запропоновані розрахункові дані для печі, у якій виготовляється скловолокно з безперервних ниток, та установки з виробництва спеціального скла.

У Таблиці 8.7 наведені приклади витрат (інвестиційних та експлуатаційних) разом з розрахунковими кількостями безпосередніх (на самому виробництві) та опосередкованих (за межами виробництва) викидів, пов'язаних із застосуванням різних первинних заходів зі зниження викидів NO_x . Зокрема, оцінено наведені нижче випадки.

- Застосування базових заходів з забезпечення низького виходу NO_x , які полягають у використанні регульованих пальників з низькою швидкістю вприскування або розділенням струменя палива на окремі струмені, обладнаних механізмом змінного кута нахилу пальника, повітронепроникним ущільненням між пальником та блоком пальника і засобами контролю вмісту кисню у вихлопних газах для запобігання надходженню зайвого надлишку повітря. Показники витрат вказані для застосування заходів з забезпечення низького виходу NO_x без жодних модифікацій конструкції печі.
- Застосування розширених заходів з забезпечення низького виходу NO_x , які полягають у використанні регульованих пальників у поєднанні з адаптаціями конструкції печі – зокрема, зі збільшеною висотою камери згорання, збільшеним розміром вльотів пальників, зміненим нахилом вльотів пальників та зміненим розташуванням пальників.
- Використання технології киснево-паливного варіння скла. Розрахункові показники витрат наведені у порівнянні з традиційними регенеративними печами (для флоат-скла і тарного скла) або рекуперативними печами (для столового посуду, скловолокна з безперервних ниток і спеціального скла). Результати порівняння витрат на варіння скла дуже сильно залежать від цін на кисень, на які можуть впливати різні чинники, такі як доступ до кисневого трубопроводу, потреба в об'ємі постачання кисню (ціни на кисень зростають зі зменшенням потреби), місцева ціна на електроенергію та договір між постачальником кисню та компанією-виробником скла. Показники витрат є орієнтовними, і при порівнянні киснево-паливних та повітряно-паливних печей різниці між витратами на варіння скла можуть залежати від багатьох (місцевих) умов.

У Таблиці 8.8 підсумовані розрахункові витрати (інвестиційні та експлуатаційні), пов'язані з застосуванням вторинних заходів зі зниження викидів NO_x . Показники витрат у випадках застосування технологій СКВ, СНКВ та 3R наведені для різних секторів скляної промисловості та потужностей печей.

Таблиця 8.7. Розрахункові приклади витрат та відповідні безпосередні та опосередковані викиди, пов'язані з застосуванням первинних заходів зі зниження викидів NO_x

Первинні заходи зі зниження викидів NO _x	Витрати ⁽¹⁾						Викиди на самому виробництві	Викиди за межами виробництва (опосередковані)	
	Інвестиційні	Інвестиційні	Експлуатаційні	Питомі витрати	Δ NO _x	Питомі витрати	Δ CO ₂	Δ NO _x	Δ CO ₂
Технології КЗП / умови застосування	євро	євро/рік	євро/рік	євро/тонну звареного скла	тонни/рік	євро/кг NO _x	тонни/рік	тонни/рік	тонни/рік
Базові заходи з забезпечення низького виходу NO_x									
Флоат-скло – 500 т/добу, газова піч, до 1050 мг/м ³ н.у. NO _x	660 000	89 600	64 000	0,84	-337	0,45			
Флоат-скло – 500 т/добу, мазутна піч, до 900 мг/м ³ н.у. NO _x	1 010 000	137 000	79 000	1,14	-337	0,64			
Флоат-скло – 900 т/добу, газова піч, до 1050 мг/м ³ н.у. NO _x	810 000	110 100	81 000	0,58	-555	0,35			
Тарне скло – 200 т/добу, газова піч з підковоподібним полум'ям	230 000	31 250	24 000	0,59	-60,3	1,07			
Тарне скло – 300 т/добу, газова піч з підковоподібним полум'ям	285 000	38 700	26 000	0,59	-60,3	1,07			
Тарне скло – 450 т/добу, газова піч з підковоподібним полум'ям, до 1050 – 1100 мг/м ³ н.у. NO _x	330 000	44 850	31 500	0,47	-90,5	0,84			
Тарне скло – 450 т/добу, газова піч з поперечним полум'ям	700 000	95 000	72 500	1,02	-130	1,3			
Столовий посуд – 186 т/добу, базові плюс первинні заходи	123 000	16 712	30 711	0,7	-82,3	0,58			
Розширені заходи з забезпечення низького виходу NO_x									
Флоат-скло – 700 т/добу	2 660 000	361 000	64 000	2,33	-551	0,77			
Флоат-скло – 900 т/добу, газова піч, до 900 мг/м ³ н.у. NO _x	3 810 000	517 660	81 000	1,82	-906	0,66			
Тарне скло – 200 т/добу, до 750 мг/м ³ н.у. NO _x	700 000	95 108	24 000	1,63	-82	1,45			
Тарне скло – 300 т/добу	885 000	120 240	26 000	1,34	-112	1,31			
Тарне скло – 450 т/добу	1 080 000	147 000	31 500	1,09	-168	1,06			
Столовий посуд – 150 т/добу, включно з додатковою електроенергією для форсування	1 000 000	135 900	163 500	8	-711	0,42			
Додаткові витрати/заощадження при киснево-паливному горінні у порівнянні з регенеративними печами ⁽²⁾									
Флоат-скло – 500 т/добу, динасове склепіння	-7 500 000	-1 290 000	2 540 000	6,83	-410	3,03	-6683	48	16900
Флоат-скло – 500 т/добу, склепіння з плавлено-литого вогнетривкого матеріалу	-3 250 000	-714 000	2 785 000	11,35	-410	5,04	-6683	48	16900

Первинні заходи зі зниження викидів NO _x	Витрати ⁽¹⁾						Викиди на самому виробництві	Викиди за межами виробництва (опосередковані)	
	Інвестиційні	Інвестиційні	Експлуатаційні	Питомі витрати	Δ NO _x	Питомі витрати	Δ CO ₂	Δ NO _x	Δ CO ₂
Технології КЗП / умови застосування	євро	євро/рік	євро/рік	євро/тонну звареного скла	тонни/рік	євро/кг NO _x	тонни/рік	тонни/рік	тонни/рік
Тарне скло – 150 т/добу, 0,06 євро/м ³ н.у. O ₂ , динасове склепіння для важких умов експлуатації	-2 051 100	-276 633	444 700	3,07	-49,3	3,41	-1227	7,6	3027
Тарне скло – 225 т/добу, 0,06 євро/м ³ н.у. O ₂ , динасове склепіння для важких умов експлуатації	-2 740 000	-369 000	637 990	3,27	-73,9	3,64	-1942	11,1	4444
Тарне скло – 450 т/добу, 0,06 євро/м ³ н.у. O ₂ , динасове склепіння для важких умов експлуатації	-4 743 000	-639 400	1 490 000	5,18	-147	5,76	-2097	21	8380
Додаткові витрати/заощадження при киснево-паливному горінні у порівнянні з рекуперативними печами ⁽²⁾									
Столовий посуд – 30 т/добу, 0,06 євро/м ³ н.у. O ₂	500 000	56 406	-245 400	-17,26	-19,2	-9,86	-2600	1,8	716
Столовий посуд – 30 т/добу, 0,08 євро/м ³ н.у. O ₂	500 000	56 406	-175 000	-10,79	-19,2	-6,16	-2600	1,8	716
Столовий посуд – 30 т/добу, 0,10 євро/м ³ н.у. O ₂	500 000	56 406	-103 660	-4,32	-19,2	-2,47	-2600	1,8	716
Столовий посуд – 30 т/добу, 0,12 євро/м ³ н.у. O ₂	500 000	56 406	-32 754	2,16	-19,2	1,23	-2600	1,8	716
Столовий посуд – 30 т/добу, 0,14 євро/м ³ н.у. O ₂	500 000	56 406	38 152	8,63	-19,2	4,93	-2600	1,8	716
Столовий посуд – 70 т/добу, 0,10 євро/м ³ н.у. O ₂	-2 254 000	-265 972	582 590	12,76	-40	7,97	-2449	5,2	2064
Піч для виробництва скла Е – 100-120 т/добу 0,08 євро/м ³ н.у. O ₂	1 500 000	117 340	-248 400	6,19	-80,3	3,1	-5387	8,86	3530
⁽¹⁾ Якщо не зазначено інше, для розрахунку показників витрат використовувалися такі досяжні рівні викидів: • 1100 – 1400 мг/м ³ н.у. NO _x для первинних заходів із забезпечення низького виходу NO _x (базові заходи, без змін у конструкції); 900 – 1100 мг/м ³ н.у. NO _x для первинних заходів із забезпечення низького виходу NO _x зі змінами у конструкції печей для виробництва флоат-скла та 750 мг/м ³ н.у. NO _x у випадку печей для виробництва тарного скла • 0,5 – 0,9 кг/т скла NO _x у випадку киснево-паливних печей для виробництва тарного скла; 1,5 – 2 кг/т скла NO _x у випадку киснево-паливних печей для виробництва флоат-скла; 1 – 1,5 кг/т скла NO _x у випадку виробництва спеціального скла без нітратів. ⁽²⁾ У різницях між витратами для киснево-паливних печей і традиційних повітряно-паливних печей врахована різниця в економічних умовах внаслідок зупинки виробництва на час капітального ремонту або будівництва печі. Джерело: [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]									

Таблиця 8.8. Розрахункові приклади витрат для застосування вторинних заходів зі зниження викидів NO_x

Вторинні заходи зі зниження викидів NO _x	Інвестиційні	Інвестиційні	Експлуатаційні	Питомі витрати	Δ NO _x	Питомі витрати
Технології КЗП / умови застосування	євро	євро/рік	євро/рік	євро/тону скла	тон/рік	євро/кг NO _x
Процес СКВ						
Флоат-скло – 500 т/добу	2 065 000	270 000	331 500	3,29	-804	0,75
Флоат-скло – 650 т/добу, мазутна піч	2 303 000	301 400	332 000	2,67	-692	0,91
Флоат-скло – 650 т/добу, газова піч	2 303 000	301 400	370 000	2,82	-946	0,71
Флоат-скло – 700 т/добу	1 880 000	248 000	283 000	2,07	-708	0,75
Флоат-скло – 900 т/добу	3 112 000	391 000	450 000	2,57	-1255	0,67
Тарне скло – 200 т/добу	840 000	110 000	77 500	2,56	-110	1,7
Тарне скло – 300 т/добу	1 036 000	134 700	98 800	2,13	-159	1,47
Тарне скло – 450 т/добу	1 270 000	166 300	135 500	1,84	-228	1,32
Піч для виробництва столового посуду – 35 т/добу (гіпотетичний випадок)	490 000	64 200	38 500	8,03	-23,6	4,34
Піч для виробництва столового посуду – 100 т/добу, регенеративна: від 1500 до 450 мг/м ³ н.у. NO _x (гіпотетичний випадок)	758 000	98 300	80 800	4,9	-130	1,38
Процес 3R						
Флоат-скло – 500 т/добу, мазутна піч	307 400	41 800	1 057 000	6,02	-598	1,84
Флоат-скло – 500 т/добу, газова піч	307 400	41 800	1 085 000	6,17	-769	1,47
Флоат-скло – 650 т/добу, мазутна піч	360 400	49 000	1 224 338	5,37	-726	1,75
Флоат-скло – 650 т/добу, газова піч	360 400	49 000	1 309 662	5,52	-985	1,38
Тарне скло – 200 т/добу	185 500	25 200	303 200	4,5	-127	2,6
Тарне скло – 300 т/добу	238 500	32 400	405 350	4	-169	2,6
Тарне скло – 600 т/добу	281 000	46 800	779 000	3,73	-330	2,48
Процес СНКВ						
Тарне скло – 200 т/добу, рекуперативна піч	684 000	93 000	73 850	2,28	-65	2,56
Тарне скло – 350 т/добу, рекуперативна піч	900 000	122 000	97 000	1,88	-101	2,16
Спеціальне скло (розрахункові значення) – 5 киснево-паливних печей (сумарна потужність 250 тонн/добу)	785 000	107 000	199 000	3,34	-290	1,06
Волокно зі скла Е, 100 т/добу (активна система)	615 000	83 500	66 930	4,12	-55,2	2,73
Примітка. Якщо не зазначено інше, для розрахунку показників витрат використовувалися такі досяжні рівні викидів: 400 – 500 мг/м ³ н.у. NO _x для СКВ; 450 – 500 мг/м ³ н.у. NO _x для СНКВ та <500 мг/м ³ н.у. NO _x для 3R						
Джерело: [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]						

У Таблиці 8.9 підсумовані додаткові витрати, виражені у євро на тонну звареного скла, на застосування кожної технології денітрифікації (DeNO_x), оціненої у порівняльному дослідженні.

Таблиця 8.9. Додаткові витрати, пов'язані з застосуванням технологій денітрифікації (у євро/тонну звареного скла)

Тип печі	Продуктивність	СКВ	ЗР	СНКВ ⁽¹⁾	Базові заходи з забезпечення низького виходу NO _x ⁽²⁾	Розширені заходи з забезпечення низького виходу NO _x ⁽³⁾	Киснево-паливне горіння з динасовим склепінням ⁽⁴⁾	Киснево-паливне горіння з плавлено-литим склепінням ⁽⁴⁾
	Тонни/добу	євро/тонну звареного скла						
Флоат-скло	500	3,3	6 – 6,25		0,85 – 1,1		6,83 (0,06)	11,35 (0,06)
Флоат-скло	700	2,6 – 2,9	5,25 – 5,6			2,33		
Флоат-скло	900	2,6			0,58	1,82		
Тарне скло	150						3,07 (0,06)	5,28 (0,06)
Тарне скло	200 – 225	2,56	4,5	2,28	0,76	1,63	3,27 (0,06)	5,39 (0,06)
Тарне скло	300	2,13	4	1,88	0,59	1,34		
Тарне скло	450	1,84			0,47	1,09	5,18 (0,06)	7,16 (0,06)
Тарне скло (піч з поперечним полум'ям)	450		3,73		1,02	1,5 (Розрахункові значення)		
Столовий посуд (рекуперативна піч)	30 – 35	8					-4,32 (0,10)	
Столовий посуд (регенеративна піч)	70						12,76 (0,10)	
Столовий посуд (регенеративна піч)	100	4,9						
Столовий посуд (регенеративна піч)	150					8 (Велика частка електричного форсування)		
Столовий посуд (регенеративна піч)	190				0,7			
Спеціальне скло (киснево-паливна піч)	250			3,34				
Спеціальне скло (регенеративна піч)	700			2,8				
Скло Е	100			4,1			6,20 (0,08)	

⁽¹⁾ СНКВ лише для рекуперативних і киснево-паливних печей та для особливого випадку регенеративної печі.

⁽²⁾ Базові заходи з забезпечення низького виходу NO_x: регульовані пальники, датчики кисню, контроль відношення «повітря-паливо».

⁽³⁾ Розширені заходи з забезпечення низького виходу NO_x: базові заходи плюс модифікації вльотів пальників та камери згорання.

⁽⁴⁾ Витрати на кисень вказані у дужках (євро/м³).

Джерело: [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

У Таблиці 8.10 наведена оцінка питомих опосередкованих викидів, розрахованих для різних технологій контролю забруднення повітря (видалення пилу, технології десульфуризації – DeSO_x та денітрифікації – DeNO_x), що застосовуються для різних продуктивностей та типів скла. Опосередковані викиди пов'язані головним чином з використанням електроенергії, очисних речовин для скрубера, реагентів (аміаку) та з утворенням твердих відходів. Повідомлені значення вказані у грамах або кілограмах на тонну звареного скла.

Таблиця 8.10. Розрахункові питомі опосередковані викиди на тонну звареного скла для різних скловарних печей і для різних технологій контролю забруднення повітря (КЗП)

Продуктивність	Система КЗП	Установка і тип палива	Зниження викидів NO _x за допомогою денітрифікації	Опосередковані викиди NO _x ⁽¹⁾	Чисте результуюче зниження викидів NO _x	Зниження викидів пилу за допомогою КЗП	Зниження викидів SO _x за допомогою десульфуризації	Опосередковані викиди SO _x ⁽¹⁾	Додаткові викиди CO ₂ (опосередковані + безпосередні) ^{(2) (3)}	Захоронення відходів	Відповідне споживання реагентів та електроенергії				
											NH ₃	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃	Електроенергія
Тонни звареного скла/рік			г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кВт·год./т
255500	Електростатичний фільтр +сухий скруббер з Ca(OH) ₂	Піч для виробництва флоат-скла, 700 т/добу, газ	0	21	-21	407	795	74	10	3,82		2,64			11,94
109500	Електростатичний фільтр +сухий скруббер з Ca(OH) ₂	Піч для виробництва тарного скла, 300 т/добу, газ	0	18	-18	237	795	64	8	3,79		2,75			9,95
10950	Електростатичний фільтр +сухий скруббер з Ca(OH) ₂	Піч для виробництва столового посуду, 30 т/добу, газ	0	38	-38	423	440	137	17	2,89		2,04			22,28
255500	Електростатичний фільтр +сухий скруббер з NaHCO ₃	Піч для виробництва флоат-скла, 700 т/добу, газ	0	27	-27	407	1620	90	16	6,09			6,33		14,40
182500	Рукавний фільтр + сухий скруббер з Ca(OH) ₂	Піч для виробництва флоат-скла, 500 т/добу, газ	0	35	-35	438	871	125	16	4,00		3,05			20,02
109500	Рукавний фільтр + сухий скруббер з Ca(OH) ₂	Піч для виробництва тарного скла, 300 т/добу, газ	0	24	-24	192	216	89	10	1,40		1,00			13,68
182500	Рукавний фільтр + напіvsухий скруббер	Піч для виробництва флоат-скла, 500 т/добу, газ	0	45	-45	380	1584	165	22	4,97				3,29	26,52
182500	Рукавний фільтр + напіvsухий скруббер	Піч для виробництва флоат-скла, 500 т/добу, мазут з <1 % сірки	0	45	-45	459	3644	164	26	11,01				7,54	26,28
40150	Мокрий скруббер	Піч для виробництва скла Е, 100 – 120 т/добу, повітряно-паливна	0	42	-42	927	548	152	20	20,55		5 – 6 Негашене вапно			24,21
40150	Мокрий скруббер	Піч для виробництва скла Е, 100 – 120 т/добу, киснево-паливна	0	36	-36	655	448	127	17	20,55		4 – 5 Негашене вапно			20,42
328500	СКВ	Піч для виробництва флоат-скла, 900 т/добу, газ	3820	8	3814			25	4		1,41				3,99
109500	СКВ	Піч для виробництва тарного скла, 300 т/добу, газ	1461	7	1452			23	3		0,57				3,20
10950	СКВ	Піч для виробництва столового посуду, 30 т/добу, газ	2160	18	2146			62	8		0,84				8,04
36500	СКВ	Піч для виробництва столового посуду, 100 т/добу, газ	3562	20	3534				9		1,40				10,68
237250	3R	Піч для виробництва флоат-скла, 650 т/добу, газ	3987	0	3987				28						

Продуктивність	Система КЗП	Установка і тип палива	Зниження викидів NO _x за допомогою денітрифікації	Опосередковані викиди NO _x ⁽¹⁾	Чисте результуюче зниження викидів NO _x	Зниження викидів пилу за допомогою КЗП	Зниження викидів SO _x за допомогою десульфуризації	Опосередковані викиди SO _x ⁽¹⁾	Додаткові викиди CO ₂ (опосередковані + безпосередні) ^{(2) (3)}	Захоронення відходів	Відповідне споживання реагентів та електроенергії				
											NH ₃	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃	Електроенергія
Тонни звареного скла/рік			г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кг/т	кВт·год./т
109500	3R	Піч для виробництва тарного скла, 300 т/добу, газ	1534	0	1534				18						
116800	CHKB	Піч для виробництва тарного скла, 320 т/добу, газ	868	3	865			9	2		0,48				
36500	CHKB	Піч для виробництва скла Е, 100 т/добу	1512	6	1507			20	3		0,84				
328500	Базові заходи для низького виходу NO _x	Піч для виробництва флоат-скла, 900 т/добу, газ	1689	0	1689				0						
182500	Базові заходи для низького виходу NO _x	Піч для виробництва флоат-скла, 500 т/добу, мазут	1847		1847				0						
109500	Базові заходи для низького виходу NO _x	Піч для виробництва тарного скла, 300 т/добу, газ							0						
255500	Розширені заходи для низького виходу NO _x	Піч для виробництва флоат-скла, 700 т/добу, газ	1319		1319										
328500	Розширені заходи для низького виходу NO _x	Піч для виробництва флоат-скла, 900 т/добу, мазут	2761		2761				0						
109500	Розширені заходи для низького виходу NO _x	Піч для виробництва тарного скла, 300 т/добу, газ	1023		1023				0						
65700	Розширені заходи для низького виходу NO _x плюс електроенергія	Боросилікатне скло для столового посуду, 180 т/добу	10822		10822				171						25,01
182500	Киснево-паливне варіння скла	Піч для виробництва флоат-скла, 500 т/добу, газ	2247	232	2016			844	56						135,56
82125	Киснево-паливне варіння скла	Піч для виробництва тарного скла, 225 т/добу, газ	901	21	879				30						79,22
10950	Киснево-паливне варіння скла	Столовий посуд, 30 т/добу, газ	1735	164	1553				-172						95,71
36500	Киснево-паливне варіння скла	Скло Е, 100 т/добу, газ	2200	244	1956			885	-51						110,41
14600	Електричний скловарний агрегат	Свинцевий криштал, 40 т/добу	2438	1295	1144				-15						747,95
10950	Електричний скловарний агрегат	Свинцевий криштал, 30 т/добу	2466	1032	1425				-59						600,00
7300	Електричний скловарний агрегат	Свинцевий криштал, 20 т/добу	1918	1918	0				168						1056,16
127750	Підігрівач шихти	Піч для виробництва тарного скла, 350 т/добу	225	12	214		407	43	-35+5 ⁽³⁾						6,86

⁽¹⁾ Викиди за межами виробництва утворюються внаслідок виробництва електроенергії (в середньому по ЄС), виробництва аміаку, виробництва соди та бікарбонату натрію, виробництва гашеного вапна та виробництва кисню.

⁽²⁾ Додаткові викиди CO₂ вказані без урахування його кількості, що утворюється у процесі виробництва Ca(OH)₂.

⁽³⁾ Додаткові викиди CO₂ еквівалентні -30 кг/тонну звареного скла. Це значення отримане з 5 кг/т за рахунок додаткового використання електроенергії для приведення в дію вентилятора димових газів та зниження викидів CO₂ на 35 кг/т за рахунок заощадження палива у процесі варіння скла завдяки підігріванню шихти.

Джерело: [94, Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, 2008]

8.2 Додаток II. Приклади балансу сірки для промислових скловарних печей

У частинах 4 та 5, є посилання на використання балансу сірки для визначення умов конкретної установки або у якості основи, за якою порівнюються різні варіанти технологічного процесу. У цьому додатку наведено два приклади балансу сірки для вапняно-натрієво скла, а також спрощений приклад для мінеральної вати, і пояснено питання, пов'язані з цими прикладами.

Виробництво вапняно-натрієвого скла

Приклади, вибрані для вапняно-натрієвого скла, стосуються однієї печі для виробництва плоского скла та однієї печі для виробництва тарного скла з повною та частковою переробкою на самому виробництві зібраного пилу з фільтрувального агрегату, у який вбудований скруббер для очищення кислотних газів. Ці цифри наведені лише у якості прикладу – зокрема, рівні викидів, вказані у прикладах, не слід вважати такими, що характеризують НДТМ.

Повна переробка відфільтрованого пилу залежить від типу скла, його ступеня окиснення, його здатності поглинати SO_3 та, у більш загальному сенсі, від умов роботи печі (особливо від вмісту сірки у паливі). Найкращий спосіб проілюструвати ці моменти – проаналізувати повний баланс сірки, як-от описаний наведеними нижче цифрами. Для конкретного випадку витрату можна представити у кг/год. одиниці (SO_2 , SO_3 чи S), за якою підбивається баланс, або, як варіант, у мг/м^3 н.у. SO_2 , оскільки для конкретної печі можна прямо розрахувати коефіцієнт перетворення між концентрацією та масовою витратою.

Для балансу сірки у печі вхідними потоками є:

- Сірка, що вноситься з матеріалами шихти.
- Сірка, що вноситься зі скляним боєм (зворотним + привізним).
- Сірка, що вноситься з паливом.
- Сірка, що вноситься з поверненням у процес відфільтрованим пилом.

Вихідні потоки такі:

- Сірка у склі, що знімається з печі.
- Сірка у димових газах ($\text{SO}_2 + \text{SO}_3$).
- Сірка, що міститься у пилі.
- Сірка у пилі, що відкладається у регенераторах та димоходах (за оцінками – від 1 до 5 %).

У загальному балансі сірки повинен враховуватися баланс сірки для пристрою контролю забруднень, тобто вихідні потоки у димовій трубі та відфільтрований пил. Якщо кількість відфільтрованого пилу несумісна з даним типом скла, принаймні для частини пилу необхідно передбачити маршрут утилізації за межами виробництва (як правило, захоронення на полігоні). Як варіант, для мінімізації кількості відходів, які потрібно утилізувати, можна знизити вміст сірки у паливі. Цей останній варіант зазвичай є найкращим як з точки зору захисту навколишнього середовища у цілому, так і на економічних підставах.

Переробка відфільтрованого пилу означає, що цей пил замінить сульфат натрію або сульфат кальцію шихти. Кількість пилу, яку потенційно можна переробити, залежить від кількості сульфату, потрібної для освітлення, та від можливості заміни цього сульфату відфільтрованим пилом. Властивості пилу та можливість його переробки залежать від умов роботи та типу абсорбенту (матеріалу для очищення газів).

На величину вхідного потоку SO_3 також впливає привізний скляний бій та його середній склад. Якщо піч працює на мазуті, мазут привнесе близько 1200 мг/м^3 н.у. SO_2 на 1 % сірки у мазуті. Кількість сірки, що може поглинатися склом, варіюється від майже нуля для деяких видів скла, зварених у відновлювальних умовах, до приблизно $500 - 700 \text{ мг/м}^3$ н.у. для флінту, звареного в окиснювальних умовах. Ці цифри лише орієнтовні.

На Рисунок 8.1 представлено баланс сірки для печі, у якій виготовляється флоат-скло, а відфільтрований пил повністю переробляється шляхом повернення в піч у складі шихти.



Рисунок 8.1. Баланс сірки для печі, у якій виготовляється флоат-скло, з повною переробкою відфільтрованого пилу

На Рисунку 8.2 представлено баланс сірки для печі, у якій виготовляється тарне скло, і лише частина відфільтрованого пилу переробляється шляхом повернення в піч у складі шихти.

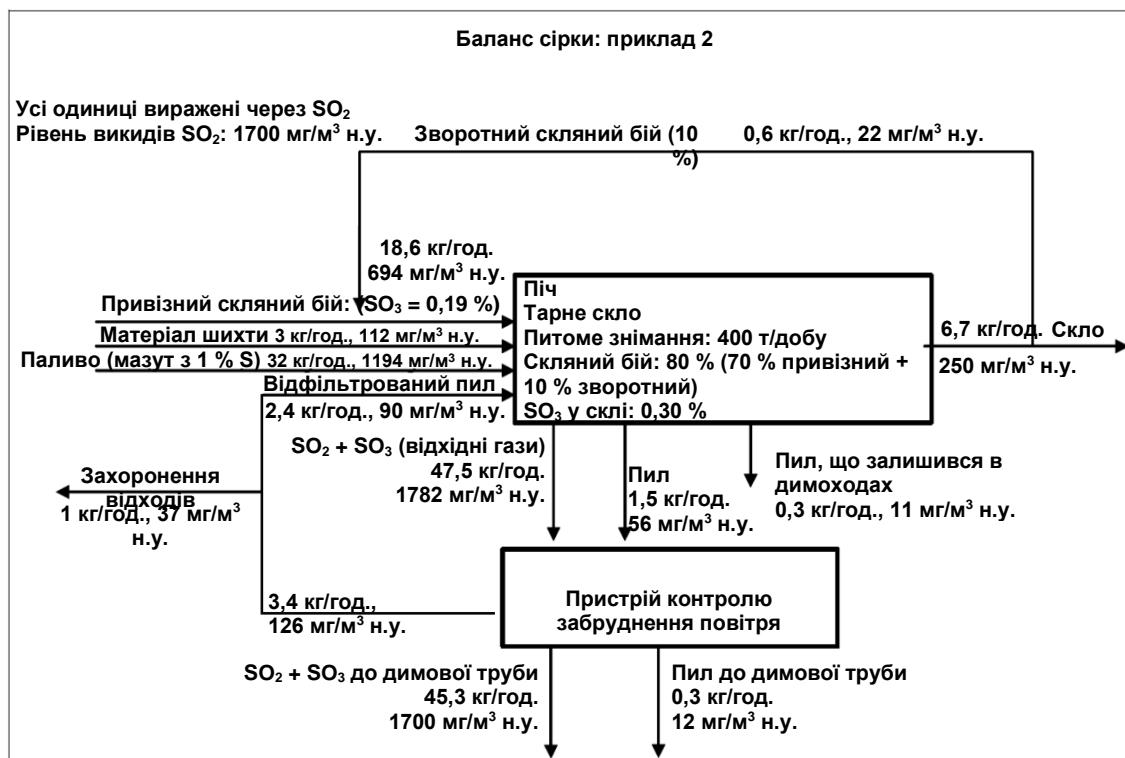


Рисунок 8.2 **Баланс сірки для печі, у якій виготовляється тарне скло, з частковою переробкою відфільтрованого пилу**

Виробництво мінеральної вати

У виробництві мінеральної вати часто переробляється відфільтрований пил, і, особливо у випадку скловати, у різних кількостях використовується призначений для переробки скляний бій.

Компоненти сировини, що використовуються у технологічному процесі, по суті, чисті, і жоден з них не містить помітної кількості сірки. Типові значення вмісту сірки наведені у Таблиці 8.11.

Таблиця 8.11. Види сировини і типовий вміст сірки у виробництві мінеральної вати

Сировина	Склад	Типовий вміст сірки (% у перерахунку на SO ₃)	Макс. значення (від постачальників , 2007 рік)
Пісок	SiO ₂	<0,01	
Кальцинована сода	Na ₂ CO ₃	0,015	0,020
Вапняк	CaCO ₃	<0,01	
Доломіт	MgCO ₃ ·CaCO ₃	0,04	0,05
Камінь	Мінерал на основі алюмосилікату	<0,01	
Борат	Гідратований	0,01	0,011

Джерело: [136, EURIMA, 2008]

У якості прикладу для дослідження балансу сірки у виробництві скловати використовувався завод з газокисневою піччю.

Природний газ, що постачається на взятий для прикладу завод, містить дуже малу кількість сірки, яку можна вважати майже нехтовною.

У процесі виробництва зазвичай утворюється 3 – 10 % зворотного скляного бою, який безпосередньо переробляється шляхом повернення назад у процес. Привізний скляний бій, що використовується на заводі, складається з тарного скла (пляшки та банки) або плоского скла (вікна). Типовий вміст сірки у поширених типах скла наведено у Таблиці 8.12.

Таблиця 8.12. Типовий вміст SO₃ у поширених типах скла

Тип скляного бою		Типовий вміст SO ₃ (%)
Тарне скло	Прозоре	0,18
	Зелене	0,14
	Бурштинове	0,05
Плоске скло	Прозоре	0,22
Зворотний скляний бій		0,044

Вміст сірки у продукції зі скловати, виготовленій на взятому для прикладу заводі, еквівалентний 0,044 % SO₃ (тобто вміст сірки у зворотному скляному бої). Що стосується виробництва тарного скла, що кількість сірки, яка може поглинатися склом, залежить від ступеня окиснення-відновлення скляного розплаву і особливо від відношення вмісту іонів Fe²⁺/Fe³⁺ у склі.

Пил, видалений із потоку відхідних газів, привносить змінний вміст сірки, проте типовим вважається значення у 7 % SO₃.

З балансу сірки, розрахованого за кількістю SO₃, що потрапляє у піч з сировиною та скляним боєм, та вихідними потоками скловати, відфільтрованого пилу та газоподібних викидів SO_x, видно, що переважна більшість сірки, внесеної у процес варіння скла, припадає на скляний бій. Відносні пропорції вхідних та вихідних потоків, що містять сірку, у технологічному процесі зображені на Рисунку 8.3.

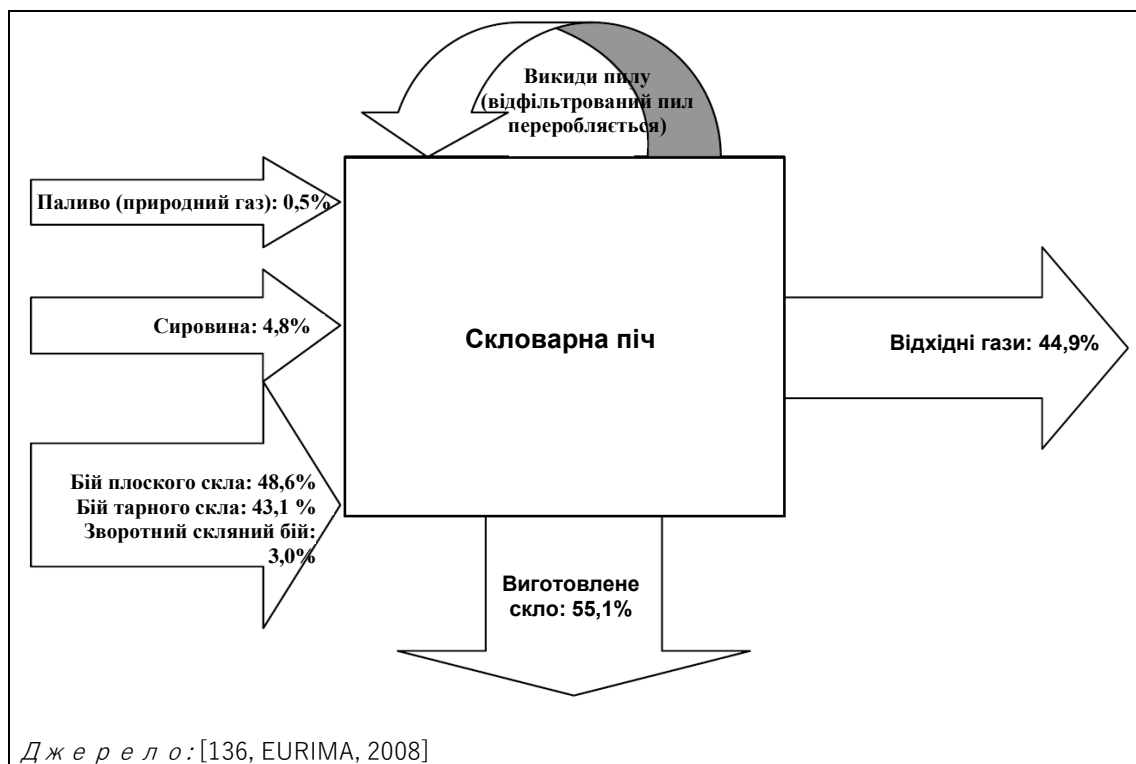


Рисунок 8.3. Схема балансу сірки для киснево-паливної скловарної печі з переробкою відфільтрованого пилу

З типових значень викидів SO_x , виміряних на заводі, видно, що концентрації варіюються від 69 до 143 mg/m^3 SO_2 . З масового балансу, виконаного за даними виробництва у печі, отримано прогнозне значення у 77 mg/m^3 н.у.

8.3 Додаток III. Моніторинг викидів

Загальні рекомендації щодо вимірювання викидів наведені у Довідковому документі щодо загальних принципів моніторингу (MON), липень 2003 року [122, Європейська комісія, 2003].

У цьому додатку наведені загальні рекомендації щодо вимірювання викидів від процесів виробництва скла для отримання репрезентативних і придатних для порівняння результатів. Для вимірювання викидів можна застосовувати ряд національних та міжнародних методів і процедур, проте отримані за допомогою них результати можуть значно різнитися через неналежне застосування загальних методів у дуже специфічному випадку, такому як процес виробництва скла.

8.3.1 Основні забруднюючі речовини

Основними джерелом забруднень від скляної промисловості є викиди в атмосферу з процесу варіння скла. Проте у деяких секторах операції подальшої обробки також можуть породжувати значні викиди. Основні забруднюючі речовини для секторів, визначених у скляній промисловості, підсумовані у Таблиці 8.13.

Таблиця 8.13. Основні забруднюючі речовини, які з великою ймовірністю потрібно врахувати в вимірюваннях у скляній промисловості

Сектор / вид діяльності	Забруднюючі речовини
Тарне скло	
Транспортування матеріалів	Пил, кристалічний кремнезем
Процес варіння скла	Пил, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, важкі метали
Нанесення покриття на вході лера або обробка	Пил, органічне та неорганічне олово, HCl, SO _x
Плоске скло	
Транспортування матеріалів	Пил, кристалічний кремнезем
Процес варіння скла	Пил, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, важкі метали (для кольорового скла)
Обробка поверхні	SO _x
Безперервні скляні нитки	
Транспортування матеріалів	Пил, кристалічний кремнезем
Процес варіння скла	Пил, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, сполуки бору
Операції подальшої обробки	Пил, ЛОС, формальдегід, аміак, стічні води
Сортове скло	
Транспортування матеріалів	Пил, кристалічний кремнезем, важкі метали
Процес варіння скла	Пил, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, важкі метали, сполуки бору
Операції подальшої обробки	HF, Pb, стічні води (від полірування та шліфування)
Спеціальне скло	
Транспортування матеріалів	Пил, кристалічний кремнезем, важкі метали
Процес варіння скла	Пил, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, важкі метали, сполуки бору
Операції подальшої обробки	Пил, Pb, стічні води (від полірування та шліфування)
Мінеральна вата	
Транспортування матеріалів	Пил, кристалічний кремнезем
Процес варіння скла	Пил, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, сполуки бору, H ₂ S
Процеси подальшої обробки	Пил, ЛОС, феноли, аміни, аміак, формальдегід, ЛОС, NO _x (стверджування), стічні води
Високотемпературне ізоляційне волокно	
Транспортування матеріалів	Пил, кристалічний кремнезем
Процес варіння скла	Пил, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl
Операції подальшої обробки	Пил, волокно, стічні води
Фрити	
Транспортування матеріалів	Пил, кристалічний кремнезем, важкі метали
Процес варіння скла	Пил, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, важкі метали, сполуки бору
Операції подальшої обробки	Пил, стічні води

8.3.2 Моніторинг викидів

Моніторинг викидів зазвичай повсюди використовується для забезпечення дотримання граничних значень викидів, встановлених у дозволах. Режим та частота моніторингу повинні відповідати кількості викидів, які потрібно перевіряти, та технології контролю, що використовується. Найбільш широко живаються такі методи:

- моніторинг робочих показників технології зниження викидів (наприклад, перепаду тиску на рукавному фільтрі);
- безперервний моніторинг забруднюючих речовин;
- періодичні вимірювання рівнів забруднюючих речовин;
- розрахунок балансу мас.

Моніторинг робочих показників технології зниження викидів

Як правило, це мінімальна вимога, встановлена для моніторингу викидів. У деяких випадках (наприклад, у випадку добре вивченої стабільної ситуації з викидами) для визначення дотримання вимоги дозволу може бути достатньо оцінки робочих показників технології зниження викидів. У багатьох випадках застосовуються автоматичні технології, здатні виявляти несправність або порушення у роботі обладнання для зниження викидів (наприклад, вимірювання перепаду тиску, температури, рН, тощо).

Безперервні та/або періодичні вимірювання рівнів забруднюючих речовин

Для моніторингу викидів необхідно визначати всі значимі параметри, які здатні вплинути на вимірювання рівнів різних забруднюючих речовин або на тлумачення та представлення результатів. Окрім рівнів регламентованих речовин (пил, NO_x, SO_x, CO, HCl, HF, тощо), необхідно визначати характеристичні параметри джерела викидів, наприклад:

- швидкість та масова витрата димових газів;
- температура;
- вологість;
- концентрація кисню;
- концентрація вуглекислого газу.

На вимірювання викидів можуть впливати кілька чинників; деякі з них особливо важливі у випадку процесів варіння скла. У більшості випадків можна визначити такі критичні параметри:

- температура відхідних газів;
- гранулометричний склад пилу;
- швидкість відхідних газів;
- вологість відхідних газів;
- форми викидів у вигляді газоподібних речовин та твердих часток;
- час відбору проб;
- опорні умови.

Температура відхідних газів

Температура димових газів, що виходять із печі, може суттєво різнитися (зазвичай від 100 до 850 °C у димовій трубі) залежно від системи використання відхідного тепла (регенератори, рекуператори чи швидке охолодження газу водою) та технології зниження викидів, що застосовується. Вищі температури зазвичай відповідають печам рекуперативного типу та/або киснево-паливному варінню скла. Нижчі температури зазвичай характерні для сильно розбавлених відхідних газів (печі періодичної дії, всі процеси електричного варіння скла, деякі печі з обладнанням для зниження викидів, тощо). Можливі похибки вимірювання температури відхідних газів можна мінімізувати так, як описано нижче.

- Використання належних фільтрів та зондів для вимірювання рівнів пилу (кварцові чи скловолоконні фільтри без органічних в'язучих речовин, високотемпературні прокладки, тощо).
- Належне кондиціонування фільтрів перед застосуванням за високої температури. Рекомендується провести етап попереднього кондиціонування за температур до 400 – 600 °C, щоб уникнути подальших втрат ваги під час вимірювань.
- Використання зондів та фільтрів з підігріванням за низьких температур відхідних газів, особливо за високої вологості, для запобігання конденсації кислот та води.

Гранулометричний склад пилу

Діаметр часток пилу, що утворюються у процесі варіння скла, зазвичай дуже малий (менше 1 мкм, і зазвичай 0,02 – 0,5 мкм). Під час відбору проб частки легко злипаються і, у разі використання лужних фільтрувальних матеріалів, схильні реагувати з кислотними газоподібними речовинами, присутніми у димових газах. Щоб уникнути цього явища, для відбору проб слід вибирати хімічно інертні фільтри. Якщо вміст твердих часток вимірюється безперервно, дрібнодисперсні частки може бути важко видалити з оптичних частин вимірювального обладнання, а це призведе до отримання помилкових значень концентрації пилу. Тому слід застосовувати належну систему очищення.

Швидкість відхідних газів

Хоча пил, що викидається у процесі варіння скла, складається з надзвичайно дрібних часток, вимірювання слід проводити в ізокінетичних умовах. Геометрію трубопроводу та розташування точки відбору проб слід вибрати таким чином, щоб можна було правильно виміряти швидкість димових газів.

Вологість відхідних газів

Присутність великих відсотків води у відхідних газах є дуже поширеним явищем у випадку електричного варіння скла та у газоповітряних печах, в яких якості охолоджувальної рідини перед обладнанням для зниження викидів використовується вода. Щоб уникнути конденсації під час відбору проб, необхідно визначити точку роси для газу. Завжди, коли існує ризик конденсації, особливо у випадку димових газів з великим вмістом SO_3 , для вимірювання рівнів газоподібних забруднюючих речовин слід використовувати зонди з підігріванням. Це також стосується деяких операцій подальшої обробки, у яких використовуються мокрі скрубери, – наприклад, при виготовленні безперервних скляних ниток, скловолокна, тощо. Якщо конденсація води все ж присутня, отриману в результаті рідину слід перевіряти на предмет можливого поглинання забруднюючих речовин – наприклад, оксидів сірки.

Форми викидів у вигляді газоподібних речовин та твердих часток

Деякі забруднюючі речовини можуть викидатися в атмосферу як у вигляді твердих часток, так і в газоподібній формі. Це стосується деяких речовин, що утворюються у процесі варіння скла, – наприклад, деяких сполук бору (особливо борної кислоти), селену, миш'яку, ртуті (якщо використовується скляний бій освітлювальних приладів), – а також хлоридів, що утворюються у ході виробництва тарного скла при нанесенні покриття на вході лера. У цих випадках, щоб уникнути похибок оцінки, лінію відбору проб слід обладнати комбінованою системою для одночасного збору як твердих часток, так і газоподібних компонентів.

У випадку виробництва боросилікатного скла може бути необхідно вимірювати викиди бору в обох формах – у вигляді газу і твердих часток, – щоб визначити ефективність видалення обох речовин з відхідних газів (див. розділ 4.4.1). Зокрема, при виробництві боросилікатних видів скла з високим вмістом лугів борна кислота головним чином викидається в атмосферу у газоподібній формі через високий тиск своїх парів та низьку температуру конденсації (нижче 160 °C).

У конкретному вимірюванні загальних викидів бору можна розрізнити бор, що міститься в відхідних газах у вигляді твердих часток, та газоподібні сполуки бору, що можуть виходити з обладнання для зниження викидів забруднень у повітря (наприклад, фільтр у поєднанні з системою очищення газів), що застосовується до скловарної печі.

Загальні викиди бору можна виміряти шляхом відбору частини димових газів за допомогою кварцового зонда, що під'єднаний до абсорбційної системи і складається з заповнених водою імпінжерів. Після цього зонд, з'єднувальні трубки та імпінжери ретельно промиваються водою для видобуття з них боровмісного матеріалу, який міг у них сконденсуватися. Абсорбційний розчин з імпінжерів та змиту воду з лінії відбору проб потім можна проаналізувати для визначення вмісту бору.

Різниця між загальною концентрацією викидів бору та кількістю бору, виявленою у викидах твердих часток за допомогою стандартних методів вимірювання (наприклад, відбір проб в ізокінетичних умовах на кварцовому мембранному фільтрі), і є вмістом газоподібних сполук бору в точці вимірювання.

Викиди селену вимірюються за допомогою спеціального методу відбору проб, який потрібно спроектувати таким чином, щоб гарантувати абсорбцію як твердих, так і газоподібних форм, присутніх у відхідних газах. Селен, що використовується для забарвлення або знебарвлення скла, може утворювати великі газоподібні викиди, оскільки з нього утворюються надзвичайно леткі сполуки з дуже низькими температурами конденсації – аж до 60 – 100 °C.

Рекомендований метод відбору проб для вимірювання викидів селену розроблений Міжнародною комісією з питань скла, Технічний комітет 13 (опубліковано в журналі Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology («Скляні технології: європейський вісник науки та технології скла»), частина А, том 47, № 2, квітень 2006 року) [162, Міжнародна комісія з питань скла – Технічний комітет з питань навколишнього середовища (ICG-TC 13), 2006].

Час відбору проб

У випадку регенеративних печей, окрім стандартних процедур, у яких для відбору репрезентативної проби потрібно забезпечити належний час відбору проби, у практиках належного виконання робіт слід враховувати цикл зміни напрямку полум'я на зворотний у регенераторах. Викиди з процесу варіння скла насправді можуть суттєво коливатися у ході циклу зміни температури в камерах, яка збільшується протягом циклу. Для отримання результатів вимірювань, які можна порівнювати між собою, час відбору проб повинен охоплювати парну кількість циклів спалювання палива. Це також може стосуватися циклів очищення обладнання для зниження викидів.

Опорні умови

Як правило, граничні значення викидів вказуються у концентраціях для 0 °C, 101,3 кПа та інших умов конкретного випадку, наприклад:

- скловарні печі безперервної дії: 8 % кисню за об'ємом, сухий газ;
- печі періодичної дії: 13 % кисню за об'ємом, сухий газ;
- інші джерела викидів: без поправки на кисень.

Як правило, концентрація забруднюючих речовин використовується для визначення дотримання граничних значень викидів. Це зумовлено тим, що такі значення вимірюються безпосередньо і не потребують збору додаткової інформації про процес виробництва, яка зазвичай потрібна для визначення коефіцієнтів викидів або питомих викидів (наприклад, кг викидів на тонну розплавленої скломаси). Проте граничні значення викидів іноді вказуються як у вигляді концентрації (мг/м³ н.у.), так і у вигляді коефіцієнта викидів (кг/тонну скла, кг/год., г/год.). Це особливо стосується тих випадків, коли відхідні гази сильно розбавлені (наприклад, у випадку електричних печей), та коли загалом присутні великі відсоткові частки кисню (киснево-паливне згорання, повітряно-паливне згорання зі збагаченням киснем). У разі приведення значень для 8 % кисню до 13 % кисню будуть отримані результати, які не можна буде зіставити з результатами для печей, у яких процес варіння скла здійснюється на викопному паливі та з використанням повітря замість кисню. Це особливо характерно для галузі виробництва скляних фрит, у якій димові гази, утворені в киснево-паливних печах та повітряно-паливних печах зі збагаченням киснем, з надлишком повітря, об'єднуються на одній установці, у результаті чого виникає висока концентрація кисню (>15 %). У цьому випадку більш доцільно використовувати коефіцієнти викидів або приведення до відсотку кисню, ближчий до реальних умов вимірювання (15 % O₂).

Безперервний моніторинг

Безперервний моніторинг, як правило, застосовується лише для викидів, що утворюються у скловарній печі, оскільки у цьому випадку спостерігається найбільш значима масова витрата та порівняно сталий рівень викидів. Безперервний моніторинг викидів може здійснюватися на місці або за допомогою екстракційного вимірювального обладнання. Вимірювання на місці здійснюються в димовій трубі / димарі за температури димових газів та вологості у точці відбору проби. Екстракційні вимірювання базуються на кондиціонуванні відібраної проби димових газів з наступним визначенням концентрації забруднюючої речовини у сухому газі. Обидві системи потребують ретельного технічного обслуговування та періодичного калібрування за допомогою методів періодичного вимірювання.

Зокрема, вимірювання, що здійснюються за допомогою вимірювальних приладів «на місці», можуть залежати від кольору та гранулометричного складу, які різняться для різних видів скла, що виготовляються в печах (зелене, коричневе, напівбіле), та від типу палива, що використовується для згорання.

Параметри, які можна вимірювати безперервно, та рекомендовані для цього методи наведені у Таблиці 8.14 нижче.

Таблиця 8.14. Технології безперервного моніторингу

Параметр	Метод
Кисень	Парамагнітний метод, чарунка з оксиду цирконію
Пил	Світлопроникність, розсіювання світла
Оксид азоту (NO)	Інфрачервона або ультрафіолетова фотометрія, хемілюмінесценція
Оксиди азоту (NO + NO ₂)	Інфрачервона або ультрафіолетова фотометрія, хемілюмінесценція з перетворювачем (NO ₂ на NO)
Діоксид сірки	Інфрачервона або ультрафіолетова фотометрія
Чадний газ	Інфрачервона фотометрія
Загальний вміст вуглеводнів	Полум'яно-іонізаційний детектор (ПІД)

Безперервним способом можна вимірювати й інші забруднюючі речовини – наприклад, HF та HCl за допомогою потенціометрії чи інфрачервоної фотометрії відповідно або потенціометричним компенсаційним методом. Проте ці вимірювання не так легко виконати, і вони потребують частого перекалібрування аналізаторів. Безперервний моніторинг цих забруднюючих речовин може бути доцільним у деяких процесах виробництва скла, в яких передбачається використання сполук хлору та фтору в рецептурі шихти і утворюються викиди після системи зниження викидів.

У деяких країнах-членах ЄС національне законодавство вимагає застосування безперервного моніторингу викидів за масових витрат, що перевищують порогові значення, наведені у Таблиці 8.15.

У деяких країнах-членах ЄС застосовуються інші підходи. Наприклад, у Нідерландах необхідність безперервного моніторингу (режиму моніторингу) залежить від розміру неочищених викидів у поєднанні з технологією їх контролю, що застосовується. Відношення між «викидом відмови» та контрольним значенням масової витрати визначає режим моніторингу установки (5 різних категорій) та відповідний тип моніторингу, який потрібно здійснювати для призначеної категорії (наприклад, частота, безперервні або періодичні вимірювання) [172, Голландська директива про викиди у повітря (NER), квітень 2003 року].

Таблиця 8.15. Порогові значення масової витрати для безперервного моніторингу викидів

Речовина	Порогове значення масової витрати (кг/год.)		
	Німеччина	Франція	Австрія
Пил	3	>2,5 ≤50 ⁽¹⁾ >50 ⁽²⁾	3
Діоксид сірки	30	20	15
Оксиди азоту у перерахунку NO ₂	30	20	5
Чадний газ, для оцінки ефективності згорання	5		
Чадний газ, усі інші випадки	100		
Сполуки фтору у перерахунку на HF	0,3	1	
Сполуки хлору у перерахунку на HCl	1,5	20	
Аміак		10	
⁽¹⁾ Необхідно здійснювати безперервний моніторинг за допомогою принаймні одного оптичного вимірювального приладу (наприклад, оптичного димоміра).			
⁽²⁾ Необхідно здійснювати безперервний моніторинг пилу за гравіметричним методом.			

Періодичні вимірювання

Окремі вимірювання можна виконувати шляхом розділення різних забруднюючих речовин (зазвичай пилю, SO_x , HCl , HF , металів) на належних фільтрувальних матеріалах чи в адсорбційних розчинах або за допомогою екстракційних приладів для безперервного вимірювання (наприклад, інфрачервона та ультрафіолетова фотометрія для NO_x , SO_2 , тощо). Необхідна кількість вимірювань зазвичай визначається за мінливістю викидів та тривалістю операції, яку потрібно контролювати. У деяких випадках операція триває обмежений час, за який можна виконати лише одне вимірювання (наприклад, при транспортуванні сировини). Проте у більшості випадків для безперервного процесу, для якого характерні стабільні викиди, потрібно виконати принаймні три окремі вимірювання, а у випадку мінливих викидів – п'ять окремих вимірювань. У особливих випадках може бути необхідно до 8 – 10 вимірювань.

Загальні вказівки щодо найпоширеніших методів, які використовуються для періодичного вимірювання викидів, наведені у Таблиці 8.16.

Таблиця 8.16. Технології періодичного моніторингу

Забруднююча речовина / Параметр	Метод
Пил	Фільтрування та визначення гравіметричним способом
Оксиди азоту ($\text{NO} + \text{NO}_2$)	Інфрачервона або ультрафіолетова фотометрія, хемілюмінесценція Абсорбція у належному розчині і визначення хімічним способом (колориметрія, іонообмінна хроматографія, тощо)
Діоксид сірки (SO_2)	Інфрачервона або ультрафіолетова фотометрія
Оксиди сірки ($\text{SO}_2 + \text{SO}_3$)	Абсорбція у належному розчині і визначення хімічним способом (титрування, іонообмінна хроматографія, спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою – ІЗП)
Оксид сірки (SO_3)	Абсорбція у належному розчині і визначення хімічним способом (титрування, іонообмінна хроматографія)
Метали (As , Pb , Cd , Se , Cr , Cu , V , Mn , Ni , Co , Sb , тощо)	Фільтрування та/або абсорбція у належному розчині Визначення за допомогою атомно-абсорбційної спектрометрії (ААС), спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ІЗП)
Селен у перерахунку на Se (тверді частки + газоподібна форма)	Абсорбція у належному розчині і визначення хімічним способом (наприклад, атомно-абсорбційна спектрометрія з генерацією гідридів (ААСГГ), спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою (ІЗП), тощо) [162, Міжнародна комісія з питань скла – Технічний комітет з питань навколишнього середовища (ICG-TC 13), 2006]
Сполуки бору (тверді частки + газоподібна форма)	Абсорбція у воді і визначення хімічним способом (спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою (ІЗП), титрування, колориметрія)
Хлориди у перерахунку на HCl	Фільтрування та абсорбція у належному розчині Визначення за допомогою іонообмінної хроматографії, титрування
Фториди у перерахунку на HF	Фільтрування та абсорбція у належному розчині Визначення за допомогою іоноселективного електрода, іонообмінної хроматографії
Сірководень	Фільтрування або абсорбція у належному розчині Іонообмінна хроматографія, визначення колориметричним способом або зворотне титрування
Формальдегід	Абсорбція у належному розчині. Визначення колориметричним способом або за допомогою високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ)
Фенол	Абсорбція у належному розчині. Газова (рідинна) хроматографія або визначення колориметричним способом
Аміак	Абсорбція у належному розчині. Іонна хроматографія, визначення колориметричним способом або за допомогою іоноселективного електрода
Аміни	Абсорбція у належному розчині або силікагелі. Визначення за допомогою газової хроматографії, високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) або газової хроматографії – масової спектрометрії (ГХ-МС)
Леткі органічні сполуки	Полум'яно-іонізаційний детектор (ПІД)
Кисень	Парамагнітний метод, чаунка з оксиду цирконію
Чадний газ	Інфрачервона фотометрія
Вуглекислий газ	Інфрачервона фотометрія
Примітка. Перелічені технології наведені у якості прикладів; їх перелік не охоплює всі аналітичні технології, які можуть використовуватися для визначення вмісту різних забруднюючих речовин у скляній промисловості.	

Як правило, для визначення більшості значимих параметрів викидів існують національні та міжнародні стандартизовані методи (ISO, CEN, VDI, EPA, тощо). Проте для ряду речовин немає такої стандартизованої методики.

Це стосується багатьох органічних речовин (фенол, формальдегід, аміни, тощо), проте також багатьох неорганічних сполук, що можуть викидатися в атмосферу як у вигляді твердих часток, так і в газоподібній формі (наприклад, сполуки бору). Як уже зазначалося, загальноприйнята практика належного виконання робіт передбачає комбінований відбір проб (шляхом фільтрації та адсорбції) з метою виявлення та кількісної оцінки різних фракцій.

Розрахунок балансу мас

У деяких випадках і для певних забруднюючих речовин за допомогою розрахунку балансу мас можна надійно оцінити викиди з технологічного процесу. Якщо вхідні та вихідні потоки конкретної речовини на етапі технологічного процесу (наприклад, у процесі варіння скла) відомі з достатньою точністю разом з усіма хімічними та/або фізичними змінами, баланс мас можна використовувати у якості кількісного методу оцінки викидів. Це, наприклад, може стосуватися SO₂, що утворюється при варінні скла, HF, що утворюється при виробництві матового скла, або селену у виробництві бронзового скла або флінту (баланси сірки наведені у розділі 8.2). Як правило, розрахунок балансу мас використовується для порівняння з вимірним рівнем викидів.

Тлумачення та представлення результатів вимірювань

Щоб надати обґрунтований стандарт для тлумачення при представленні результатів вимірювань викидів, важливо вказати принаймні таку інформацію:

- метод моніторингу, що застосовується;
- точність методу, що застосовується;
- відповідні умови роботи (дані про технологічний процес);
- опорні умови (вологість, температура у точці вимірювання, тощо);
- результати всіх окремих вимірювань або, у випадку безперервного моніторингу, щільність розподілу всіх середніх концентрацій за півгодини, годину або добу.

Слід наголосити, що кожен метод, який застосовується для моніторингу твердих та газоподібних викидів, має іншу межу виявлення, а невизначеність вимірювання різниться залежно від діапазону концентрацій, які потрібно вимірювати.

У випадку вимірювання викидів невизначеність повинна визначати інтервал за межами результату вимірювання, в межах якого вимірний рівень речовини можна впевнено вважати хибним. З цією метою замість сумарної стандартної невизначеності зазвичай визначають відносну розширену невизначеність.

У значній кількості випадків стандартні методи, що застосовуються для вимірювання викидів у повітря, можуть мати невизначеність того ж порядку, що й концентрація, яку потрібно виміряти.

У інших випадках концентрація, яку потрібно виміряти, близька до межі виявлення методу вимірювання, що застосовується.

Усі ці моменти слід уважно враховувати при тлумаченні результатів вимірювань викидів.

Для стандартних методів можуть бути вказані межі виявлення та значення невизначеності, розраховані для конкретного діапазону концентрацій, проте в більшості випадків ці значення повинні бути визначені/розраховані лабораторією, яка застосовує ці методи вимірювання, з огляду на конкретну лінію відбору проб та обладнання, що використовується для вимірювання.

У якості прикладу в Таблиці 8.17 і Таблиці 8.18 наведені значення невизначеностей і меж виявлення, визначені двома спеціалізованими лабораторіями, акредитованими за європейським стандартом ISO/IEC 17025.

У Таблиці 8.17 наведені значення меж виявлення для вимірювань викидів, що виконуються головним чином на неочищених димових газах.

Таблиця 8.17. Приклад значень меж виявлення для вимірювання викидів зі скловарних печей

Параметр	Значення меж виявлення ⁽¹⁾	
Пил	4,8 ⁽²⁾	мг/м ³ н.у.
Оксиди азоту (NO _x)	2 – 4	млн ⁻¹
Оксиди сірки (SO ₂)	0,16	мг/м ³ н.у.
Чадний газ (CO)	2 – 4	млн ⁻¹
Хлориди (у перерахунку на HCl)	1	мг/м ³ н.у.
Фториди (у перерахунку на HF)	0,05	мг/м ³ н.у.
ЛОС (у перерахунку на C)	0,2 (діапазон 0 – 20)	мг/м ³ н.у.
Pb	0,032	мг/м ³ н.у.
Cr	0,011	мг/м ³ н.у.
Cu	0,010	мг/м ³ н.у.
Ni	0,032	мг/м ³ н.у.
As	0,002	мг/м ³ н.у.
Cd	0,003	мг/м ³ н.у.
Hg	0,001	мг/м ³ н.у.
⁽¹⁾ Наведені значення є типовими цифрами, що спостерігаються при вимірюванні твердих та газоподібних викидів зі скловарних печей.		
⁽²⁾ Значення меж виявлення відповідає вимірюванням пилу у неочищених димових газах.		
Джерело: [118, Дані CTCV для перегляду BREF, 2007], [175, CTCV, 2010]		

У Таблиці 8.18 наведені значення меж виявлення та розширені невизначеності, визначені для зазначених методів, що застосовуються атестованою лабораторією для вимірювання викидів – головним чином в очищених димових газах.

Таблиця 8.18. Приклад значень меж виявлення та розширених невизначеностей для вимірювання викидів у скляній промисловості

Параметр	Метод	Межа виявлення	Розширена невизначеність
HF	ISO 15713: 2006 Потенціометрія	0,1 мг/м ³ н.у.	Розрахункове значення 1 мг/м ³ н.у.
HCl	UNI EN 1911-1/2/3: 1998 Титрування за допомогою AgNO ₃	0,1 мг/м ³ н.у.	Розрахункове значення 1 мг/м ³ н.у.
SO _x	UNI EN 14791: 2005 Іонообмінна хроматографія, титрування	1 мг/м ³ н.у.	0,126 C* + 8,5 мг/м ³ н.у.
NO _x	UNI EN 10878: 2000 Недисперсивний інфрачервоний аналізатор (NDIR), недисперсивна ультрафіолетова спектроскопія (NDU), хемілюмінесценція	1 мг/м ³ н.у.	4 % виміряного значення
NO _x	UNI EN 14792 Хемілюмінесценція	1 мг/м ³ н.у.	0,041 C* + 2,8 мг/м ³ н.у.
Пил	UNI EN 13284-1: 2001 Гравіметричний метод	0,3 мг/м ³ для сухих газів 2 мг/м ³ для газів, насичених водяною парою	4 мг/м ³ н.у.
O ₂	EN 14789: 2006 Парамагнітний метод	0,2 % від максимального значення шкали (0,05 % O ₂)	0,041 C** + 0,1 % O ₂ за об'ємом
Примітка. - C* = виміряна концентрація у мг/м ³ н.у. - C** = виміряна концентрація у % O ₂ .			
Джерело: [173, SSV – Експериментальна станція з виробництва скла (Stazione Sperimentale del Vetro), 2010]			

Висновки

Цей додаток не має на меті надати стандартну методику для моніторингу викидів у скляній промисловості. У випадках, коли це потрібно, зазвичай існують прийняті методи, які слід оцінювати для кожного випадку застосування. Мета цього додатка – надати загальну інформацію і звернути увагу на потенційні джерела помилкових оцінок рівнів викидів, які можуть бути отримані в результаті застосування різних НДТМ.

8.4 Додаток IV. Розрахунок коефіцієнтів перетворення для визначення масових викидів за концентраціями

Підхід, що використовується у Додатковому документі з НДТМ для скла (BREF за кодом GLS) для представлення рівнів викидів з процесу варіння скла та ВРВ НДТМ для визначених технологій, передбачає використання як концентрацій викидів (мг/м³ н.у.), так і питомих масових викидів (кг/тонну звареного скла), які також називають «коефіцієнтами викидів».

Вираження ВРВ НДТМ через питомі масові викиди було визнане за необхідне, щоб належним чином охопити всі потенційні варіанти варіння скла у галузі виробництва скла (киснево-паливне варіння, варіння зі збагаченням киснем, повітряно-паливне варіння скла, тощо).

Процедура розрахунку для перетворення концентрацій у коефіцієнти викидів уже наведена в частині 5 «Загальні міркування» і базується на об'ємі відхідних газів (м³ н.у./год.) та питомому зніманні скла з печі (тонни звареного скла за годину).

Об'єм відхідних газів (Q) залежить головним чином від споживання енергії, типу палива та окиснювача (повітря, збагачене киснем повітря та кисень, ступінь чистоти якого залежить від процесу виробництва).

Споживання енергії описується складною функцією, змінними якої є (головним чином) тип печі, тип скла та відсоток скляного бою.

Проте на залежність між концентрацією та питомою масовою витратою може впливати ряд чинників, у тому числі:

- тип печі (температура підігрівання повітря, технологія варіння скла);
- тип скла, що виготовляється (потреба в енергії для варіння скла);
- структура енергоресурсів (вкопне паливо / електричне форсування);
- тип вкопного палива (мазут, газ);
- тип окиснювача (кисень, повітря, збагачене киснем повітря);
- відсоток скляного бою;
- склад шихти;
- вік печі;
- розмір печі.

Масові викиди (кг/тонну скла) = коефіцієнт перетворення × концентрація викидів (мг/м³ н.у.)

де: коефіцієнт перетворення = $(Q/P) \times 10^{-6}$
 Q = об'єм відхідних газів у м³ н.у./год.
 P = питоме знімання скломаси у тоннах скла/год.

З цією метою були оцінені коефіцієнти перетворення для різних секторів скляної промисловості за даними про питоме споживання енергії для повітряно-паливних печей.

Для простоти в оцінці не враховується об'єм відхідних газів, що утворюється внаслідок розкладання мінералів у процесі варіння скла (наприклад, CO₂, SO₂).

За даними про питоме споживання енергії можна розрахувати теоретичний стехіометричний об'єм відхідних газів і визначити коефіцієнт поправки, як описано у наступних прикладах для сектора тарного скла. Дані, що використовуються для розрахунку, базуються на питомих значеннях енергії, наведених у Таблиці 3.13.

Приклад 1. Тарне скло

Тип печі: регенеративна, з підковоподібним полум'ям

Потужність печі: 250 т/добу, що еквівалентно 10,42 тонни/год. (**P**)

Паливо: природний газ з нижчою теплою згорання, що еквівалентна 8500 ккал/м³ н.у. (**НТЗ**)

Питоме споживання енергії (піч): 4,8 ГДж/тонну звареного скла (**ПСЕ**)

Коефіцієнт перетворення ГДж у ккал: $238,85 \times 10^3$ (**K**)

Стехіометричний об'єм відхідних газів (вологий газ, за 0 % кисню) для 1 м³ н.у. природного газу: 10,6 м³ н.у. (**СВГ**)

$$\text{Коефіцієнт перетворення} = [(ПСЕ \times P \times K) / НТЗ \times СВГ] / P = [(4,8 \text{ ГДж/т} \times 10,42 \text{ т/год.} \times 238,85 \times 10^3) / 8500 \text{ ккал/м}^3 \text{ н.у.} \times 10,6 \text{ м}^3 \text{ н.у./год.}] / 10,42 \text{ т/год.} = 1,43 \times 10^{-3}$$

Приклад 2. Тарне скло

Тип печі: рекуперативна

Потужність печі: 250 т/добу, що еквівалентно 10,42 тонни/год. (**P**)

Паливо: природний газ з нижчою теплою згорання, що еквівалентна 8500 ккал/м³ н.у. (**НТЗ**)

Питоме споживання енергії (піч): 5,8 ГДж/тонну звареного скла (**ПСЕ**)

Коефіцієнт перетворення ГДж у ккал: $238,85 \times 10^3$ (**K**)

Стехіометричний об'єм відхідних газів (вологий газ, за 0 % кисню) для 1 м³ н.у. природного газу: 10,6 м³ н.у. (**СВГ**)

$$\text{Коефіцієнт перетворення} = [(ПСЕ \times P \times K) / НТЗ \times СВГ] / P = [(5,8 \text{ ГДж/т} \times 10,42 \text{ т/год.} \times 238,85 \times 10^3) / 8500 \text{ ккал/м}^3 \text{ н.у.} \times 10,6 \text{ м}^3 \text{ н.у./год.}] / 10,42 \text{ т/год.} = 1,73 \times 10^{-3}$$

Приклад 3. Тарне скло

Тип печі: регенеративна, з підковоподібним полум'ям

Потужність печі: 400 т/добу, що еквівалентно 16,67 тонни/год. (**P**)

Паливо: природний газ з нижчою теплою згорання, що еквівалентна 8500 ккал/м³ н.у. (**НТЗ**)

Питоме споживання енергії (піч): 4,3 ГДж/тонну звареного скла (**ПСЕ**)

Коефіцієнт перетворення ГДж у ккал: $238,85 \times 10^3$ (**K**)

Стехіометричний об'єм відхідних газів (вологий газ, за 0 % кисню) для 1 м³ н.у. природного газу: 10,6 м³ н.у. (**СВГ**)

$$\text{Коефіцієнт перетворення} = [(ПСЕ \times P \times K) / НТЗ \times СВГ] / P = [(4,3 \text{ ГДж/т} \times 16,67 \text{ т/год.} \times 238,85 \times 10^3) / 8500 \text{ ккал/м}^3 \text{ н.у.} \times 10,6 \text{ м}^3 \text{ н.у./год.}] / 16,67 \text{ т/год.} = 1,28 \times 10^{-3}$$

Приклад 4. Тарне скло

Тип печі: регенеративна, з підковоподібним полум'ям

Потужність печі: 100 т/добу, що еквівалентно 4,17 тонни/год. (**P**)

Паливо: природний газ з нижчою теплою згорання, що еквівалентна 8500 ккал/м³ н.у. (**НТЗ**)

Питоме споживання енергії (піч): 6,9 ГДж/тонну звареного скла (**ПСЕ**)

Коефіцієнт перетворення ГДж у ккал: $238,85 \times 10^3$ (**K**)

Стехіометричний об'єм відхідних газів (вологий газ, за 0 % кисню) для 1 м³ н.у. природного газу: 10,6 м³ н.у. (**СВГ**)

$$\text{Коефіцієнт перетворення} = [(ПСЕ \times P \times K) / НТЗ \times СВГ] / P = [(6,9 \text{ ГДж/т} \times 4,17 \text{ т/год.} \times 238,85 \times 10^3) / 8500 \text{ ккал/м}^3 \text{ н.у.} \times 10,6 \text{ м}^3 \text{ н.у./год.}] / 4,17 \text{ т/год.} = 2,06 \times 10^{-3}$$

Середнє значення розрахованих коефіцієнтів перетворення, наведених вище, еквівалентне $1,63 \times 10^{-3}$.

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. Грошові одиниці
- II. Коды країн за стандартом ISO
- III. Префікси одиниць вимірювання
- IV. Одиниці вимірювання
- V. Хімічні елементи
- VI. Хімічні формули, які часто використовуються у цьому документі
- VII. Акроніми та технічні визначення

I. Грошові одиниці

Код ⁽¹⁾	Країна / територія	Валюта
Валюти країн-членів ЄС		
EUR	Зона євро ⁽²⁾	євро (множина – євро)

⁽¹⁾ Коды за стандартом ISO 4217.
⁽²⁾ До неї належать такі країни, як Австрія, Бельгія, Греція, Естонія, Ірландія, Іспанія, Італія, Кіпр, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Німеччина, Португалія, Словаччина, Словенія, Фінляндія, Франція.

II. Коды країн за стандартом ISO

Код ISO	Країна
Країни-члени ЄС (*)	
UK	Велика Британія
Країни, які не є членами ЄС	
US	Сполучені Штати Америки

III. Префікси одиниць вимірювання

Позначення	Префікс	Термін	Кількість
Й	йота	10 ²⁴	1 000 000 000 000 000 000 000 000
З	зета	10 ²¹	1 000 000 000 000 000 000 000
Е	екса	10 ¹⁸	1 000 000 000 000 000 000
П	пета	10 ¹⁵	1 000 000 000 000 000
Т	тера	10 ¹²	1 000 000 000 000
Г	гіга	10 ⁹	1 000 000 000
М	мега	10 ⁶	1 000 000
к	кіло	10 ³	1000
г	гекто	10 ²	100
да	дека	10 ¹	10
-----	-----	1 одиниця	1
д	деци	10 ⁻¹	0,1
с	санти	10 ⁻²	0,01
м	мілі	10 ⁻³	0,001
мк	мікро	10 ⁻⁶	0,000001
н	нано	10 ⁻⁹	0,000 000 001
п	піко	10 ⁻¹²	0,000 000 000 001
ф	фемто	10 ⁻¹⁵	0,000 000 000 000 001
а	атто	10 ⁻¹⁸	0,000 000 000 000 000 001
з	зепто	10 ⁻²¹	0,000 000 000 000 000 000 001
й	йокто	10 ⁻²⁴	0,000 000 000 000 000 000 000 001

IV. Одиниці вимірювання

Термін	Значення
бар	бар (1,013 бара = 100 кПа або 1 атм.)
°C	градус Цельсія
см	сантиметр
д	доба
г	грами
ГДж	гігаджоуль
г·моль·с ⁻¹	грам-моль на секунду
год.	година
Дж	джоуль
К	кельвін (0 °C = 273,15 K)
ккал	кілокалорія (1 ккал = 4,19 кДж)
кг	кілограм (1 кг = 1000 г)
кДж	кілоджоуль (1 кДж = 0,24 ккал)
кПа	кілопаскаль
кВ	кіловольт
кВт·год.	кіловат-година (1 кВт·год. = 3600 кДж = 3,6 МДж)
л	літр
м	метр
м ²	квадратний метр
м ³	кубічний метр
мг	міліграм (1 мг = 10 ⁻³ г)
МДж	мегаджоуль (1 МДж = 1000 кДж = 10 ⁶ Дж)
мм	міліметр (1 мм = 10 ⁻³ м)
МВт·год.	мегават-година
нг	нанограм (1 нг = 10 ⁻⁹ г)
м ³ н. у.	кубічний метр у нормальних умовах (за 101,325 кПаб 273,15 K)
ouE	європейська одиниця запаху
Па	паскаль (1 Па = 1 Н/м ²)
Па·с	паскаль-секунда
млн ⁻¹	кількість часток на мільйон (1 млн ⁻¹ = 10 ⁻⁶)
с	секунда
т	метрична тонна (1000 кг або 10 ⁶ г)
т/добу	кількість тонн на добу
т/рік	кількість тонн на рік
рік	рік
~	приблизно; більше або менше
ΔT	різниця температур
мкм	мікрометр (1 мкм = 10 ⁻⁶ м)

V. Хімічні елементи

Позначення	Назва	Позначення	Назва
Ag	Срібло	Mg	Магній
Al	Алюміній	Mn	Марганець
Ar	Аргон	Mo	Молібден
As	Миш'як	N	Азот
B	Бор	Na	Натрій
Ba	Барій	Nd	Неодим
Be	Берилій	Ni	Нікель
Bi	Вісмут	O	Кисень
C	Вуглець	P	Фосфор
Ca	Кальцій	Pb	Свинець
Cd	Кадмій	Pd	Паладій
Ce	Церій	Pt	Платина
Cl	Хлор	S	Сірка
Co	Кобальт	Sb	Сурма
Cr	Хром	Se	Селен
Cs	Цезій	Si	Кремній
Cu	Мідь	Sn	Олово
F	Фтор	Sr	Стронцій
Fe	Залізо	Ta	Тантал
Gd	Гадоліній	Ti	Титан
Ge	Германій	V	Ванадій
H	Водень	W	Вольфрам
Hg	Ртуть	Y	Ітрій
K	Калій	Zn	Цинк
La	Лантан	Zr	Цирконій
Li	Літій		

VI. Хімічні формули, які часто використовуються у цьому документі

Хімічна формула	Назва
Al_2O_3	Оксид алюмінію, глинозем
B_2O_3	Триоксид бору
CaCO_3	Карбонат кальцію, вапняк
CaF_2	Фторид кальцію, флюорит
CaO	Оксид кальцію, вапно
Ca(OH)_2	Гідроксид кальцію, гашене вапно
CaSO_4	Сульфат кальцію
CO	Чадний газ
CO_2	Вуглекислий газ
Fe_2O_3	Оксид заліза, окис заліза
HBO_2	Метаборна кислота
H_3BO_3	Борна кислота
HBO_2	Метаборна кислота
HCl	Хлороводень
HF	Фтороводень
H_2S	Сірководень
H_2SiF_6	Гексафторкремнієва кислота
H_2SO_4	Сірчана кислота
K_2CO_3	Карбонат калію, поташ
K_2O	Оксид калію
Mg_2CO_3	Карбонат магнію
MgO	Оксид магнію, магнезія
N_2	Молекулярний азот
Na_2CO_3	Карбонат натрію, кальцинована сода
Na_2O	Оксид натрію
NaOH	Гідроксид натрію. Також називається «каустична сода»
NaNO_3	Нітрат натрію
Na_2SO_4	Сульфат натрію
NH_3	Аміак
N_2O	Закис азоту
NO	Оксид азоту
NO_2	Діоксид азоту
NO_x	Сума оксиду азоту (NO) та діоксиду азоту (NO_2) у перерахунку на NO_2
PbO	Оксид свинцю, свинцевий глет, літарг
Pb_3O_4	Оксид свинцю, свинцевий сурик, мініум, тетраоксид трисвинцю
SiO_2	Оксид кремнію
SO_2	Діоксид сірки
SO_3	Триоксид сірки
SO_x	Сума діоксиду сірки (SO_2) та триоксиду сірки (SO_3) у перерахунку на SO_2

VII. Акроніми та визначення

Акроніми	Визначення
ACGIH	Американська асоціація державних промислових гігієністів (American Conference of Industrial Hygienists)
AES	Силікат лужно-земельного металу (Alkaline Earth Silicate)
ASW	Алюмінієво-силікатне волокно (Aluminium Silicate Wool)
AZS	Алюмо-цирконієво-силікатний матеріал (Alumina-zirconia-silica)
BAS	Ступінчасте повітряне дуття (Blowing Air Staging)
CPIV	Постійний комітет скляної промисловості (Comité Permanent des Industries du Verre)
CVD	Хімічне осадження з газової фази (Chemical Vapour Deposition)
ECFIA	Європейська асоціація, що представляє сектор високотемпературного ізоляційного волокна
ETS	Схема торгівлі викидами (Emission Trading Scheme)
EURIMA	Європейська асоціація виробників мінеральної вати (European Insulation Manufacturers Association)
FLOX	Безполумєневе окиснення
GRP	Армований склом пластик (Glass-reinforced Plastic)
IBC	Єврокуб
IPPC	Комплексне запобігання та контроль забруднень
IS	Секційна склоформувальна машина (Individual Section)
I-TEQ	Міжнародний токсичний еквівалент
МАК	Максимальна концентрація на робочому місці (Maximale Arbeitsplatzkonzentration)
NEPSI	Європейська мережа з питань кремнезему (European Network for Silica)
OEAS	Ступінчасте подавання збагаченого киснем повітря (Oxygen-enriched Air Staging)
OEL	Граничне значення впливу на робочому місці (Occupational Exposure Limit)
OSHA	Європейське агентство з безпеки та гігієни праці (Occupational Safety and health Administration)
PCW	Полікристалічне волокно (Polycrystalline Wool)
PSA	Абсорбція за змінного тиску (Pressure Swing Absorption)
RCF	Вогнетривке керамічне волокно (Refractory Ceramic Fibre)
VSA/VPSA	Вакуумна абсорбція / вакуумна абсорбція за змінного тиску (Vacuum Pressure Swing Absorption)
БПК	Біологічна потреба в кисні
ВН	Висока напруга
ВТІВ	Високотемпературне ізоляційне волокно
ЕСП	Електростатичний фільтр (електростатичний пиловловлювач)
ЕК	Європейська комісія
ЕС	Європейський Союз
КЗП	Система контролю забруднення повітря
кисл. пол.	Кислотне полірування / полірований кислотою
КПТ	Катодно-променева трубка
ЛОС	Леткі органічні сполуки
МЕСП	Мокрий електростатичний фільтр (мокрий електростатичний пиловловлювач)
НДТМ	Найкращі доступні технології та методи управління
ПЕТ	Поліетилентерефталат
РК-дисплей	Рідкокристалічний дисплей
СКВ	Селективне каталітичне відновлення
СНКВ	Селективне каталітичне відновлення
т/добу	Тонни на добу
ХВП	Хімічне відновлення паливом
ХПК	Хімічна потреба в кисні

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [2] Міністерство охорони навколишнього середовища Великої Британії, «Контроль забруднення на великих скляних заводах» (Pollution Control at Large Glass Works), Організація з охорони екологічних ресурсів Нової Зеландії (Environmental Resources Limited), 1991.
- [4] Управління з охорони довкілля (EPA), «Документ з альтернативних технологій контролю. Викиди NOx з виробництва скла» (Alternative Control Techniques Document – NOx Emissions from Glass Manufacturing), Управління з охорони довкілля Сполучених Штатів Америки, 1994.
- [6] Управління з енергоефективності (ЕЕО), «Екологічний контроль енергоефективності у скляній промисловості. Настанова з практики належного виконання робіт 127» (Energy Efficiency Environmental Control in the Glass Industry, Good Practice Guide 127), Управління з енергоефективності Великої Британії, 1995.
- [7] Скляна промисловість Франції (Ind.duVerre), «Зниження викидів оксидів азоту у скляній промисловості» (Reduction des Emissions d'Oxydes d'Azote dans l'Industrie du Verre), Комітет з моніторингу скла (Comité de Suivi du Verre), Рішення від 14 травня 1993 року, 1996.
- [9] Методичне керівництво з комплексного контролю забруднень (IPC) S2 3.03. Методична записка з комплексного контролю забруднень S2 3.03 «Виробництво скловолна, інших неасбестових мінеральних волокон, скляних фрит, емалевих фрит та супутні процеси» (Manufacture of glass fibres, other non-asbestos mineral fibres, glass frit, enamel frit and associated processes), 1996.
- [15] Група підтримки з питань енергії та технології (ETSU), «Енергетичні технології у секторі скляної промисловості» (Energy technology in the Glass Industry Sector) (Thermie), AEA Environment and Energy (AEA – Навколишнє середовище та енергія), 1992.
- [18] Ergole, «Спалювання палива в кисні: проблеми та перспективи розвитку його використання у виробництві скляної тари» ('Oxcombustion: The problems and Perspectives for Development of its Use in Glass Containers Production'), конгрес Керамічного товариства США (US Ceramic Society) з питань скла, 1998, Сан-Франциско.
- [19] Постійний комітет скляної промисловості (CPIV), «Довідковий документ CPIV з НДТМ для європейської скляної промисловості» (CPIV BAT Reference Document for the European Glass Industry), Постійний комітет скляної промисловості (Comité Permanent des Industries du Verre), 1998.
- [20] Epir (Ehrig) та інші, «П'ять років експлуатаційного досвіду з використанням скловарного апарату LoNOx виробництва SORG» (Five years of operational experience with the SORG LoNOx Melter), журнал Glastechnische Berichte («Наука та технологія виробництва скла»), 68, 1995.
- [22] Schott, «Посібник компанії Schott зі скляної промисловості» (Schott Guide to Glass), друга редакція, редактор: Х.Г. Пфендер (H.G. Pfaender), видавництво Chapman & Hall, 1996.
- [25] FENIX, «Компанія-виробник скла Saint-Gobain зменшила викиди NOx з заводу флоат-скла у муніципалітеті Аніш майже на 500 мг/м³ н.у. за допомогою первинних заходів» (Saint-Gobain Vitrage Réduit les rejets de NOx du Float D'Aniche á prés de 500 mg/Nm³ par des mesures Primaires), збірник L'Industrie Ceramic & Verriere («Керамічна та скляна промисловість»), 1998.
- [26] «Спеціальне скло. Довідковий документ європейської галузі виробництва спеціального скла для реалізації Директиви 96/61/ЕС» (Special Glass, Reference Document of the European Special Glass Industry for the implementation of Directive 96/61/EC), Постійний комітет скляної промисловості (Comité Permanent des Industries du Verre), 1998.
- [27] Європейська асоціація виробників мінеральної вати (EURIMA), «Зауваження EURIMA до Довідкового документа з НДТМ щодо виробництва ізоляційного волокна» (EURIMA BAT Reference note on insulation wool production), Європейська асоціація виробників мінеральної вати, 1998.
- [28] «Сортове скло. Довідковий документ європейської галузі виробництва столового посуду та сортового скла для реалізації Директиви 96/61/ЕС» (Domestic, Reference Document of the European Tableware and Domestic Glass Industry for the implementation of Directive 96/61/EC), Постійний комітет скляної промисловості (Comité Permanent des industries du Verre), 1998.
- [30] Центр знань Infomil, «Голландські зауваження щодо НДМТ для галузі виробництва скла та мінеральної вати» (Dutch Notes on BAT for the Glass and Mineral Wool Industry), центр знань Infomil для Міністерства навколишнього середовища Голландії (Управління з питань повітря та енергії), 1998.
- [31] CPIV, «Дослідження пониженого впливу пилу, що викидається печами для виробництва вапняно-натрієвого скла, на навколишнє середовище» (An examination of the low environmental impact of dust emitted by soda-lime glass furnaces), 1998.
- [33] Беркенс (Beerkens), «Технології зниження викидів зі скловарних печей, робочі показники, вартість та можливі поєднання технологій зниження викидів» (Abatement of glass furnace emissions techniques, performance, costs and possible combinations of abatement techniques), 1999.
- [38] FENIX, «Метод та пристрій для зниження викидів NOx зі скловарної печі» (Method and Device for Reducing NOx Emission in a Glass Furnace), 1998.
- [40] Шульвер (Shulver) та інші, «Технологія 3R: оновлені дані» (3R Technology: An Update), Pilkington, 1997.
- [41] Європейська асоціація виробників високотемпературного ізоляційного волокна (ECFIA), «Інформаційна доповідь про екологічні показники заводів з виробництва вогнетривкого керамічного волокна (RCF) у Європі» (Information Report on Environmental Performances of RCF Manufacturing Plants in Europe), ECFIA, 1998.
- [42] Асоціація німецьких інженерів (VDI), «Настанова Асоціації німецьких інженерів (VDI 2578) з контролю викидів на скляних заводах» (Verein Deutscher Ingenieure Guidelines (VDI 2578) Emission Control

- Glassworks) (ECKI3), VDI, 1997.
- [46] Іллі (Illy) та інші, «Процеси для регенерації тепла та заощадження енергії у киснево-паливних скловарних печах: дослідження технологій» ('Processes for heat recovery and energy savings in oxy-fired glass furnaces: a technology survey'), журнал International Glass Journal, том № 96, 1998.
- [47] Іспанська асоціація виробників фрит, полив та керамічних пігментів (ANFFECC), «Довідковий документ іспанської галузі виробництва фрит для реалізації Директиви про комплексне запобігання і контроль забруднень 96/61/EC» (Reference Document of the Spanish Frits Industry for the Implementation of the Directiva IPPC 96/61/EC), 1999.
- [49] Французьке агентство з навколишнього середовища та керування енергетикою (ADEME), «Технології знесірчення у промислових процесах» (Les techniques de désulfuration des procédés industriels), 1999.
- [59] SORG, брошура SORG про скловарний агрегат Flex – «Періодичне виробництво, постійна якість» ('Discontinuous Production Constant Quality'), GmbH & Co KG, 1999.
- [60] SORG, брошура SORG про скловарний агрегат LoNOx, GmbH & Co KG, 1999.
- [62] Оновлені дані CPIV для BREF щодо скла, «Розбиття за секторами скляної промисловості» ('Breakdown between glass sectors'). Особисте повідомлення, 2007.
- [63] Річний звіт CPIV. Річний статистичний звіт за 2006-2007 роки, 2007.
- [64] Європейська асоціація тарного скла (FEVE), «Перший внесок даних для перегляду документа BREF щодо скла для сектора тарного скла» ('First contribution of data to the Glass BREF revision of Container glass sector').
- [65] Європейська асоціація виробників плоского скла (GEPVP) – Пропозиції щодо перегляду документа GLS, «Пропозиція від GEPVP (Європейської асоціації виробників плоского скла) для перегляду документа BREF щодо скла» ('Proposal from GEPVP (European Flat Glass Manufacturer Association) for the revision of the Glass BREF'). Особисте повідомлення, 2007.
- [66] Оновлені дані Європейської асоціації виробників скловолокна (APFE) для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень. «Оновлені дані про скловолокно з безперервних ниток для документа BREF щодо скла у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень (APFE)» (UPDATE IPPC Glass BREF by Continuous Filament Glass Fibre data (APFE)), 2007.
- [67] Опитування заводів, проведене APFE, «Опитування заводів, проведене APFE: скловолокно з безперервних ниток, 2005 рік» ('APFE Plant survey CFG 2005'). Особисте повідомлення, 2007.
- [68] Оновлення даних про сортове скло, «Оновлення даних щодо сортового скла для перегляду документа BREF» (Data update for BREF review related to domestic glass), 2007.
- [69] Зібрані дані EURIMA, «Таблиці з даними за 2005 рік, надані EURIMA (сектор мінерального скла) для перегляду документа BREF щодо скла» ('Tables with data from 2005 submitted by EURIMA (Mineral Wool Sector) for GLS BREF review'). Особисте повідомлення, 2007.
- [70] VDI 3469-1, «Контроль викидів: виробництво та обробка волокнистих матеріалів. Волокнистий пил. Основні принципи, огляд» (Emission control: Production and processing of fibrous materials – Fibrous dusts – Fundamentals, Overview) – Асоціація німецьких інженерів (Verein Deutscher Ingenieure), березень 2007 року, 2007.
- [71] VDI 3469-5, «Контроль викидів: виробництво та обробка волокнистих матеріалів. Високотемпературне ізоляційне волокно» (Emission control: Production and processing of fibrous materials – High temperature insulation wool – Асоціація німецьких інженерів (Verein Deutscher Ingenieure), березень 2007 року, 2007.
- [73] Пропозиція щодо спеціального скла, «Пропозиція щодо перегляду документа BREF для скла від сектора спеціального скла» (Proposal of review for the Glass BREF from Special glass sector), 2007.
- [74] Розбиття сектора спеціального скла, «Таблиця розбиття сектора спеціального скла» (Special glass sector breakdown table), 2007.
- [75] Німеччина – Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG), Звіт про скляну промисловість, «Остаточний звіт. НДТМ у німецькій скляній промисловості» (Final report BAT in the German Glass industry), Машинобудівне об'єднання німецької скляної промисловості (HVG – Hüttentechnisch Vereinigung Der Deutschen Glasindustrie E.V.), 2007.
- [76] Нідерландська організація прикладних наукових досліджень (TNO) – SO₂, «Реєстр викидів SO₂ та потенціал для зниження викидів у голландській скляній промисловості» (Inventory of SO₂ emissions and emission reduction potential in the Netherlands glass industry), 2007.
- [78] ГОЛЛАНДСЬКІ киснево-паливні печі, «Викиди NOx з киснево-паливних скловарних печей для виробництва тарного скла у Нідерландах» (NOx emissions container glass melting oxy-fuel furnaces in the Netherlands), 2007.
- [79] TNO – Киснево-паливна технологія за 2005 рік, Звіт Асоціації італійських технічних фахівців зі скла (ATIV), остаточна версія, «КИСНЕВО-ПАЛИВНІ СКЛОВАРНІ ПЕЧІ: ОЧІКУВАННЯ ТА ДОСВІД У СКЛЯНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ ЗА ОСТАННІ 15 РОКІВ» (OXYGEN-FIRED GLASS FURNACES: EXPECTATIONS AND EXPERIENCES IN THE GLASS INDUSTRY IN THE LAST 15 YEARS), 2005.
- [84] Звіт від Італії, «Італійський внесок у перегляд документа BREF щодо скла – 2. Дані про СКЛЯНУ ПРОМИСЛОВІСТЬ» ('Italian contribution to Glass BREF Review – 2. GLASS INDUSTRY Data'). Особисте повідомлення, 2007.
- [85] Іспанська настанова з НДТМ для скла, ескіз документа «Посібник з найкращих методів, доступних в Іспанії» ('Guía de mejores técnicas disponibles en España') у секторі виробництва скла – липень 2007 року, 2007.
- [86] Австрійські заводи з виробництва тарного скла, «Австрійський внесок для документа BREF щодо

- заводів з виробництва тарного скла» (Austrian BREF contribution for container glass plants), 2007.
- [88] Пропозиція FEVE, частина 4 – NO_x, «Запропоновані змінені тексти частини 4 щодо зниження рівнів NO_x – FEVE (скляна тара)» (Proposed modified texts of Chapter 4 for NO_x reduction – FEVE (Glass container)), 2007.
 - [89] Пропозиції EURIMA, «Пропозиції щодо зміни тексту у записці до документа BREF у рамках комплексного запобігання та контролю забруднень, 2007» (Suggestions for text changes to the IPPC BREF Note, 2007), 2007.
 - [92] ITC – C071603, документ ITC – C071603 на тему «Поточна ситуація зі значеннями викидів NO_x у виробництва керамічних фрит. Оцінка первинних заходів і технологій зниження викидів» ("Current situation of NO_x emission values in ceramic frit manufacture. Evaluation of primary measures and abatement techniques"), 2007.
 - [93] Таблиці даних EURIMA – 80%, «Таблиці даних Європейського бюро з комплексного запобігання та контролю забруднень, надані 18_липня_2007_року_1» (EIPPCB Data tables submitted 18_July 07_1), 2007.
 - [94] Беркенс – Оцінка системи контролю забруднення повітря, «Оцінка витрат, пов'язаних з контролем забруднення повітря для скловарних печей» (Evaluation of costs associated with air pollution control for glass melting furnaces), 2008.
 - [96] Інститут прикладної фізики Нідерландської організації прикладних наукових досліджень (TNO-TPD), Еталонне порівняння енергоефективності, «Еталонне порівняння енергоефективності скловарних печей» (Energy efficiency benchmarking of glass furnaces), 2003, с. 11.
 - [98] ANFFECC, Становище сектора виробництва фрит, «Становище сектора виробництва фрит у запланованому перегляді документа BREF щодо скла. Спеціальний аналіз викидів NO_x» (Position of the Ceramic Frit Sector in the forthcoming review of the Glass BREF *Specific analysis of NO_x emissions*), 2005, с. 78.
 - [99] ITC-C080186, «Становище сектора виробництва фрит з огляду на викиди NO_x у рамках перегляду документа BREF щодо скла» (Positioning of the frits sector related to NO_x emissions in regard to the revision of the GLS BREF), 2008, с. 7.
 - [100] Редакція документа BREF від Міжнародної федерації виробників кришталю (ICF), «Відповідь ICF щодо використання свинцю у кришталевій промисловості» (ICF answer on the use of Lead for Crystal Industry), ICF (Міжнародна федерація виробників кришталю), 2007.
 - [101] Бруно Д. (Bruno D.), НДТМ для води, «Використання води та стічних вод у виробництві сортового скла» (Use of water and wastewater in domestic glass manufacturing), Приморський університет Опалового узбережжя (Université du littoral Côte d'Opale), 2007, с. 27.
 - [109] Шеп (Scher), Десятиріччя киснево-паливної технології, «Десятиріччя киснево-паливного варіння скла у Нідерландах» ('A decade of oxy-fuel glass melting in The Netherlands'), 2003, с. 6.
 - [110] Австрія, Заводи з виробництва сортового скла, «Звіти про відвідування заводів. Австрійські заводи з виробництва сортового скла» (Plant visit reports: Austrian domestic glass plants), Австрійське федеральне агентство охорони довкілля (Umweltbundesamt), 2007.
 - [111] Австрійський завод з виробництва спеціального скла, «Звіти про відвідування заводів. Австрійський завод з виробництва спеціального скла» (Plant visit report Austrian special glass plant), Австрійське федеральне агентство охорони довкілля (Umweltbundesamt), 2006.
 - [112] Австрійський завод з виробництва скловати, «Звіти про відвідування заводів. Австрійський завод з виробництва скловати» (Plant visit report: Austrian glass wool plant), Австрійське федеральне агентство охорони довкілля (Umweltbundesamt), 2006.
 - [113] Процес CerCat від Maguin, «ПРОЦЕС ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ CerCat (керамічний та каталітичний фільтр)» (CerCat (Ceramic and Catalytic) FLUE GAS TREATMENT PROCESS), 2008, с. 3.
 - [115] EURIMA-ENTEC, Оцінка витрат, «Оцінка витрат, пов'язаних з контролем забруднення повітря для сектора мінеральної вати» (Evaluation of costs associated with air pollution control for the mineral wool sector), 2008, с. 58.
 - [116] ECFIA, «Нова пропозиція тексту для розділу 1.9 документа BREF, сторінки 29/30, коментар №7» ('New text Proposal for Section 1.9 of BREF page 29/30 comment N° 7'). Особисте повідомлення, 2008.
 - [117] GWI, VDI – Звіт № 1988, «Застосування безполуменового окиснення у скловарних печах з рекуперативним підігріванням повітря Glas-FLOX®» (Anwendung der flammenlosen Oxidation für Glasschmelzwannen mit rekuperativer Luftvorwärmung – Glas-FLOX®), 2007.
 - [118] Дані Технологічного центру кераміки та скла (CTCV) для перегляду BREF, «Дані, надані CTCV для перегляду документа BREF щодо скла» (Data provided from CTCV for Glass BREF revision), CTCV (Технологічний центр керамічної та скляної промисловості з Португалії), 2007.
 - [120] CTCV, «Установка електростатичного фільтра» (ESP Installation), CTCV, 2009, с. 4.
 - [121] Європейська комісія, «Довідковий документ з НДТМ для викидів зі складів» (BREF on Emissions from Storage) (EFS), 2006.
 - [122] Європейська комісія, «Довідковий документ з НДТМ для загальних принципів моніторингу» (BREF on General Principles of Monitoring) (MON), EIPPCB, 2003, с. 123.
 - [124] Європейська комісія, «Довідковий документ з НДТМ для енергоефективності» (BREF on Energy Efficiency) (ENE), 2009.
 - [125] FEVE, «Виправлення до частини 1» (Correction to Chapter 1), 2009.
 - [126] FEVE, «Виправлення до частини 3» (Correction to Chapter 3), 2009.

- [127] Європейська торгова асоціація скляної промисловості – «Скло для Європи» (Glass for Europe), «Запропоновані виправлення до розділу 1.4» (Proposed corrections to Section 1.4), 2008.
- [128] ECORYS, «Дослідження конкурентоспроможності сектора за Рамковим договором щодо галузевої конкурентоспроможності (FWC). Конкурентоспроможність сектора виробництва скла» (FWC Sector Competitiveness Studies – Competitiveness of the Glass Sector), 2008.
- [129] EN 1094-1, Європейський стандарт – «Ізоляційні вогнетривкі вироби. Частина 1. Термінологія, класифікація та методи випробування для продукції з високотемпературного ізоляційного волокна» (Insulating refractory products: Terminology, classification and methods of test for high temperature insulation wool products), 2008.
- [130] CPIV, «Кількість і тип печей» ('Number and type of furnaces'). Особисте повідомлення, 2008.
- [131] APFE, «Склад скла Е» ('Composition of E glass'). Особисте повідомлення, 2008.
- [132] Спеціальне скло, «Варіанти складу скла» (Glass compositions), 2008.
- [133] Внесок EURIMA за листопад, «Внесок після проміжного засідання» ('Contribution after Interim Meeting'). Особисте повідомлення, 2008.
- [134] ANFFECC, «Внесок на засіданні ANFFECC-IPTS, липень 2008 року» (Contribution to the meeting ANFFECC-IPTS, July 2008), 2008.
- [135] Європейська мережа з питань кремнезему (NEPSI), «Настанова з найкращих практик щодо охорони здоров'я робітників шляхом належного поводження та використання кристалічного кремнезему та продуктів, які його містять» (Good practice guide on workers health protection through the good handling and use of crystalline silica and products containing it), Європейська мережа з питань кремнезему, 2006.
- [136] EURIMA, «Інформація, надана після проміжного засідання» ('Information after Interim Meeting'). Особисте повідомлення, 2008.
- [137] Сортове скло, «Споживання енергії. Приклади» ('Energy consumption – Examples'. Особисте повідомлення, 2008.
- [138] Європейська комісія, «Довідковий документ з НДТМ для великосерійної неорганічно-хімічної промисловості (виробництва твердих та інших речовин)» (BREF on Large Volume Inorganic Chemicals – Solids and Others) (LVIC-S), 2007.
- [139] Європейська комісія, «Довідковий документ з НДТМ для поверхневої обробки за допомогою органічних розчинників» (BREF on Surface Treatment using Organic Solvents), 2007.
- [140] Сортове скло, «Коментарі до розділу 3.6.5» ('Comments to Section 3.6.5'). Особисте повідомлення, 2008.
- [141] Спеціальне скло, «Внесок для частини 3» ('Contribution for Chapter 3'). Особисте повідомлення, 2008.
- [142] Дані EURIMA за серпень, «Нові таблиці за серпень 2008 року» (August 2008 New Tables), 2008.
- [143] Дані ECFA за листопад, «Внесок для частин 1 та 3» ('Contribution for chapters 1 and 3'). Особисте повідомлення, 2008.
- [144] Дані ITC за листопад, «Звіт C082655 про дифузні/леткі викиди» (Report C082655 on diffuse/fugitive emissions), 2008.
- [145] Внесок Франції, «Очищення димових газів скловарної печі за допомогою сухого бікарбонату натрію та очищення залишків» (Glass furnace flue gas treatment with dry sodium bicarbonate and treatment of residues), 2007.
- [146] EURIMA, «Вприскування відходів у скловарну піч для виробництва кам'яної вати» (Waste injection into stone wool melting furnace), 2007.
- [147] Кобаяші (Kobayashi) та інші, «Розробка удосконаленого підігрівача шихти / скляного бою для киснево-паливної скловарної печі» ('Development of an advanced batch/cullet preheater for oxy-fuel fired glass furnace'), 68-а конференція з проблем скляної галузі, 2007, Колумбус, штат Огайо, США.
- [148] Беркенс, «Можливості заощадження енергії у скловарних печах та регенерація тепла з їх відхідних газів» ('Energy saving options for glass furnaces & recovery of heat from their flue gases'), 69-а конференція з проблем скляної галузі, 2008, Колумбус, штат Огайо, США.
- [149] Ру (Rue) та інші, «Найновіші розробки у варінні скла з заглибним горінням» ('Recent developments in submerged combustion melting'), 67-а конференція з проблем скляної галузі, 2006, Колумбус, штат Огайо, США.
- [150] Knauf, «Технологія ECOSE» ('ECOSE Technology'). Особисте повідомлення, 2008.
- [151] Madison Filter Ltd., «Керамічні фільтрувальні елементи малої густини» (Low density ceramic filter elements), 2008.
- [152] Внесок Фінляндії, «Електростатичний фільтр NASU» (NASU electrostatic precipitator), 2009.
- [153] Німеччина – проєкт Precious, «Підігрівач скляного бою Precious» (Precious cullet preheater), 2007.
- [154] Європейська комісія, «Довідковий документ з НДТМ для спалювання відходів» (BREF on Waste Incineration) (WI), 2006.
- [155] Голландська директива про викиди у повітря (NER) – квітень, «Опис методики визначення економічної ефективності» (Description of the cost effectiveness methodology), центр знань INFOMIL, 2003.
- [156] Європейська комісія, «Довідковий документ з НДТМ для економічних та міжсередовищних наслідків» (BREF on Economics and Cross-Media Effects) (ECM), 2006.
- [157] Європейська комісія – Зелена книга, «Зелена книга: шлях до європейської стратегії надійності енергопостачання» (Green Paper – Towards a European strategy for the security of energy supply), 2000.

- [158] Європейське агентство з охорони довкілля (EEA) – Звіт про національні граничні значення викидів (NEC), «Звіт про стан реалізації Директиви про національні граничні значення викидів (NEC) за 2008 рік» (NEC Directive status report 2008), Європейське агентство з охорони довкілля, 2008.
- [159] «Скло для Європи» (Glass for Europe), «Енергозберігальне ізоляційне скло для енергоефективних будівель» (Low-E Insulating Glass for Energy Efficient Building), 2009.
- [160] «Скло для Європи» (Glass for Europe), «Сонцезахисне скло для підвищення енергоефективності» (Solar Control Glass for Greater Energy Efficiency), 2008.
- [161] Спеціальне скло, «Інвестиційні витрати для установок з виробництва спеціального скла» ('Investment costs for special glass installations'). Особисте повідомлення, 2008.
- [162] Міжнародна комісія з питань скла – Технічний комітет з питань навколишнього середовища (ICG-TC 13), «Викиди селену зі скловарних печей: утворення, відбір проб та аналіз» ('Selenium emissions from glass melting furnaces: formation, sampling and analysis'), Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology («Скляні технології: європейський вісник науки та технології скла»), частина А, том 47, 2006, с. 29-38.
- [163] «Скло для Європи» (Glass for Europe), «Коливання викидів пилу за електростатичним фільтром» ('Variation of dust emissions behind an ESP'). Особисте повідомлення, 2009.
- [164] Франція – Приклад установки, компанія Euroglas, муніципалітет Омбур, Франція – Жерар Генуа (Gerard Genuit), Жиль Гільйото (Gilles Guilloteau), 2001.
- [165] Франція, «Французький внесок в остаточну версію» ('French contribution to final draft'). Особисте повідомлення, 2010.
- [166] ITC-C100244, «Додаткова інформація для висновків за результатами заключного засідання ТРГ щодо перегляду документа BREF для скла» (Additional information to the Conclusions of the Final TWG Meeting for the review of the GLS BREF), Інститут керамічних технологій (Istituto de Tecnologia Ceramica), 2010.
- [167] Ганс ван Лімпт (Hans van Limpt) (TNO), «Моделювання процесів випаровування у скловарних печах» (Modeling of Evaporation Processes in Glass Melting Furnaces), 2007.
- [168] CPIV – Оцінка ризиків для здоров'я, «Оцінка ризиків для здоров'я від викидів пилу на заводі з виробництва тарного скла» (Evaluation of Health Risk Assessment from the dust emissions of a Glass Container Factory), 2009.
- [169] NEPSI – Настанова з найкращих практик, «Настанова з найкращих практик щодо охорони здоров'я робітників шляхом належного поводження та використання кристалічного кремнезему та продуктів, які його містять» (Good Practice Guide on Workers Health Protection through the Good Handling and Use of Crystalline Silica and Products Containing it), NEPSI, 2006.
- [170] Н. Харріс (N.Harris), «Скрубер із зарядженою хмарою» ('Cloud Chamber Scrubber'). Особисте повідомлення, 2009.
- [171] Tri-Mer Corporation, «Скрубер із зарядженою хмарою» (Cloud Chamber Scrubber), 2010.
- [172] Голландська директива про викиди у повітря (NER), квітень, «Моніторинг викидів» (Monitoring Emissions), 2003, с. 9.
- [173] SSV – Експериментальна станція з виробництва скла (Stazione Sperimentale del Vetro), «Межі виявлення та розширена невизначеність для методів вимірювання викидів» ('Limiti di rivelabilita' e incertezza estesa dei metodi per la misura delle emissioni'). Особисте повідомлення, 2010.
- [174] Позиція EURIMA, «Позиція EURIMA щодо нових рецептур продукції» ('Eurima position on new product formulations'). Особисте повідомлення, 2010.
- [175] CTCV, «Значення меж виявлення» ('Detection limit values'). Особисте повідомлення, 2010.
- [176] TRGS 619, «Матеріали-замінники для продукції з алюмосилікатного волокна» (Substitute materials for aluminium silicate wool products), Комітет зі шкідливих речовин (AGS) – Федеральний інститут безпеки та гігієни праці, 2007.
- [177] VDI 3677 – частина 1, ескізна редакція, «Фільтрувальні сепаратори» (Filtering separators), 2009.
- [178] Журнал Glass International за вересень, «Діапазон розмірів часток у відхідних газах печей для виробництва плоского скла» ('Particle size range in the waste gas of flat glass furnaces'), Glass International, 2009.
- [179] ISO, ISO 14001: 2004 http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials.htm, 2004.
- [180] Генеральний директорат Європейської комісії з питань навколишнього середовища, «Що таке Схема екологічного менеджменту та аудиту – EMAS?» (What is Emas?) http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm, 2010.
- [181] Регламент 1221/, «РЕГЛАМЕНТ (Європейської комісії) №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"), 2009.
- [182] Міжнародний форум з акредитації (IAF, сайт Міжнародного форуму з акредитації <http://www.iaf.nu>, 2010.

Європейська комісія

EUR 25786 – Об'єднаний дослідницький центр – Інститут перспективних технологічних досліджень

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

Автор(и): СКАЛЕТ Б'янка Марія, ГАРСІА МУНЬОС Маркос, СІССА Айві Кейроло, РУДЬЄ Серж, ДЕЛЬГАДО САНЧО Луїс

Люксембург: Центр публікацій Європейського Союзу

2013 – 480 с. – 21,0 x 29,7 см

EUR – Серія «Наукові та технічні дослідження» – ISSN 1831-9424 (онлайн), ISSN 1018-5593 (друкована копія)

ISBN 978-92-79-28284-3 (pdf)

ISBN 978-92-79-28285-0 (друкована копія)

doi:10.2791/69502

Анотація

Довідковий документ з НДТМ (BREF) під заголовком «Виробництво скла» 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 галузі виробництва скла охоплює види діяльності, вказані у Додатку I Директиви 2010/75/EU, а саме:

- вид діяльності 3.3: Виробництво скла, у тому числі скловолокна, з продуктивністю варіння скла понад 20 тон на добу.
- вид діяльності 3.4: Плавлення мінеральних речовин, у тому числі виробництво мінерального волокна, з продуктивністю варіння скла понад 20 тон на добу.

У цьому документі також розглядаються види діяльності, не пов'язані з варінням скла, та операції подальшої обробки, які можуть бути безпосередньо пов'язані з зазначеними видами діяльності і виконуватися на тому ж об'єкті.

Важливими питаннями для реалізації Директиви 2010/75/EU у галузі виробництва скла є зниження викидів у повітря; ефективне використання енергії та сировини; мінімізація утворення, регенерація та переробка залишків технологічного процесу; а також ефективна реалізація систем екологічного та енергетичного менеджменту. Цей документ BREF складається з восьми частин: У частинах 1 та 2 наведена загальна інформація про галузь виробництва скла та промислові процеси і технології, що використовуються у цьому секторі промисловості. У частині 3 наведені дані та інформація щодо екологічних показників установок з точки зору поточних викидів, рівнів споживання сировини, води та енергії, а також утворення відходів. У частині 4 описані технології для запобігання або зниження впливу установок цього сектору на навколишнє середовище. У частині 5 наведені висновки щодо НДТМ згідно з визначенням, наведеним у Статті 3 (12) Директиви, для восьми секторів скляної промисловості: тарне скло, плоске скло, скловолокно з безперервних ниток, сортове скло, спеціальне скло, мінеральна вата, високотемпературне ізоляційне волокно та фрити.

Місія Об'єднаного дослідницького центру як штатного наукового центру Комісії полягає у наданні програмам ЄС незалежної, заснованої на доказах наукової та технічної підтримки протягом усього 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.



ISBN 978-92-79-28284-3

